МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації приготування та вистоювання тіста. Система автоматичного регулювання температури

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1512-з
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тюльпа В.Л.

Керівник доцент, к. т. н. Барішенко О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент _____

Запоріжжя 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (бакалаврський)
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ

Тюльпа Вікторія Леонідівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проект автоматизації приготування та вистоювання тіста. Система автоматичного регулювання температури

керівник роботи Барішенко О.М, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1833-с
2. Строк подання студентом роботи 25 травня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації; розробка схеми інформаційних потоків; розробка технічного завдання; структура програмно-технічного комплексу; проєктування системи регулювання температури; розробка технічної документації; техніко-економічних показники; охорона праці, пожежна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): функціональна схема автоматизації, принципові електричні схеми, монтажно-комутаційна схема, схема зовнішніх з'єднань креслень) презентація роботи

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доцент, Барішенко О.М.		
2	доцент, Барішенко О.М.		
3	доцент, Барішенко О.М.		
4	доцент, Барішенко О.М.		
5	доцент, Барішенко О.М.		
6	доцент, Барішенко О.М.		

7 Дата видачі завдання 14.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації	14.04-20.04.26	
2	Розробка схеми інформаційних потоків	21.04-27.04.26	
3	Розробка технічного завдання	28.04-04.05.26	
4	Вибір структури та складу програмно-технічного комплексу	05.05-07.05.26	
5	Проєктування системи регулювання температури	08.05-10.05.26	
6	Розробка технічної документації	08.05-14.05.26	
7	Розрахунок системи автоматизації та показників її надійності	15.05-18.05.26	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	19.05-21.05.26	
9	Розгляд питань охорони праці та техногенної безпеки	22.05-23.05.26	
10	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді	24.05-25.05.26	

Студент _____ Вікторія ТЮЛЬПА
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Олена БАРІШЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Віктор КОВАЛЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Тюльпа В. Л. Проект автоматизації приготування та вистоювання тіста. Система автоматичного регулювання температури.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», науковий керівник О.М. Барішенко, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Метою роботи є проєктування автоматизованої системи регулювання температури та дозування компонентів для забезпечення стабільної якості продукції, підвищення енергоефективності й безпеки виробництва

У ході виконання роботи було проведено аналіз умов праці та вимог безпеки під час експлуатації апаратів вистоювання. На основі отриманих даних обґрунтовано вибір сучасного ПЛК Unitronics V1210 T20BJ із сенсорним екраном, модулів вводу-виводу та прецизійних тензодатчиків HBM класу точності C3. Розроблено контур автоматичного ПІ-регулювання температури води у збірнику за допомогою перетворювача Sitrans TK/TK-H та клапана з ЕПП Samson 6111. Створені функціональні та принципові електричні схеми Проведене техніко-економічне обґрунтування підтвердило високу доцільність модернізації, а також розроблені рекомендації з питань охорони праці і безпеки.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, шести розділів, висновків, переліку джерел посилання з 40 найменувань, викладена на 74 сторінках машинописного тексту, включаючи 31 рисунок, 5 таблиць та 9 аркушів графічного матеріалу.

Ключові слова: автоматизація, програмований логічний контролер, тензодатчик, пі-регулятор, блок ручного управління, виконавчий механізм МЕО, температурний режим, дозування, електробезпека, охорона праці, строк окупності.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ 8
1.1 Технологічний опис об’єкта автоматизації 8
1.2 Технологічний процес змішування тіста 11
1.3 Огляд і аналіз сучасних АСУ 14
2 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 20
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ 24
3.1 Ідентифікація об’єкта керування 24
4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ 34
4.1 Контури схеми автоматизації 34
4.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ 36
4.3 Функціональні схеми автоматизації управління 44
4.4 Принципова схема з’єднання між собою технічних засобів автоматизації .. 45
4.5 Схема управління електродвигунами з магнітним пускачем 47
5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 54
5.1 Охорона праці 54
5.2 Вимоги до обладнання 59
5.3 Заходи з електробезпеки 61
5.4 Пожежна безпека 62
6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 65
ВИСНОВКИ 69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 71

ВСТУП

Хлібопекарська галузь є однією з ключових ланок харчової промисловості України, що забезпечує населення стратегічно важливим продуктом щоденного вжитку. Сучасний ринок хлібобулочних виробів вимагає від підприємств високої гнучкості, економічної ефективності та стабільної якості продукції. Вирішення цих завдань покладається на впровадження інноваційних енерго- та ресурсозберігаючих технологій, базою для яких є комплексна автоматизація виробничих процесів.

Приготування тіста є базовим і найбільш тривалим етапом хлібопекарського виробництва, що безпосередньо визначає якісні характеристики готової продукції. Фізико-хімічні та реологічні властивості напівфабрикату критично залежать від двох ключових факторів: суворого дотримання пропорцій при дозуванні сировини та точності стабілізації температурних режимів компонентів.

Найбільш критичною операцією у виробничому циклі є етап замішування та підготовки тіста (опар, заквасок). Отримання однорідної маси з чітко заданою структурою можливе лише за умови суворого кількісного співвідношення інгредієнтів. Будь-які відхилення від рецептури негативно впливають на фізико-хімічні та органолептичні властивості готового хліба.

Залежно від апаратурного оформлення підприємства та специфіки виробництва, застосовують два основні методи приготування тіста:

– порційний (періодичний): реалізується шляхом циклічного зважування інгредієнтів на дискретних дозаторах із подальшим вивантаженням у тістомісильні машини періодичної дії.

– безперервний: базується на постійній подачі компонентів потоковими дозувальними пристроями у тістомісильні агрегати безперервної дії.

Структурно-механічні властивості замішаного тіста визначають характер його переробки на наступних технологічних стадіях (поділ, формування,

вистоювання) і фінальну якість хлібобулочних виробів. У зв'язку з цим, автоматизація процесу тістоприготування є вирішальним чинником, що забезпечує стабільність якісних показників продукції, мінімізує ймовірність виникнення аварійних ситуацій та суттєво підвищує рівень безпеки праці на виробництві.

Саме тому першорядне значення має автоматичний моніторинг параметрів процесу. Сучасна метрологія пропонує широкий спектр багатофункціональних приладів високого класу точності, використання яких дозволяє створити ефективні системи керування.

Метою виконання даної роботи є розробка системи автоматизації приготування тіста, підбір необхідного обладнання та розрахунок параметрів системи регулювання температури.

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано технічне рішення з автоматизації ділянки приготування тіста, а саме регулювання температури. Розроблена схема автоматичного контролю та сигналізації відповідає всім чинним технологічним вимогам і спрямована на підвищення техніко-економічних показників і соціального ефекту підприємства.

1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологічний опис об’єкта автоматизації

Дріжджове тісто – це складний за структурою напівфабрикат, розпушування якого забезпечується життєдіяльністю дріжджових клітин, що є одним із базових рецептурних компонентів. Процес його приготування характеризується тривалістю та високими вимогами до дотримання технологічних параметрів. Цей вид тіста є основою для виготовлення широкого асортименту хлібобулочних, здобних та кондитерських виробів, зокрема складних художніх оздоблень.

У промисловості та громадському харчуванні застосовують два класичні методи приготування дріжджового тіста:

– безопарний спосіб: використовується для напівфабрикатів слабкої консистенції (млинці, оладки), а також для виробів із низьким вмістом здоби (цукру, жирів, меланжу).

– опарний спосіб: є двоетапним і застосовується для рецептур із високим вмістом здоби, оскільки попереднє активаційне бродіння в опарі дозволяє дріжджам ефективно працювати у щільному середовищі.

Особливості ведення технологічного процесу:

1. Підготовка сировини: борошно підлягає обов'язковому просіюванню для аерації (насичення киснем) та видалення домішок; за потреби його кондиціонують у теплому приміщенні.

2. Температурний режим: рідкі компоненти (молоко, вода) підігрівають до оптимальної температури для життєдіяльності дріжджів (30-35 °С). Вихід за межі цього діапазону призводить або до інактивації (за низьких температур), або до термічної загибелі мікроорганізмів (за температур понад 45-50 °С).

3. Замішування та бродіння: процес місильного оброблення триває до моменту набуття тістом однорідної, еластичної структури та припинення його

адгезії (липкості) до робочих поверхонь. На фінальній стадії замісу вводять рослинну олію. Готовність напівфабрикату визначається збільшенням його об'єму в 1,5-2 рази, набуттям пористості та пружності. Перетримування тіста неприпустиме, оскільки надмірне накопичення молочної кислоти призводить до погіршення органолептичних показників (кислого смаку та глевкості м'якушки).

4. Оздоблення та випікання: для покращення зовнішнього вигляду та формування глянцевої скоринки за кілька хвилин до термообробки поверхню заготовок двічі колерують яєчною меланжевою сумішшю. Випікання здійснюється за суворого дотримання температурного графіка пекарської камери.

На рисунку 1.1 наведена технологічна схема виготовлення хліба.

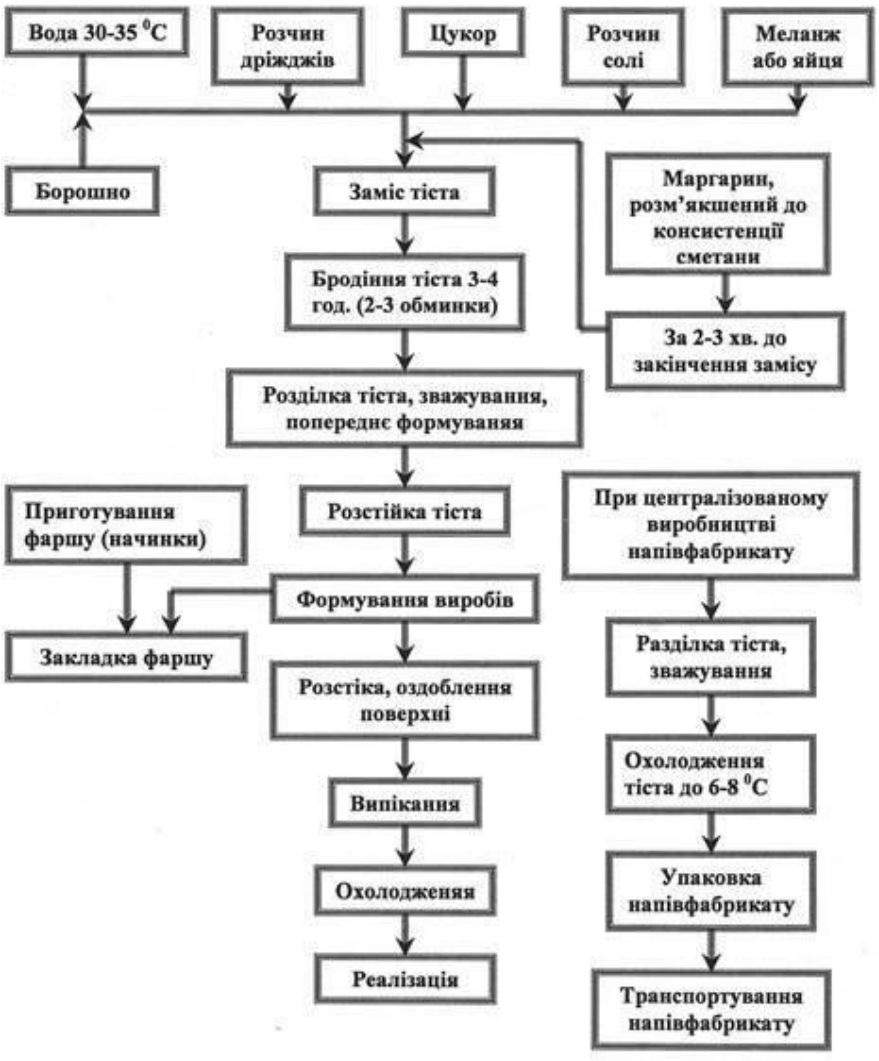


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення хліба

Безопарне дріжджове тісто для печених малоздобних виробів.

Для приготування тіста всі продукти, які передбачені рецептурою, змішують в один прийом. У діжу тістомісильної машини (або інший посуд для приготування тіста) вливають підігріту до температури 35-40 °С воду, попередньо розведені у теплій воді і проціджені дріжджі, цукор, сіль, додають меланж (замарожені яйцепродукти) або яйця, всипають просіяне борошно і все добре перемішують 7-8 хв. Наприкінці замішування вводять розтоплений маргарин, щоб зменшити руйнування клейковини. Готовність тіста визначають за його однорідністю, відсутністю грудочок. Добре вимішане тісто легко відстає від рук і стінок посуду. Діжу закривають кришкою і ставлять на 3-4 год для бродіння у тепле місце з температурою 35-40 °С. Коли тісто збільшиться в об'ємі у 1,5 раза його обминають 1-2 хв і знову залишають для бродіння, в процесі якого тісто обминають ще один-два рази. Закінчення бродіння визначають за зовнішніми ознаками: тісто збільшується в об'ємі у 2,5 раза, поверхня його опукла, воно набуває приємного спиртового запаху.

Опарне дріжджове тісто (здобне).

Спочатку готують опару – рідке тісто, а потім замішують опарне тісто. Для приготування опари беруть 60 % норми рідини (молока або води), 40 % борошна, 4 % цукру і дріжджі. У підігріту до 35-40 °С рідину додають розведені в теплій воді і проціджені дріжджі, цукор, всипають просіяне борошно і перемішують. Тісто повинно мати консистенцію густої сметани і температуру 27-29 °С. Поверхню опари посипають тонким шаром борошна, діжу накривають кришкою і ставлять у тепле місце (35-40 °С) на 2 год для бродіння. У процесі бродіння опара збільшується в об'ємі у 2-2,5 раза, по всій її поверхні з'являються бульбашки, які лопаються. Готовність опари визначають за зовнішніми ознаками: бродіння починає сповільнюватися, бульбашок на поверхні менше, опара осідає. В готову опару додають решту рідини з розчиненими сіллю і цукром, меланж або яйця, добре перемішують, всипають решту борошна і замішують тісто (10-15 хв). Перед закінченням замішування додають розтоплений маргарин. Діжу закривають кришкою і залишають у теплому місці

на 2-3 год для бродіння. При цьому обминають його 2-3 рази. З тіста випікають здобні вироби.

1.2 Технологічний процес змішування тіста

Для забезпечення високоякісного замішування тіста на промислових підприємствах застосовують спеціалізовані тістомісильні машини. Головною метою цієї технологічної операції є не лише рівномірне змішування рецептурних компонентів до утворення однорідної консистенції, а й надання напівфабрикату необхідних фізико-механічних властивостей, а також його аерація. Насичення маси повітрям є критично важливим чинником, оскільки воно створює сприятливий мікроклімат для активізації подальшого процесу біологічного бродіння.

Залежно від організації виробничого циклу на підприємстві використовують два типи обладнання, а саме машини періодичної або безперервної дії. У першому випадку замішування здійснюється окремими порціями всередині апаратів зі стаціонарно закріпленими діжами, де кожен цикл є дискретним і чітко обмеженим у часі. При безперервному способі організації процесу дозування інгредієнтів, їх перемішування та вивантаження готової маси відбуваються одночасно й безперебійно на всіх ділянках робочого органу машини. Водночас головною причиною виникнення технологічних похибок та браку продукції є порушення заданих пропорцій компонентів, які надходять до місильної камери, що вимагає впровадження точних систем автоматизації.

У цьому проєкті розглядається схема автоматизації на базі тістомісильної машини безперервної дії Р3-ХТО, яка функціонує у складі комплексного тістоприготувального агрегату Р3-ХТН. Конструкція зазначеного апарата передбачає наявність двох послідовних робочих зон. Спочатку сировина потрапляє до камери попереднього замішування, де відбувається первинне з'єднання сухих і рідких компонентів, а інтенсифікація процесу у цій зоні

досягається шляхом оптимізації геометрії та зменшення кількості гальмівних лопатей [1]. Після цього напівфабрикат переходить до другої камери для інтенсивної механічної обробки, де під дією значних зусиль остаточно формується пластично-в'язкий каркас тіста [3].

Загальний алгоритм функціонування агрегату полягає в тому, що всі необхідні інгредієнти через системи дозування безперервно подаються до приймальної частини машини, де піддаються покроковому перемішуванню до досягнення заданої однорідності. На фінальній стадії готове тісто безперебійно вивантажується на стрічку транспортера, яка переміщує його на наступні етапи хлібопекарського виробництва [1].

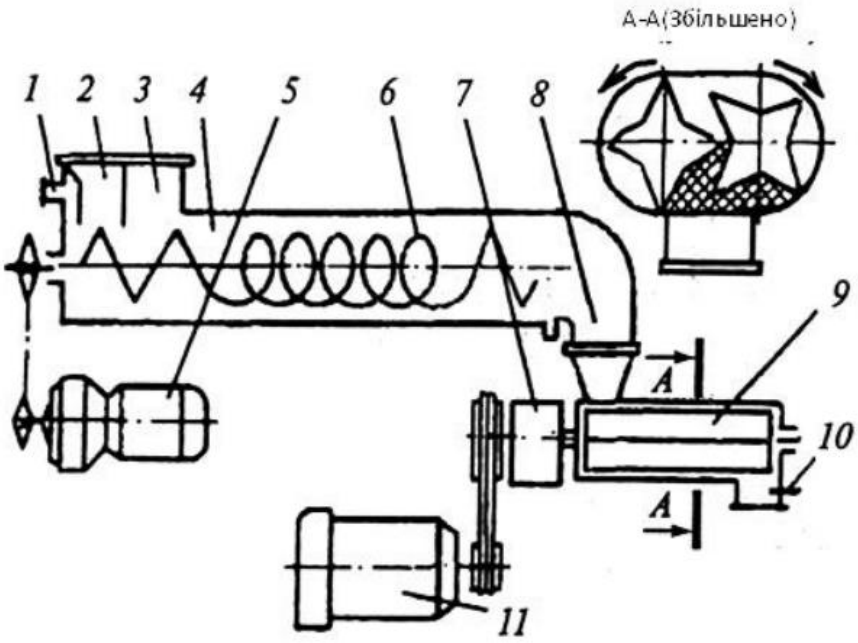


Рисунок 1.2 – Тістозамішуюча машина РЗ-ХТО

Початкова стадія технологічного процесу тістоприготування реалізується за допомогою комплексу обладнання, призначеного для зберігання, транспортування та попередньої підготовки рецептурних компонентів. Для довготривалого зберігання сировини на підприємстві застосовуються залізобетонні та металеві силоси, ємності або бункери [2]. Безпосередня подача інгредієнтів у робочу зону тістомісильної машини здійснюється через завантажувальні патрубки, які на рисунку 1.1 позначені позиціями 2 та 3. До цих

патрубків підключаються технологічні дозувальні ємності, що забезпечують формування порцій компонентів перед замішуванням.

Тістомісильна машина РЗ-ХТО має наступні технічні характеристики наведені у таблиці 1.1[3].

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика

Найменування параметра, одиниці вимірювання	Значення параметра
Встановлена потужність камери попереднього замісу, кВт	2,2
Встановлена потужність камери інтенсивної механічної обробки, кВт	17
Габаритні розміри машини (довжина × ширина × висота), мм	3040×500×2200
Маса (вага), кг	450
Частота обертів місильного органу, об/хв	50…150

Перевага замісу тіста в безперервно діючих машинах складається і в тому, що обробляється маса знаходиться в апараті в невеликій кількості, завдяки чому габарити машини, її вага і витрата енергії зменшуються.

Пристрій для вистоювання тістових заготовок (рис. 1.3) на листах, який містить теплоізоляційний каркас із вертикальними та горизонтальними секціями, шарнірно підвішені до двох паралельних ланцюгів люльки, кожна з яких виконана у вигляді центральної поздовжньої балки з поперечними полицями, а також вузли завантаження і вивантаження, що мають вигляд ланцюгового транспортера з упорами та паралельними напрямними.

Відмінною особливістю пристрою є те, що з метою спрощення процесів завантаження та вивантаження листів із заготовками, вертикальні секції оснащені нерухомими паралельними полицями. Ці полиці встановлені між гілками ланцюгового транспортера з люльками на рівні вузлів завантаження і вивантаження, які розміщені з зовнішніх протилежних сторін вертикальної секції. При цьому кінці напрямних розташовані всередині зазначеної секції із зазором відносно нерухомих полиць, а поперечні полиці люльок розміщуються

безпосередньо в зазорі між паралельними нерухомими полицями та напрямними вузлів завантаження і вивантаження.

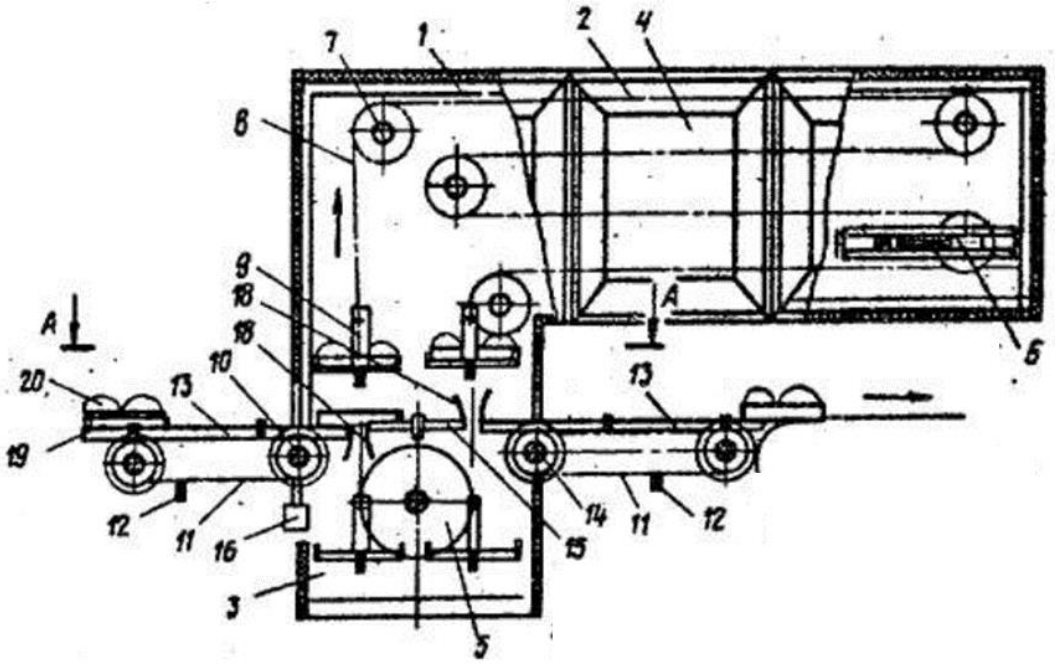


Рисунок 1.3 – Шафа для вистоювання тіста

1.3 Огляд і аналіз сучасних АСУ

Сучасний етап розвитку автоматизації хлібопекарського виробництва, зокрема ділянки тістоприготування, орієнтований на підвищення загальної ефективності технологічних процесів, зниження питомих енерговитрат, мінімізацію часу простою обладнання та оптимізацію завантаження виробничих ліній.

Надійність функціонування вузлів завантаження та вивантаження сировини суттєво залежить від умов зберігання та підготовки рецептурних компонентів. Особливі вимоги висуваються до підготовки жирових складників (зокрема маргарину чи масла).

Для забезпечення безперебійного транспортування та точного об'ємного або вагового дозування в тістомісильну машину, цей компонент повинен перебувати у рідкому (розплавленому) стані. З цією метою дозувальна ємність

оснащена технологічною водяною сорочкою, що забезпечує рівномірне підігрівання та підтримання температури на рівні точки плавлення жирової фази.

Ефективність цього процесу вимагає безперервної стабілізації температури теплоносія, що циркулює в сорочці. Для вирішення цієї інженерної задачі доцільно розглянути можливі варіанти побудови систем автоматичного регулювання.

Найбільш простим у реалізації технічним рішенням є впровадження одноконтурної системи автоматичного регулювання (САР). Дана архітектура призначена для компенсації зовнішніх збурень та точного відпрацювання заданого значення (уставки). Принцип функціонування такої системи полягає в наступному: первинний вимірювальний перетворювач (датчик температури) встановлюється на трубопроводі зворотної охолодженої води. Отриманий інформаційний сигнал надходить до мікропроцесорного регулятора, де порівнюється із заданим значенням. Сформований керуючий імпульс передається на виконавчий механізм (ВМ), який здійснює позиціонування триходового змішувального клапана. Клапан динамічно змінює співвідношення потоків охолодженої та гарячої води, стабілізуючи тим самим температуру теплоносія на вході у водяну сорочку ємності.

Схематичне зображення даного контуру автоматизації наведено на рисунку 1.4.

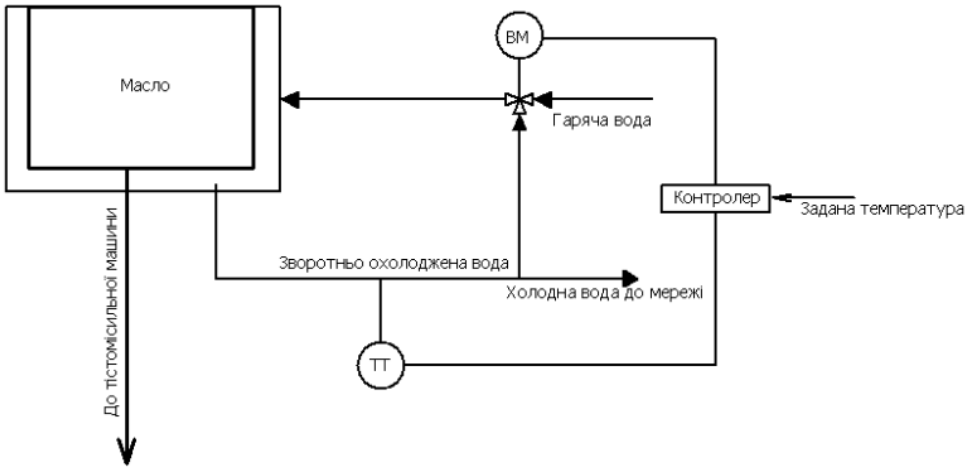


Рисунок 1.4 – Структура одноконтурної системи регулювання температури водяної сорочки

Другий варіант – каскадна система. Датчик температури, який встановлений на виході з ємності та датчик температури, що встановлений на трубопроводі водяної сорочки передають значення на контролер. В який у свою чергу передається значення заданої температури, після контролер відає сигнал на керування до ВМ для подальшого керування клапаном.

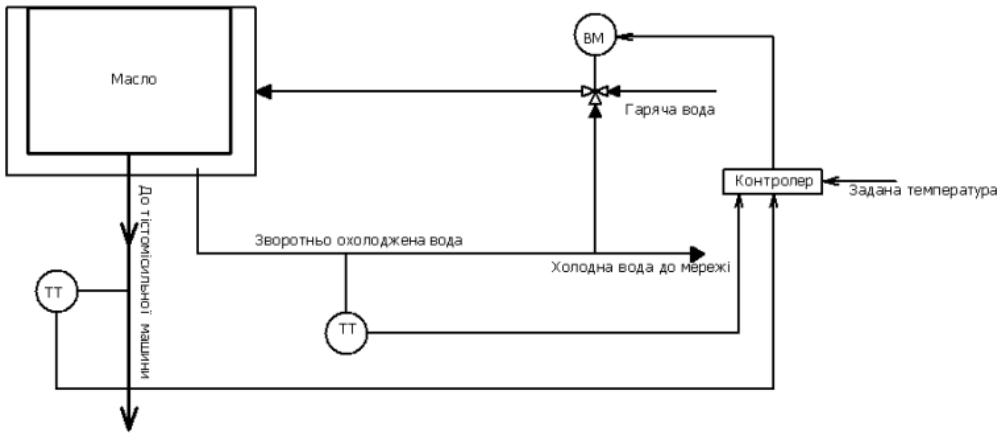


Рисунок 1.5 – Структура каскадної системи регулювання температури водяної сорочки

Головним призначенням розроблюваної системи автоматизації є прецизійне підтримання заданої температури жирової фази (олії). Для забезпечення рівномірного прогрівання продукту конструкцією технологічної ємності передбачено наявність периферійної водяної сорочки.

На основі порівняльного аналізу можливих варіантів побудови систем керування, для реалізації було прийнято одноконтурну структуру регулювання. Використання складніших каскадних систем є технологічно виправданим лише за значної довжини жиропроводів, де виникає суттєве транспортне запізнення. Оскільки в даному проєкті протяжність комунікацій є мінімальною, температура олії на виході з ємності практично тотожна температурі теплоносія у водяній сорочці. За таких умов штучне ускладнення архітектури системи є недоцільним. Крім того, впровадження каскадної САР підвищує капітальні витрати, ускладнює процес експлуатації та технічного обслуговування, оскільки вимагає

від оперативного персоналу синхронного налаштування та контролю параметрів одразу двох взаємопов'язаних регуляторів.

Принцип функціонування обраної системи стабілізації температури теплоносія (згідно з наведеною на рисунку 1.4 схемою) полягає в наступному. Нагрівання технологічної ємності здійснюється шляхом циркуляції гарячої води через сорочку. Поточне значення температури теплоносія безперервно контролюється первинним вимірювальним перетворювачем (датчиком), встановленим на трубопроводі зворотної охолодженої води.

Інформаційний сигнал від датчика надходить до мікропроцесорного регулятора температури, де здійснюється його порівняння із заданим технологічним значенням (уставкою, що становить 37–39 °С). У разі виникнення неузгодженості між дійсним та заданим значеннями, регулятор за відповідним законом керування формує командний імпульс. Цей сигнал передається на виконавчий механізм, який змінює положення регулювального клапана, динамічно коригуючи витрату гарячої води для стабілізації температурного режиму об'єкта.

1.4 Постановка задачі проєктування системи автоматизації

Метою цього проєкту є розробка високоефективної системи автоматичного регулювання (САР) та контролю для оптимізації ключових етапів хлібопекарського виробництва:

– процесу підготовки сировини (дозування й замішування);

– стадії фінішної тепло-вологої обробки напівфабрикатів.

Автоматизація зазначених ділянок спрямована на стабілізацію якісних показників кінцевого продукту, зниження енергетичних витрат, мінімізацію впливу людського фактора та забезпечення безпечних умов праці на виробництві.

Згідно з технологічним регламентом та аналізом об'єкта автоматизації, у межах проєктування САР необхідно вирішити такі основні технічні завдання:

1. Автоматичне регулювання температурного режиму дозування жирових компонентів (олії): для підтримання заданої в'язкості та забезпечення точного порційного дозування олії, система повинна здійснювати прецизійне керування температурою в технологічній ємності. Ця задача реалізується шляхом двоконтурного або селективного регулювання температури в робочому об'ємі олії за допомогою керування теплоносієм у водяній сорочці ємності. Система повинна автоматично змінювати подачу гарячої/холодної води у водяну сорочку на основі показань температурних датчиків, запобігаючи перегріву або переохолодженню продукту.

2. Автоматичне регулювання мікроклімату в шафі вистоювання тістових заготовок: Процес остаточного вистоювання є критичним для формування структури та об'єму майбутнього виробу. Задача автоматизації на цьому етапі полягає у суворому підтриманні взаємопов'язаних параметрів середовища всередині теплоізольованого каркаса шафи:

3. Температури повітря: шляхом керування подачею теплоносія до калориферів або активації електронагрівальних елементів.

– відносної вологості повітря: за допомогою автоматичного регулювання подачі пари або розпилення вологи, що запобігає завітрюванню скоринки тістових заготовок;

– контроль, сигналізація та захист.

Окрім контурів автоматичного регулювання, система повинна забезпечувати безперервний технологічний моніторинг:

– вимірювання та сигналізацію граничних (верхнього та нижнього) рівнів сировини в дозувальних ємностях (для розчинів, олії та борошна);

– контроль часу завантаження компонентів у місильну камеру відповідно до часового інтервалу (4–8 хвилин);

– світлову та звукову сигналізацію у разі виходу критичних параметрів

(температури олії та мікроклімату шафи вистоювання) за межі технологічних допусків, а також у разі виникнення аварійних ситуацій на транспортних органах (шнек, ланцюговий транспортер люльок).

Розроблена схема автоматизації має базуватися на сучасних засобах мікропроцесорної техніки, мати оптимальні техніко-економічні показники, високий клас точності вимірювальних приладів та забезпечувати надійне функціонування обладнання в умовах конкретного хлібопекарського виробництва.

Висновки. У розділі кваліфікаційної роботи було виконано комплексний аналіз процесу тістоприготування як об'єкта автоматизації, що дозволило детально сформулювати інженерні задачі та теоретично обґрунтувати концепцію побудови майбутньої системи автоматичного керування. На основі проведених досліджень визначено, що етап замішування та вистоювання дріжджового тіста є критичним для забезпечення стабільної якості, органолептичних і структурно-механічних властивостей готових хлібобулочних виробів, оскільки реологічні параметри напівфабрикату безпосередньо залежать від прецизійного дозування рецептурних компонентів та суворого дотримання температурного регламенту.

У розділі проведено порівняльний аналіз структур автоматичного регулювання для стабілізації температури жирової фази в дозувальній ємності з водяною сорочкою. На основі сформованих технологічних вимог було чітко поставлено технічні завдання для подальшого проєктування. Таким чином, результати проведеного аналізу сформували фундаментальну базу для наступних етапів проєкту, які включатимуть безпосередній вибір засобів мікропроцесорної автоматизації, первинних вимірювальних перетворювачів, виконавчих механізмів та розробку функціональної схеми автоматизації всього технологічного процесу.

2 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Система, яка розробляється передбачає перелік таких функцій: захисна, інформаційна, керуюча.

Захисна функція визначає порядок дій для виключення аварійних ситуацій на виробничій ділянці або мінімізацію їх наслідків.

1. Перелік захисник функцій у даній системі наступний:

– світлова сигналізація про недостатню кількість розчину, а саме будь-якого компоненту розчину (сольового, цукрового чи дріжджового)

– світлова сигналізація про надлишкову кількість розчину, а саме будь-якого компоненту розчину (сольового, цукрового чи дріжджового)

– світлова сигналізація про недостатню кількість масла;

– світлова сигналізація про надлишкову кількість масла;

– світлова сигналізація про недостатню кількість борошна;

– світлова сигналізація про надлишкову кількість борошна;

– світлова сигналізація про занизьку температуру у теплоносія водяної сорочки встановлено на ємності з маслом;

– світлова сигналізація при перепаді тиску у трубопроводі з насосом, яка запобігає початку сухого ходу.

Це ситуація коли в насос перестає надходити вода і починається роботу вхолосту і через деякий час насос виходить з ладу. Інформаційна функція надає обслуговуючому персоналу хлібопекарського виробництва всю інформацію, необхідну для об’єктивної оцінки стану технічного процесу.

2. Перелік інформаційних функцій у даній системі наступний:

– отримання інформації про положення клапанів встановлених на виході з ємності;

– отримання інформації про положення клапанів встановлених на входу у ємність;

– отримання інформації про температуру теплоносія водяної сорочки;

– отримання інформації про вагу у ємності.

Керуюча функція забезпечує керування процесом приготування тіста з необхідними показниками якості.

Також є вимоги наведені в таблиця 2.1 до діапазону вимірювань даних, до їх класу точності. Ці вимоги виставляють до вибраних датчиків аналогової дії.

Таблиця 2.1 – Вимоги до параметрів системи

№ п. п.	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припустиме значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії
1	Шафа вистоювання	Температура	35^{0}C ± 3°C	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора Щит управління АРМ оператора
2	Збірник води		35^{0}C ± 3°C	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі пари
3	Збірник олії		39^{0}C ± 3°C	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі олії

4. Перелік керуючих функцій у даній системі наступний:

– забезпечення підтримки відповідної температури для теплоносія у водяній сорочці;

– керування кінцевим положенням клапанів встановлених на трубопроводах, що подають компоненти та вивантажують їх;

– неперервний контроль інформації про вагу кожного компоненту.

Перелік приладів, які встановленні на даній системі регулювання має бути розрахований на довготривале експлуатування. Тому для вибору обладнання складений перелік вимог:

– прилади повинні бути розраховані на строк експлуатації не менше 5 років;

– переднє напрацювання на відмову має бути не менше ніж 15000 год;

– при розробці системи має використовуватись тільки ліцензійне програмне забезпечення;

– програмне забезпечення повинно передбачати захист облікових даних запису користувача;

– забезпечення захисту від вводу/виводу некоректних даних.

У сучасній промисловій термометрії виділяють два базові методи визначення температури технологічних середовищ: контактний та безконтактний.

Контактний метод передбачає безпосередню взаємодію первинного вимірювального перетворювача з досліджуваним об'єктом або потоком.

Безконтактний метод реалізується за допомогою пірометричних пристроїв, принципом дії яких є реєстрація та аналіз теплового електромагнітного випромінювання нагрітих тіл без фізичного дотику до них.

Відповідно до зазначеної методологічної класифікації, засоби вимірювання температури поділяють на кілька основних груп. Серед контактних приладів виділяють термометри розширення, до яких належать рідинні скляні пристрої з робочим діапазоном від-200 до +600 °С, а також дилатометричні та біметалеві прилади, що функціонують у межах від -15 до +700 °С.

Функціонування цієї групи засобів базується на тепловому розширенні зміні об'ємних показників рідин або лінійних розмірів твердих тіл під впливом температурних коливань. Іншим різновидом є манометричні термометри, які охоплюють діапазон від-200 до +1000 °С і використовують залежність тиску газу, рідини або пари всередині замкненого об'єму від зміни температури.

Широке промислове застосування мають термометри опору, робота яких ґрунтується на зміні електричного опору матеріалів під впливом температури. Вони поділяються на металеві, що забезпечують вимірювання у межах від -260

до +1100 °С, та напівпровідникові (термістори) з діапазоном від -275 до +600 °С. Окрему групу контактних засобів становлять термоелектричні перетворювачі (термопари), які використовуються у широкому інтервалі від -200 до +2200 °С. Їхній принцип дії базується на виникненні термоелектрорушійної сили (ТЕРС) у контурі, що складається з двох різнорідних провідників, за наявності градієнта температур між їхніми спаями.

Безконтактні вимірювальні прилади, або пірометри, класифікують за спектральним складом реєстрованого випромінювання на квазімонохроматичні (діапазон від +700 до+10000 °С), спектрального відношення (від +30 до +2800 °С) та повного випромінювання (радіаційні, що працюють у межах від -50 до +3500 °С). Фізична основа роботи пірометрів полягає в оцінці оптичної яскравості або сумарної щільності інтегрального теплового випромінювання об'єкта. Головними серед методів та засобів вимірювальної техніки для реалізації системи автоматизації є задані межі вимірювання температури, необхідний клас точності (допустима похибка), а також агрегатний стан, хімічний склад та реологічні властивості вимірювального технологічного середовища.

Висновки. У результаті проведеного аналізу було детально формалізовано захисні, інформаційні та керуючі функції системи автоматизації, а також сформульовано жорсткі експлуатаційні та надійнісні вимоги до технічних засобів і програмного забезпечення. На основі порівняльного огляду методів промислової термометрії обґрунтовано, що для забезпечення прецизійної стабілізації температурних режимів у збірниках води, олії та шафі вистоювання доцільно використовувати контактні датчики аналогової дії з урахуванням заданих меж вимірювання, класу точності та фізико-хімічних властивостей технологічних середовищ. На підставі визначених критеріїв сформовано вихідні дані для подальшого вибору конкретних типів первинних вимірювальних перетворювачів, виконавчих механізмів та контролерів автоматизованої системи керування.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1 Ідентифікація об’єкта керування

Для ідентифікації математичної моделі об'єкта автоматизації та розрахунку його динамічних характеристик застосовано експериментальний метод. Оскільки в даному проєкті реалізовано одноконтурну структуру керування, виникає необхідність аналізу реакції регульованої величини на типове збурення. Перед початком експериментальних досліджень автоматичний регулятор переводиться в ручний режим керування, а система витримується до повного завершення перехідних процесів і стабілізації температурного параметра. Задля зняття кривої розгону (розгінної характеристики) досліджуваного об'єкта на вхід системи подається ступінчасте збурення шляхом зміни ступеня відкриття триходового клапана з 30% до 50% відносно його початкового стану.

Крива розгону зображена на рисунку 3.1.

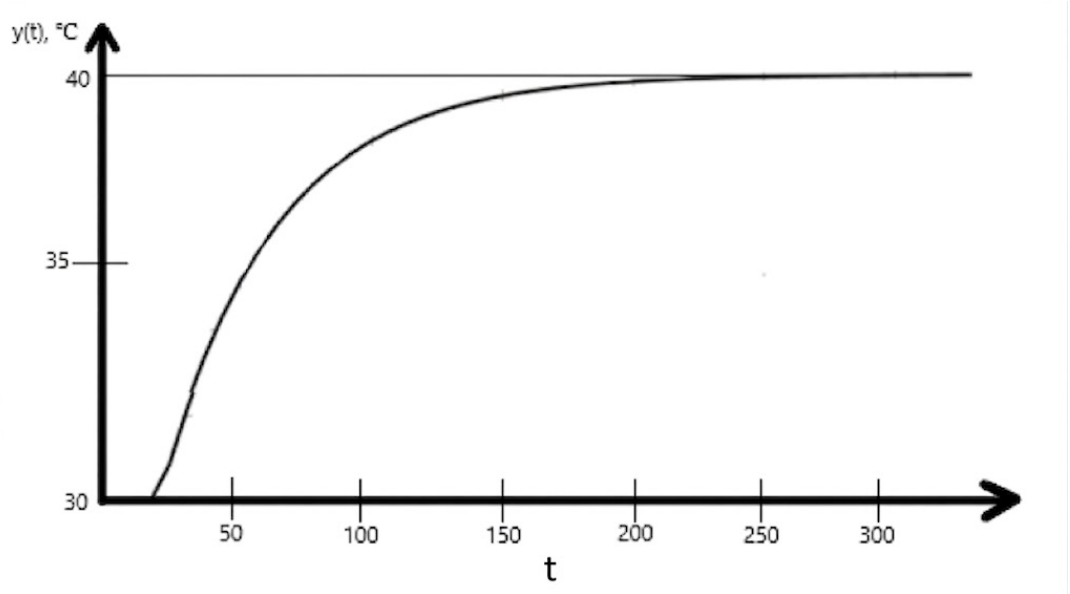


Рисунок 3.1 – Крива розгону об’єкту управління

Знайдемо нормовану перехідну характеристику h(t)*:

$$h(t)^* = \frac{h(t)}{h(\infty)}, \quad (3.1)$$

де

$$\mathrm{h}(t) = \frac{y(t) - y(0)}{\Delta u} \quad (3.2)$$

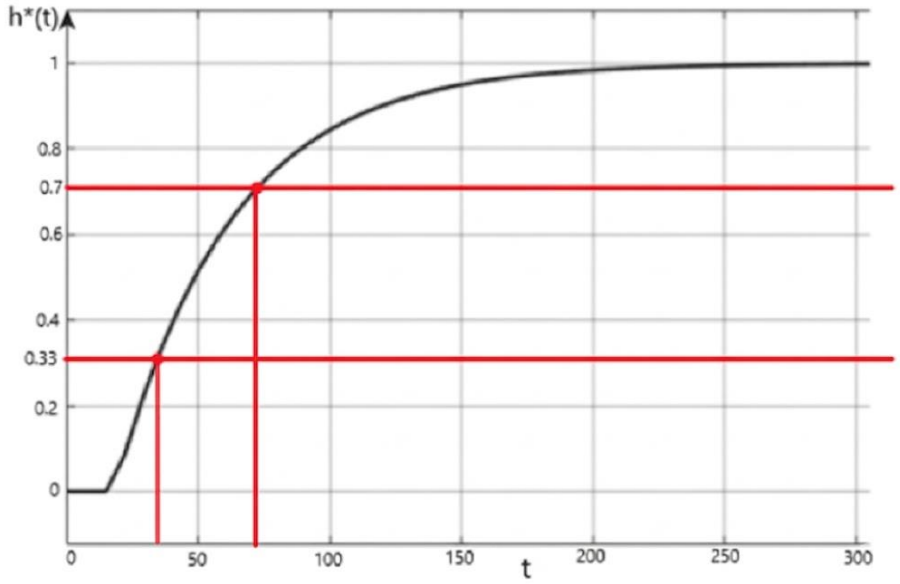


Рисунок 3.2 – Нормована перехідна характеристика об'єкта

З рисунку 3.2 можна зробити висновок, що структура моделі буде мати наступний вигляд:

$$W_{\text{об}} = \frac{\mathrm{K}}{\mathrm{T_p} + 1} e^{-\tau}, \quad (3.3)$$

Для ідентифікації об’єкта визначаємо такі параметри:

К – коефіцієнт передачі, тобто значення зміни вихідного значення на одиницю зміну вхідного значення. Залежність має наступний вигляд:

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta u} = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

τ – запізнення, $\tau = 0{,}5(3t_1 - t_2)$

Т – час,

$$T = \frac{t_{2-\tau}}{1{,}2}$$

Використавши метод логарифмування, знайдемо значення змінних τ і Т, використовуючи знайдені точки перетину h*(t) = 0,33 і h*(t) = 0,7 та підставивши у формули вище. З рис. 1.4 h*(t) = 0,33, t_1 =35, h*(t) = 0,7, t_2=70.

$$\tau = 0{,}5(3 \cdot 35 - 70) = 17{,}5 \approx 18 \text{ с}$$

$$\text{Т} = \frac{70 - 25}{1{,}2} = 43{,}3 \approx 43 \text{ с.}$$

Отже, вигляд передавальна функції об’єкта буде мати наступний вигляд:

$$W_{\text{об}} = \frac{0{,}5}{43\text{р} + 1} e^{-18p}$$

3.2 Синтез САР і аналіз її функціонування

Для даного об’єкта автоматизації була обрана одноконтурна система регулювання. Для розрахунку параметрів налаштування регулятора використаємо два методи розширеної амплітудно фазової частотної характеристики та інженерний метод та порівняємо їх показники якості.

Для даного методу обираємо ψ = 0,93 – скористаємось наступною формулою для з находження ступеня коливальності (m):

$$\psi = 1 - \text{e}^{-2\pi m}$$

Отже m = 0,42.

Використаємо наступні формули для побудови кривої із заданим степенем коливальності.

При $\text{К}_\text{і}$ = 0,9max(Кі), значення параметрів наступне: $Kp \approx 3{,}73$, Ki = 0,083, тоді

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} = \frac{3{,}73}{0{,}083} \approx 45.$$

Далі будуємо розширену амплітудно фаза-частотну характеристику для перевірки чи система проходить через точку (-1; j0), що буде свідчити що степені коливальності обрано вірно.

Код побудови кривої має наступний вигляд:

```
m=0.42;
w=0:0.0001:0.12;
W=(0.5.*exp(-18*(-m*w+1i*w))./(43*(-m*w+1i*w)+1);
Re=real(W);
Im=imag(W);
A=Im.^2+Re.^2;
Kp=-(m*Im+Re)./A;
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./A;

plot(Kp,Ki);
ylabel('Ki');
xlabel('Kp');
grid on;
```

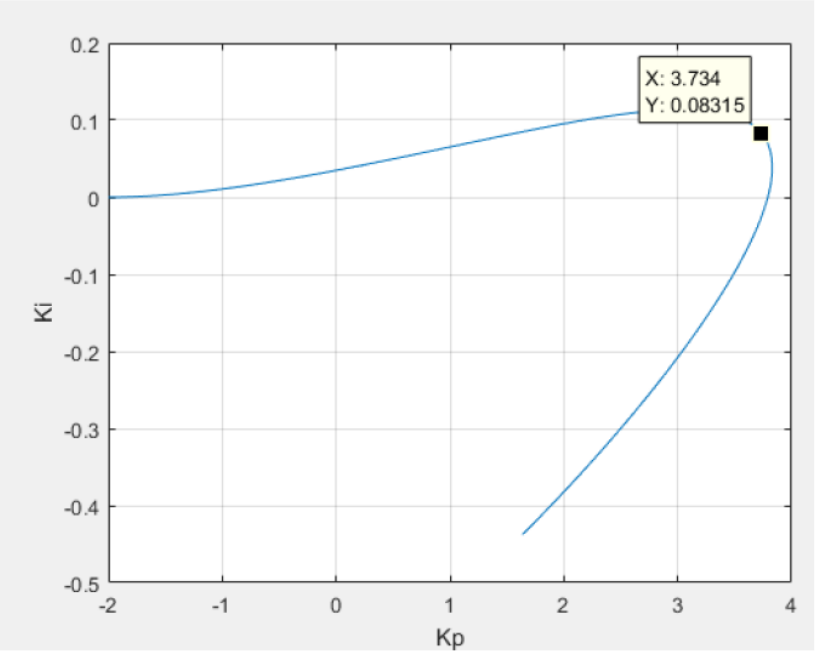


Рисунок 3.3 – Залежність параметрів налаштування регулятора при m = 0,42

РАФХ системи з отриманими значеннями наведена на рис. 3.4.

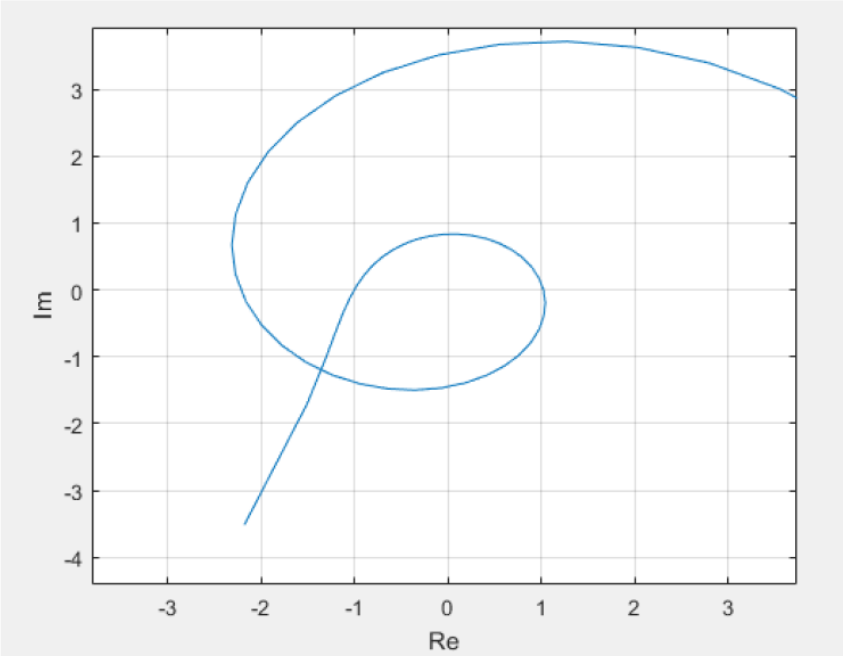


Рисунок 3.4 – РАФХ системи з отриманими значеннями

З рисунку 3.2 можна зробити висновок, що отриманий графік проходить через точку (-1; j0). А це значить, що степінь коливальності буде рівний 0,42 [9]

Використаємо знайдені значення для побудови перехідного процесу по каналу «Збурення-Вихід» модель системи регулювання з розрахованими параметрами зображена на рисунку 3.5, а графік перехідної процесу зображено на рисунку 3.6.

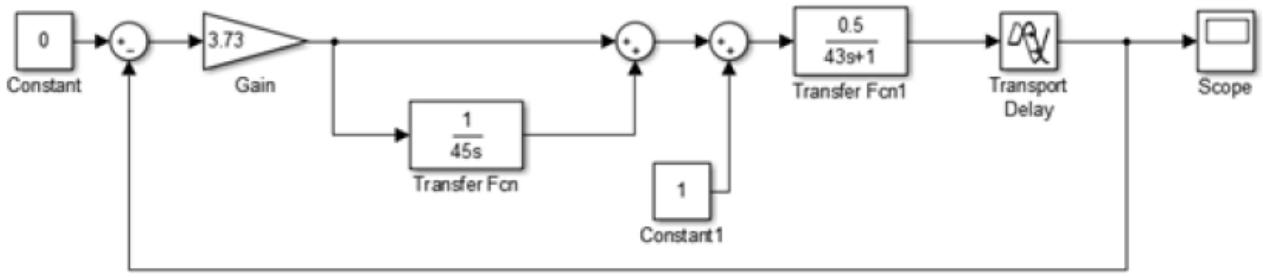


Рисунок 3.5 – Модель системи регулювання з розрахованими параметрами налаштування у MatLab для отримання перехідного процесу по каналу «Збурення-Вихід»

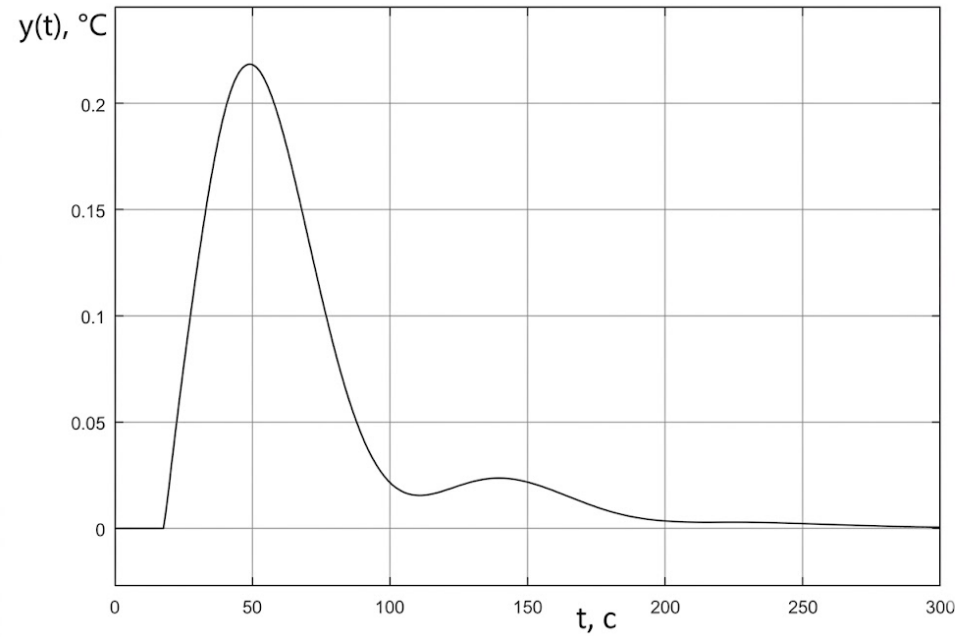


Рисунок 3.6 – Перехідний процес по каналу «Збурення-Вихід»

Тепер використаємо знайдені значення для побудови перехідного процесу по каналу «Завдання-Вихід» модель системи регулювання з розрахованими параметрами на рисунок 3.7, а графік перехідного процесу зображено на рисунок 3.8.

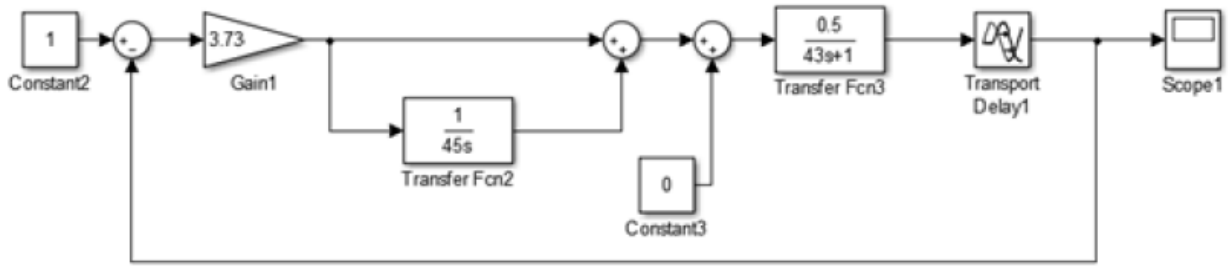


Рисунок 3.7 – Модель системи регулювання з розрахованими параметрами налаштування у MatLab для отримання перехідного процесу по каналу «Завдання-Вихід»

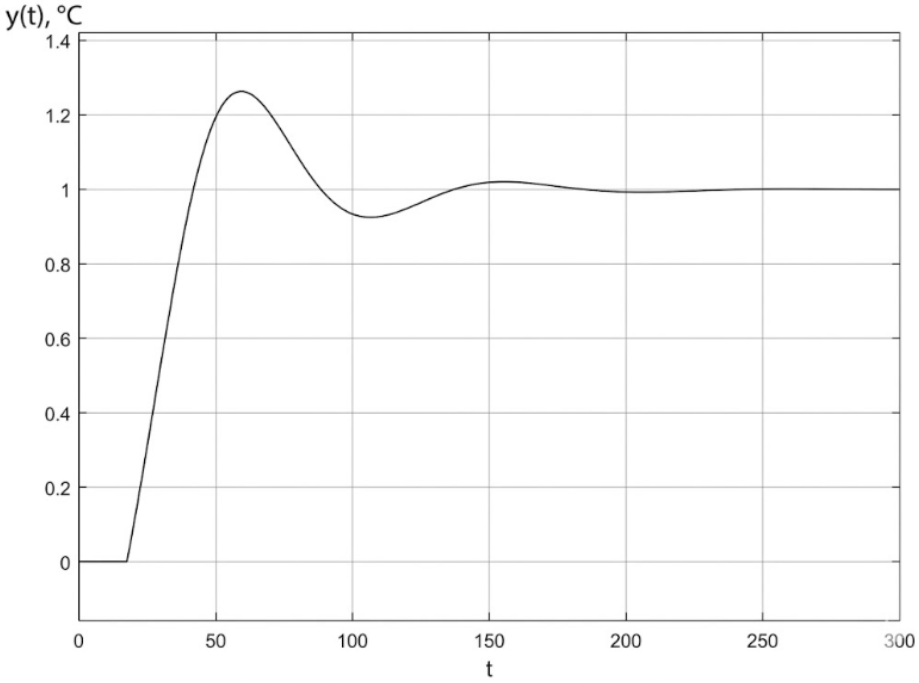


Рисунок 3.8 – Перехідний процес по каналу «Завдання-Вихід»

Розраховані показники якості по каналу «Збурення-Вихід» та «Завдання-Вихід» вказані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники якості при розрахунку методом РАФХ

	«Збурення-Вихід»	«Завдання-Вихід»
$\Delta_{ст}$, статична похибка	0	0
$\Delta_{дин}$, динамічна похибка	0,22	0,26
Ψ , показник затухання	1	0,93
t, с, час перехідного процесу	155	102
σ, %, перегулювання	-	26,25

Складаємо структурну схему об’єкта регулювання температури вистоювання тіста (рис. 3.9).

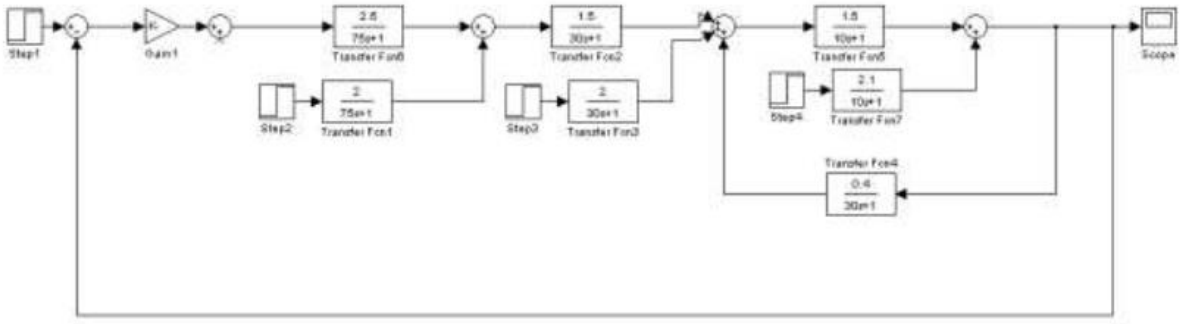


Рисунок 3.9 – Структурна схема об’єкта регулювання температури вистоювання тіста

Настройки ПІД-регулятора визначаємо за допомогою Циглера –Ніколса.

Для цього знаходимо $К_р$ критичне, при якому система знаходиться на межі стійкості:

$К_{ркрит} = 5,6$.

$Т_п=50$ (с).

Наближеним методом розрахунку параметрів настройок регуляторів є метод незагасаючих коливань (в технічній літературі його називають методом Циглера-Нікольса). Замкнену систему автоматичного регулювання з П-регулятором переводять в режим автоколивань за допомогою збільшення $К_{рег}$.

Якщо в системі працює ПІ-регулятор, то $Т_і \to \infty$, при ПІД-регуляторі $Т_і \to \infty, Т_д \to 0$. Для отримання автоколивань визначають критичні значення $К_{регкрит}$ і період $Т_{пкрит}$.

Наближені параметрами настройки П, ПІ та ПІД-регулятора наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Наближені параметрами настройки П, ПІ та ПІД-регулятора

	$k_п$	$k_и$	$k_д$
П-регулятор	0,50кп∗		
ПИ-регулятор	0,45кп∗	0,54кп∗/Т∗	
ПИД-регулятор	0,60кп∗	1,2кп∗/Т∗	0,075кп∗Т∗

Для П-регулятора:

$К_п=5,6 \cdot 0,5=2,8$

Для ПІ-регулятора:

$К_п= К_п(крит) \cdot 0,45=0,45 \cdot 5,6 = 2,52;$

$К_і=(0,54*К_п(крит))/Т_п = 0,06$

Для ПІД-регулятора

$К_п= К_п(крит)*0,6=0,6*5,6=3,36;$

$К_і=(1,2*(крит))/Т_п=(1,2*5,6)/50=0,1344;$

$К_д=0,075* К_п(крит)*Т_п=0,075*5,6*50=21;$

Встановлюємо коефіцієнт налаштування ПІД-регулятора в структурну схему (рис.3.10) і отримуємо перехідний процес (рис.3.11), який має такі якісні показники: ф = 0,9, $А_1$ = 4,85.

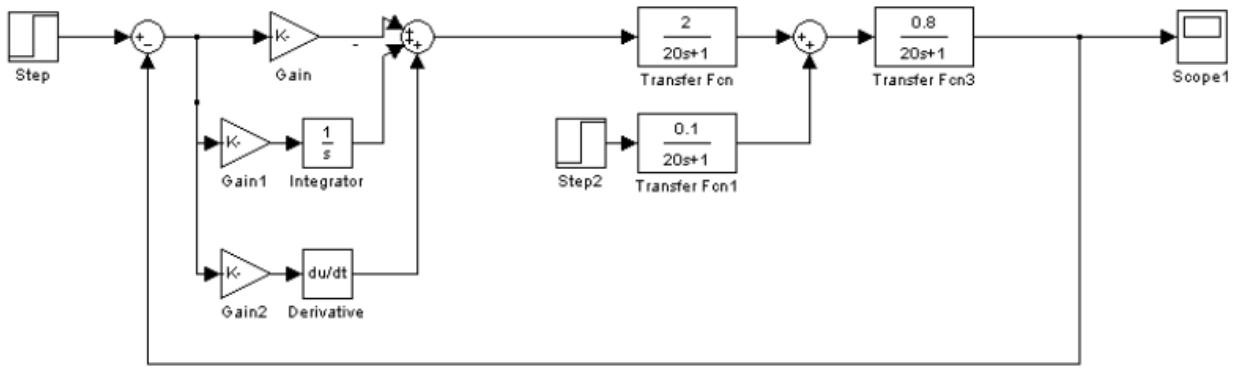


Рисунок 3.10 – Структурна схема АСР з ПІД-регулятором

Процесом з ПІ- егулятором можна скзати, що час регулювання у ПІД-регулятора менший, але не набагато,ступінь затухання більший, і динамічна похибка також менша.

Тобто робимо висновок, що використання ПІД- регулятора в даному випадку доцільне. П-регулятор має статичну похибку, що суттєво звужує його область застосування.

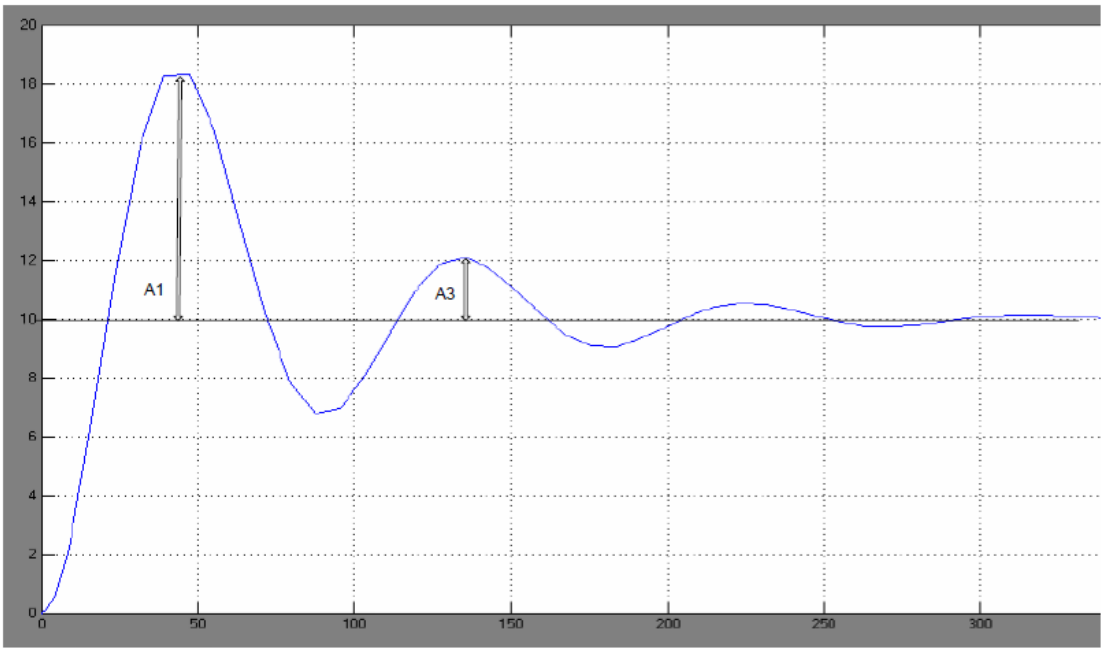


Рисунок 3.11 – Перехідний процес АСР з ПІД-регулятором:

ψ =(A1-A3)/A1=(9,8-3,4)/9,8 = 0,65; A_1= max X_1 = 9,8 $C°$; ΔX_{cm} = 0°C

Висновки. Після порівняння отриманих результатів, можемо дійти висновку, що по каналу «Завдання-Вихід» краще себе показав метод РАФХ. Але для даної робити важливішим є саме канал «Збурення- Вихід», поглянувши на отримані показники якості, можна дійти висновку, що динамічна похибка та час перехідного процесу РАФХ та інженерного методу мають незначну різницю, але у метод РАФХ не має перерегулювання та має показник затухання рівний одиниці.

В даному розділі була складена структурна схема АСР температури вистоювання тіста. Методом Циглера-Ніколса знайдені оптимальні настройки регуляторів, та отримали перехідні процеси з П-, ПІ-, та ПІД-регуляторами. З трьох графіків можна сказати, що найкраще справився із задачею ПІ та ПІД регулятори, тому що вони мають підходящу ступінь затухання, хоча ПІД-регулятор має велику динамічну похибку.

4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

4.1 Контури схеми автоматизації

Контур стабілізації температури у збірнику води побудований на базі мікропроцесорного контролера (МПК) та системи дворічного керування. Як первинний вимірювальний прилад використовується термоперетворювач SITRANS TK/TK-H (7а), який формує уніфікований аналоговий сигнал 4–20 мА, пропорційний поточному значенню температури. Цей сигнал надходить на вхід МПК, де порівнюється із заданою уставкою. Отримане неузгодження обробляється за алгоритмом ПІ-регулювання, після чого сформоване керуюче рішення через модуль аналогових виходів (4–20 мА) спрямовується на блок ручного управління БРУ-107 (7г).

Конструктивно вхід БРУ-107 підключений до аналогового виходу контролера, а його власну вихідну лінію комутовано з електропневматичним перетворювачем (ЕПП) Samson 6111 (7б). Система підтримує два режими роботи:

В автоматичному режимі БРУ-107 функціонує як транзитний елемент, транслюючи вихідний сигнал керування від МПК на ЕПП без змін.

У ручному режимі оператор може безпосередньо з БРУ-107 задавати ступінь відкриття регулювального клапана подачі пари. Це дозволяє примусово підтримувати підвищену температуру у збірнику протягом необхідного часу, фіксуючи положення парового клапана у заданому значенні в обхід автоматичного алгоритму програми.

Забезпечення точного дозування та завантаження сировинних компонентів у тістомісильну машину відповідно до регламентованих параметрів (табл. 1.2) реалізовано за допомогою комплексу підібраних вимірювальних приладів і датчиків.

Контроль маси інгредієнтів у технологічних ємностях здійснюється за допомогою ваговимірювальних тензометричних датчиків, які встановлені

триточковим методом (по три одиниці на кожен резервуар). Для вагового контролю ємності з рідким розчином, де максимальна маса компонента становить 110 кг, передбачено тензодатчики виробництва HBM типу HLCB1C3/110 (позиції 1а, 2а, 3а). Зазначені прилади виготовлені з нержавіючої сталі, мають високий рівень пиловологозахисту IP68, клас точності 0,1, вихідний опір 350 ± 2 Ом та розраховані на температурний діапазон експлуатації від -30 до +40 °С. Аналогічний тип тензометричного обладнання (позиції 4а, 5а, 6а) застосовано для ємності з маслом, оскільки гранична вага цього компонента також не перевищує 110 кг. Зважаючи на більшу місткість бункера для борошна та номінальну вагу дози у 230 кг, для цієї ємності обрано тензодатчики HBM типу HLCB1C3/550 (позиції 7а, 8а, 9а) з максимальним навантаженням до 550 кг, які за своїми конструктивними матеріалами, класом захисту (IP68), вихідним опором та температурним режимом повністю ідентичні попереднім моделям.

Захист циркуляційного насоса від аварійних режимів роботи, зокрема від виникнення «сухого ходу», забезпечується встановленням диференційного реле тиску Danfoss типу YNS-C106 (позиція 19а). Цей пристрій здійснює моніторинг перепаду тиску в діапазоні від 0,25 до 3,5 бар, живиться від мережі змінного струму 220 В та здатний працювати в умовах температур робочого середовища від -20 до +120 °С.

Моніторинг теплового стану водяної сорочки тістомісильної машини покладено на температурний датчик Raut типу STw-01 (позиція 17а), що безперервно вимірює температуру теплоносія. Даний прилад має клас точності 0,5 із допустимою похибкою вимірювання $\pm 0,5$ °С, робочий діапазон від 0 до 90 °С, ступінь захисту корпусу IP54 та довжину занурювальної частини 100 мм. Як вихідний інтерфейс у датчику використовується чутливий елемент стандарту Pt1000.

Для визначення частоти обертання робочого органу (шнека) використано індуктивний датчик швидкості виробництва ifm electronic типу DI6001 (позиція 18а). Пристрій працює за принципом PNP-перемикача з номінальною відстанню спрацьовування 12 мм. Електронний блок датчика розрахований на напругу

живлення в межах 10–36 В постійного струму, функціонує у температурному інтервалі від -20 до +80 °C та захищений від зовнішніх впливів за стандартом IP67.

4.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ

1. Промисловий контролер Unitronics V1210 T20BJ.

Це високопродуктивний програмований логічний контролер (ПЛК), інтегрований у єдиний корпус із великим кольоровим сенсорним графічним екраном діагоналлю 12.1 дюйма.



Рисунок 4.1 – Промисловий контролер Unitronics V1210 T20BJ

Пристрій розроблений для автоматизації складних технологічних процесів, що потребують розвиненого людино-машинного інтерфейсу (HMI). Модель підтримує побудову розгалужених мереж керування за допомогою вбудованих портів RS232/RS485, Ethernet та шини CANbus. Контролер забезпечує швидку обробку логічних задач, має високий клас захисту передньої панелі (IP66/NEMA4X) для роботи у важких промислових умовах харчових та хімічних цехів, а також програмується в єдиному середовищі як для логіки, так і для графіки екранних форм.

2. Ваговий модуль Unitronics IO-LC-3.

Спеціалізований модуль розширення вводу-виводу, призначений для безпосереднього підключення тензометричних датчиків (ваговимірювальних систем) до контролерів Unitronics.



Рисунок 4.2 – Ваговий модуль Unitronics IO-LC-3

Модуль забезпечує високоточне аналого-цифрове перетворення слабких сигналів від тензомістків, виконує апаратну фільтрацію коливань маси та передає готові цифрові значення ваги в центральний процесор ПЛК. Він незамінний у системах статичного й динамічного дозування сипучих та рідких компонентів (борошна, води, олії), де потрібна висока швидкість оновлення даних та мінімальна похибка.

3. Вмонтований модуль Unitronics v200-18-e3x.

Snap-in модуль вводу-виводу, який встановлюється безпосередньо на задню панель ПЛК серії Vision (зокрема V1210). Це комбінований блок, що містить оптимальний набір каналів для локальної автоматизації апарата: дискретні входи (включаючи високошвидкісні лічильники обертів фазних енкодерів), релейні та транзисторні дискретні виходи для керування пускачами чи клапанами, а також аналогові входи й виходи (струм/напруга, термопари та термоопори). Модуль дозволяє суттєво зекономити простір у щиті керування, виключаючи потребу у монтажі додаткових зовнішніх блоків на DIN-рейку.



Рисунок 4.3 – Вмонтований модуль Unitronics v200-18-e3x

4. Тензодатчик HLCBC3 110, 550.

Високоточні ваговимірювальні тензодатчики балкового типу (на зсув) виробництва компанії HBM. Модифікація з номіналом 110 кг орієнтована на ємності з рідкими добавками чи олією, а номінал 550 кг — на навантажені бункери сипучих інгредієнтів (борошна).



Рисунок 4.4 – Тензодатчик HLCBC3 110, 550

Датчики виконані з нержавіючої сталі, мають найвищий клас герметичності IP68 (витримують миття під тиском), клас точності D1 або C3 за стандартами OIML та забезпечують стабільні метрологічні характеристики в умовах вібрацій від роботи змішувачів.

5. Клапан трьохходовий PN25 з виконавчим механізмом Belimo SV24A-TPC.

Трубопровідна арматура змішувального або роздільного типу з номінальним тиском до 25 бар. Застосовується для точного регулювання

температури шляхом перерозподілу потоків гарячого та холодного теплоносія (наприклад, у сорочках теплообмінників або збірниках води).



Рисунок 4.5 – Виконавчий механізм Belimo SV24A-TPC

Клапан приводиться в дію лінійним електроприводом Belimo SV24A-TPC, який живиться напругою 24 В, має плавне (аналогове) керування та забезпечує значне зусилля закриття для подолання перепадів тиску в магістралі.

6. Клапан двоходовий PN25 з виконавчим механізмом NV24A-TPC.

Регулювальний або запірний прохідний клапан високого тиску (PN25), призначений для повного перекриття або дроселювання потоку рідкого чи парового середовища на підвідних лініях.



Рисунок 4.6 – Виконавчий механізм NV24A-TPC

Керування затвором здійснюється за допомогою надійного електричного привода Belimo NV24A-TPC. Привод працює від безпечної напруги 24 В,

підтримує функції точного позиціонування штока за стандартним сигналом від контролера та оснащений технологією захисту від перевантажень у кінцевих точках ходу.

7. Датчик температури STw-01.

Промисловий занурювальний термоперетворювач опору (виробництва Raut) із чутливим елементом платинового типу стандарту Pt1000. Призначений для безперервного вимірювання температури рідких середовищ, води або теплоносія в межах від 0 до 90 °C.



Рисунок 4.7 – Датчик температури STw-01

Завдяки високому базовому опору елемента (1000 Ом при 0 °C), датчик малочутливий до опору підвідних дротів, що гарантує високу точність показань ± 0,5 °C) при передачі сигналу на вхідні модулі ПЛК. Корпус захищений за стандартом IP54, а довжина занурення складає 100 мм.

8. Світловий індикатор AD22-22DS.

Світлодіодна (LED) матрична сигнальна лампа, призначена для монтажу на дверцятах шафи керування або операторських пультах. Пристрій служить для візуального інформування обслуговчого персоналу про поточний стан системи: наявність напруги живлення, роботу насосів чи приводів, а також для світлової сигналізації про виникнення аварійних ситуацій (перевантаження, сухий хід,

відхилення параметрів дозування від норми). Має низьке енергоспоживання та тривалий термін експлуатації.



Рисунок 4.8 – Світловий індикатор AD22-22DS

9. Тензометричний датчик Hottinger Baldwin Messtechnic HLCB1C3 110.

Високоточний ваговимірювальний тензодатчик балкового типу (на зсув) від провідного німецького виробника HBM з номінальним руйнівним та вимірювальним навантаженням до 110 кг. Прилад призначений для зважування та дозування рідких інгредієнтів або масел.



Рисунок 4.9 – Тензометричний датчик Hottinger Baldwin Messtechnic HLCB1C3 110

Датчик виготовлений із корозійностійкої нержавіючої сталі, має максимальний клас промислового захисту корпусу IP68 (повна герметичність від

пилу та води) і клас точності С3 відповідно до міжнародних метрологічних стандартів. Він забезпечує стабільну передачу сигналу в умовах тривалого впливу вологи, агресивних миючих розчинів та промислових вібрацій у діапазоні температур від -30 до +40 °С.

10. Тензометричний датчик Hottinger Baldwin Messtechnic HLCB1C3 550.

Тензометричний датчик балкового типу, конструктивно та технологічно ідентичний попередній моделі, але розрахований на підвищене граничне навантаження до 550 кг. Використовується в опорних вузлах ємностей великої місткості, зокрема в бункерах для зважування та дозування борошна. Прилад зберігає аналогічні високі експлуатаційні характеристики: нержавіюче виконання, ступінь захисту IP68, уніфікований вихідний опір 350 ± 2 Ом та клас точності 0,1, що дозволяє інтегрувати його у вагові модулі контролерів для прецизійного обліку маси щільних та сипучих матеріалів.

10. Диференційне реле тиску Danfoss YNS-C106.

Промисловий пристрій автоматики, призначений для дискретного контролю перепаду (різниці) тиску робочого середовища в діапазоні від 0,25 до 3,5 бар.



Рисунок 4.10 – Диференційне реле тиску Danfoss YNS-C106

У цьому контурі автоматизації реле встановлюється на циркуляційному насосі для захисту від критичного режиму роботи – «сухого ходу» (роботи без теплоносія). Прилад живиться від мережі змінного струму 220 В, адаптований до широкого температурного діапазону вимірюваного середовища (від -20 до +120 °С) та забезпечує миттєве розмикання ланцюга керування пускачем або передачу аварійного дискретного сигналу на ПЛК при падінні тиску нижче встановленої уставки.

12. Датчик швидкості обертів ifm electronic DI6001.

Спеціалізований індуктивний датчик частоти обертання та контролю швидкості з PNP-типом вихідного транзисторного ключа. Пристрій призначений для безперервного визначення кількості обертів місильного органу (шнека).



Рисунок 4.11 – Датчик швидкості обертів ifm electronic DI6001

Датчик має зону спрацьовування до 12 мм, живиться постійною напругою в межах 10–36 В та функціонує в температурному інтервалі від -20 до +80 °С. Герметичний корпус зі ступенем захисту IP67 дозволяє експлуатувати прилад безпосередньо у зоні механічних передач апарата в умовах можливого запилення борошном.

4.3 Функціональні схеми автоматизації управління

Функціональна схема автоматизації контуру регулювання температури води в збірнику на рисунку 4.12.

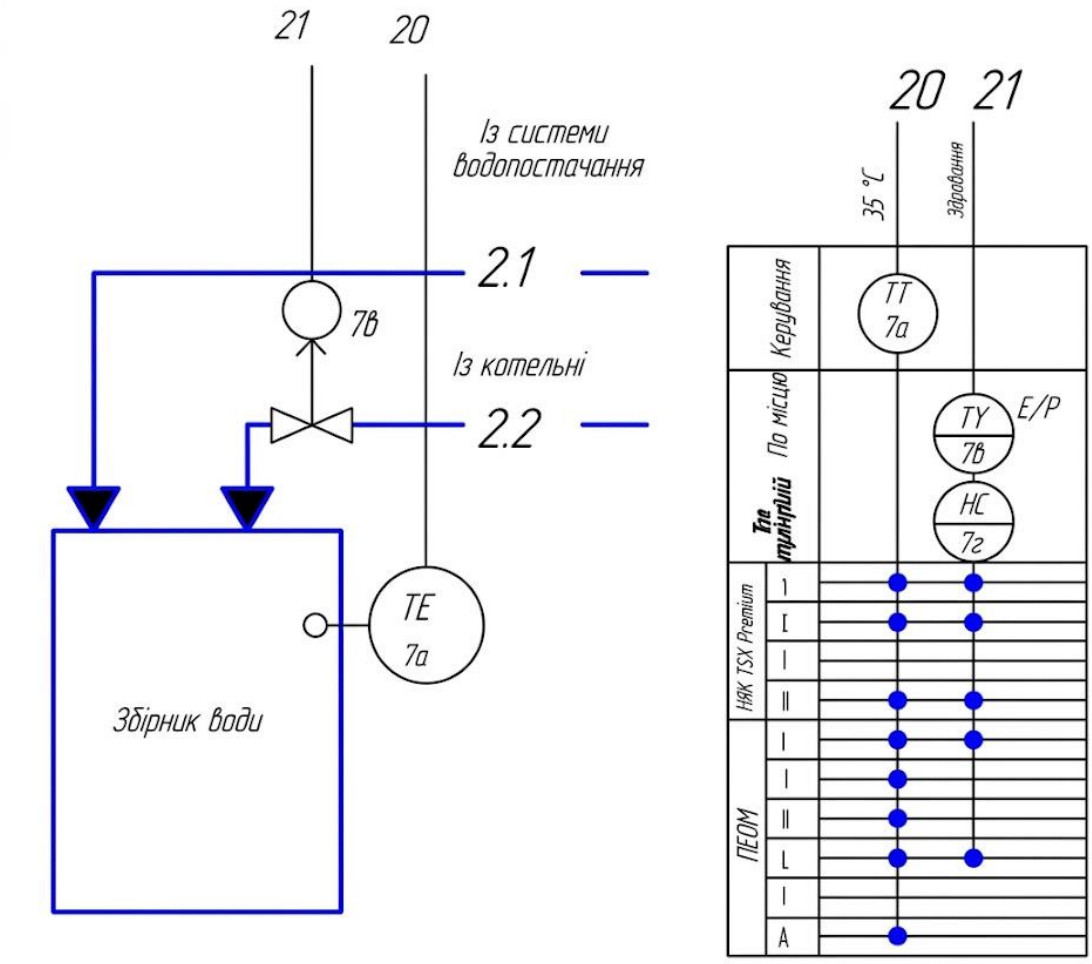


Рисунок 4.12 – Функціональна схема автоматизації контуру регулювання температури води в збірнику

Функціональна схема автоматизації схеми завантаження та контролю температури в тістомісильній машині наведена на рисунку 4.13.

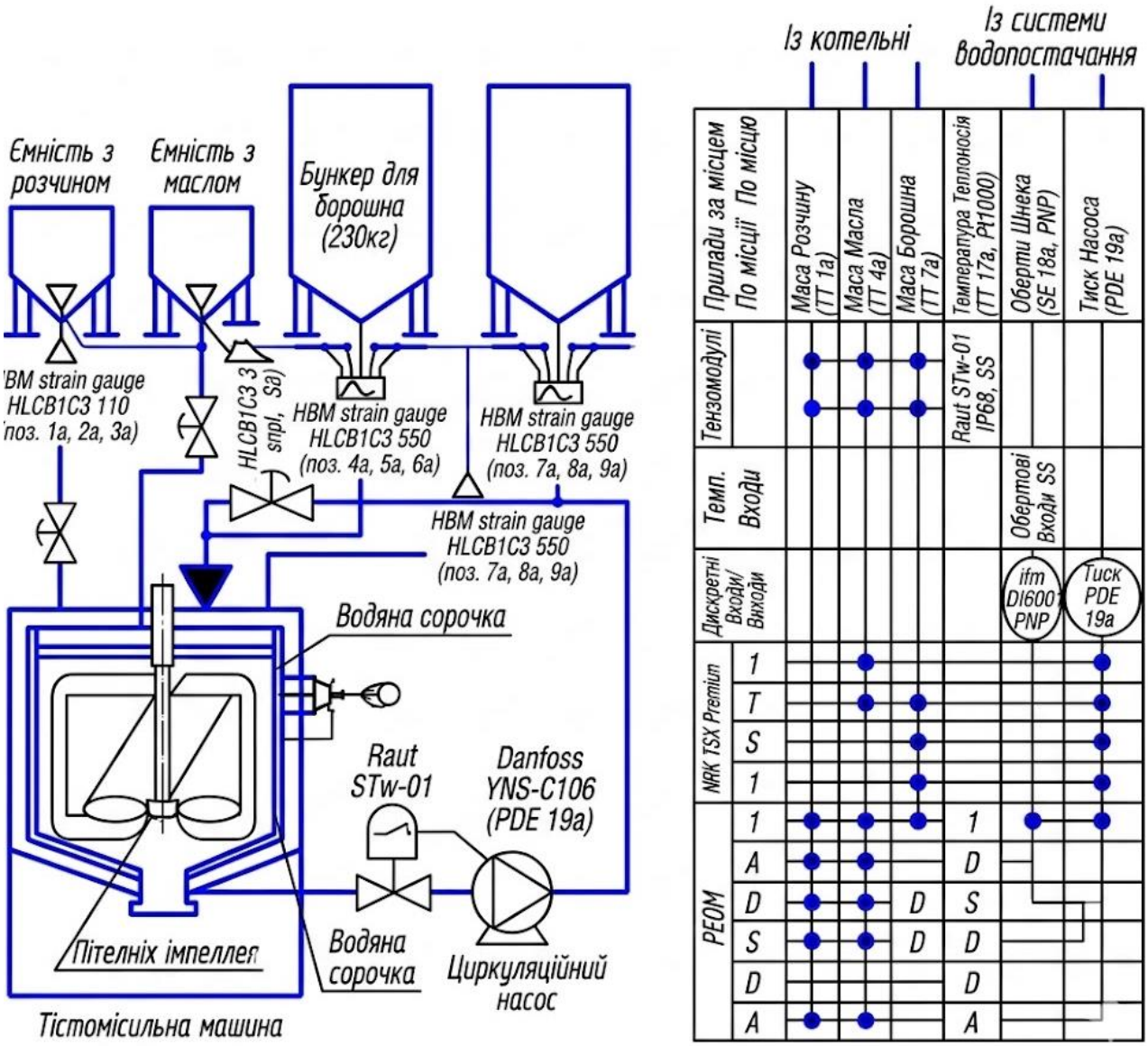


Рисунок 4.13 – Функціональна схема автоматизації системи завантаження та контролю температури в тістомісильній машині

4.4 Принципова схема з’єднання між собою технічних засобів автоматизації

Для контролю теплового режиму у збірнику води застосовується вимірювальний перетворювач температури Sitrans TK/TK-H (позиція 7а). У контурі автоматичного керування сформований датчиком аналоговий сигнал

спрямовується на модуль аналогових входів мікропроцесорного контролера (МПК). Після обробки інформації керуюче рішення з модуля аналогових виходів МПК подається на вхід блока ручного управління БРУ-107 (позиція 7г). У такому режимі блок БРУ-107 функціонує транзитом, пропускаючи сигнал без операційних змін безпосередньо на електропневматичний перетворювач Samson 6111 (позиція 7б), який регулює ступінь відкриття парового клапана.

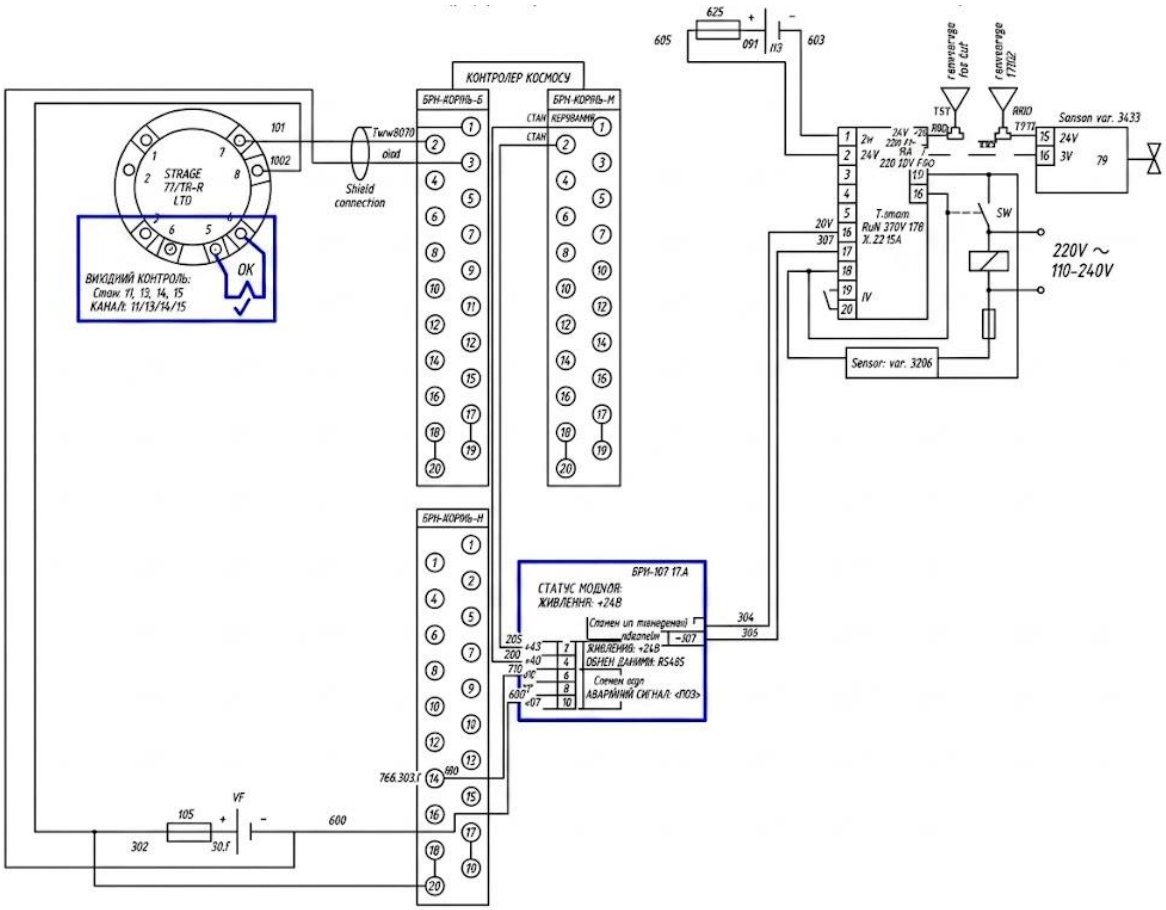


Рисунок 4.14 – Схема підключення та контроля контуру регулювання температури води в збірнику

У разі переходу на ручний режим керування завдання щодо позиціонування клапана пари формується безпосередньо через інтерфейс БРУ-107. Це дозволяє оператору примусово зафіксувати необхідний ступінь відкриття регулювального органу на лінії подачі пари в збірник, забезпечуючи стабільно підвищену температуру середовища протягом визначеного технологічним

регламентом часу в обхід загального алгоритму контролера.

Комутація та перемикання між автоматичним і ручним режимами роботи здійснюється за допомогою блока БРУ-107. Цей пристрій інтегрується в локальні та комплексні системи промислової автоматизації як спеціалізована станція ручного керування аналоговими виконавчими механізмами або як ручний задатчик аналогових сигналів із функцією візуальної індикації. Головною конструктивною перевагою блока БРУ-107 є наявність повної гальванічної ізоляції між вхідними й вихідними колами, лінією живлення та комунікаційними інтерфейсами. Апарат призначений для оперативного перемикання контурів керування виконавчими пристроями, моніторингу поточних режимів роботи, а також вимірювання й відображення визначеного технологічного параметра.

Апаратна частина БРУ-107 функціонує під управлінням сучасного високоінтегрованого мікроконтролера з RISC-архітектурою, виготовленого за високошвидкісною КМОП-технологією з низьким рівнем енергоспоживання. Функціональні можливості приладу дозволяють застосовувати його як станцію ручного керування імпульсними виконавчими механізмами з відображенням поточних статусів. Окрім цього, блок забезпечує первинне вимірювання фізичних величин, таких як температура, тиск, витрата або рівень, з подальшим обробленням, масштабуванням та виведенням поточного значення на вбудований чотирьохрозрядний цифровій індикатор. На лицьовій панелі пристрою також розміщено світлодіодні індикатори технологічної сигналізації, які попереджають обслуговчий персонал про вихід контрольованого параметра за межі безпечних робочих зон або про досягнення критичних точок мінімуму й максимуму.

4.5 Схема управління електродвигунами з магнітним пускачем

Принципову електричну схему керування електродвигуном М1 із живленням ланцюга керування фазною напругою зображено на рис. 4.15. Ця

схема забезпечує місцеве (ручне) або автоматичне керування відповідним приводом.

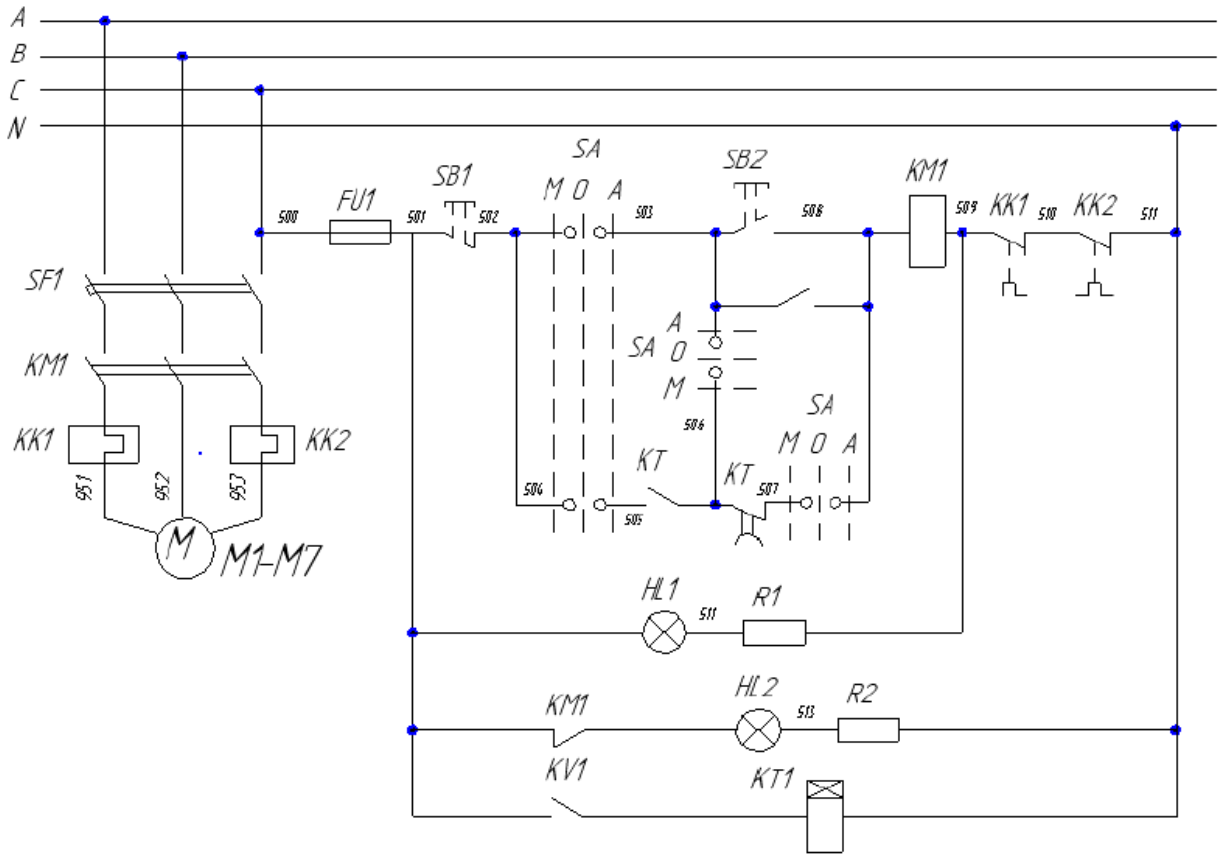


Рисунок 4.15 – Принципова схема керування асинхронним двигуном магнітного пускача (аналогічно для М1-М7)

У ручному режимі роботи електропривода натисканням кнопки SB2 («Пуск») напруга 220 В подається на котушку магнітного пускача КМ1. Це призводить до замикання його допоміжного нормально розімкненого контакту КМ1, який шунтує кнопку «Пуск» і забезпечує утримання живлення котушки (ефект самоблокування) після її відпускання. Головні контакти магнітного пускача замикають силовий ланцюг, здійснюючи запуск електродвигуна М1. Зупинка привода виконується натисканням кнопки SB1 («Стоп»), що призводить до розриву ланцюга живлення котушки пускача, розмикання контакту самоблокування та відключення двигуна від мережі.

Переведення керування електродвигуном М1 в автоматичний режим здійснюється за допомогою ключа вибору режимів SA. У цьому разі формування команд на запуск та зупинку привода реалізується через дискретний вихід мікропроцесорного контролера за допомогою проміжного реле KV1. Для захисту статорних обмоток двигуна від тривалих струмових навантажень і перегріву в силовий ланцюг інтегровано теплове реле КК1. При спрацьовуванні теплового захисту його нормально замкнені контакти КК1 розмикаються в колі котушки пускача, знеструмлюючи її та зупиняючи двигун.

Функціональна схема регулювання забезпечує вимірювання поточних значень технологічних параметрів, обробку отриманої інформації та формування керуючих впливів за заданим алгоритмом. Це дозволяє змінювати положення регулюючих органів за допомогою виконавчих механізмів для підтримки параметрів процесу відповідно до вимог технологічного регламенту.

Усі первинні сигнали від датчиків надходять на вхідні пристрої зв'язку з об'єктом (ПЗО), зокрема на модулі аналогових входів TSX AEY 414. Кожен такий модуль має 8 каналів і призначений для перетворення уніфікованого аналогового сигналу струму 4-20 мА у цифровий код контролера. Після програмної обробки даних у центральному процесорі Schneider TSX Premium, керуючий сигнал за заданим алгоритмом передається на вихідні ПЗО – 4-канальні модулі аналогових виходів TSX ASY 410. Модуль вихідних сигналів через клемно-блочні з'єднання здійснює безпосередній керуючий вплив на виконавчі механізми та пов'язане з ними периферійне устаткування, зокрема на електропневматичні перетворювачі.

Принципова схема підключення частотного перетворювача Mitsubishi s500 до асинхронного двигуна наведена на рисунку 4.16.

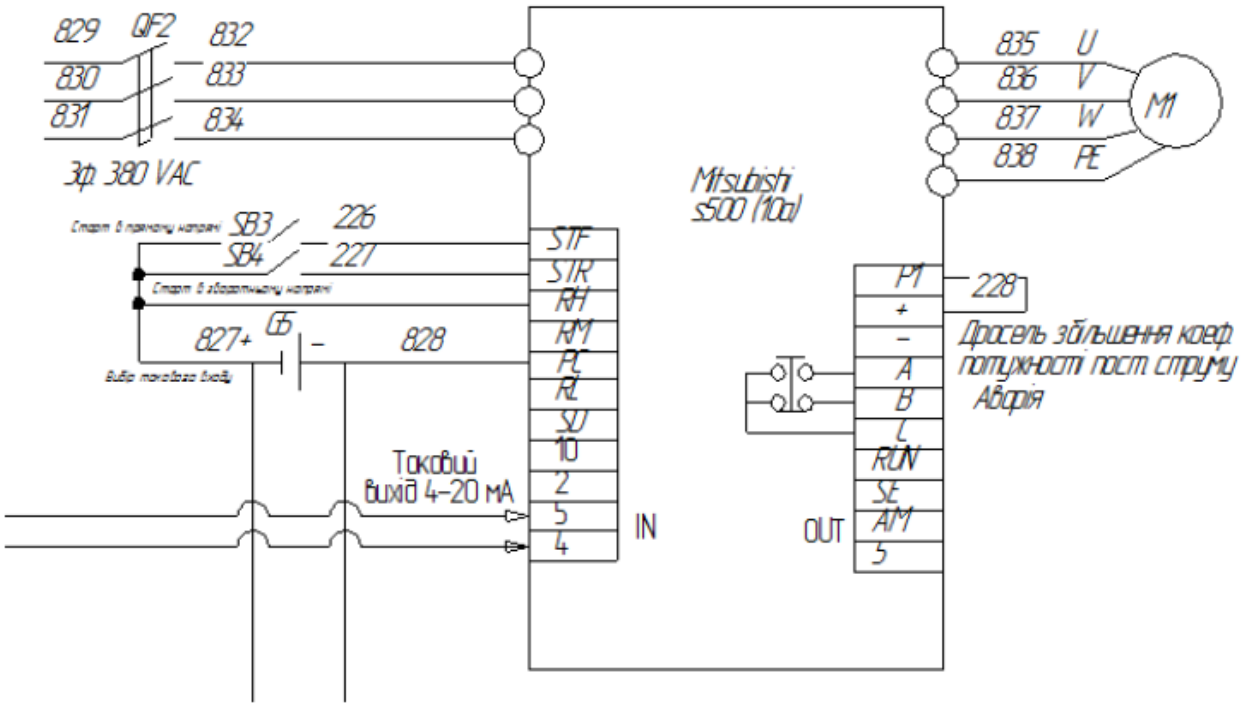


Рисунок 4.16 – Принципова схема підключення частотного перетворювача Mitsubishi s500 до асинхронного двигуна

Для керування запірну-регулюючими клапанами в системі дозування застосовуються однообертові електричні виконавчі механізми типу МЕО-40-99КД. Вибір цих пристроїв обумовлений їхньою економічною доцільністю, високою надійністю та відповідністю технічним вимогам контурів дозування, які не потребують прецизійної точності позиціонування.

До складу кожного регулювального вузла входить безконтактний реверсивний пускач, який безпосередньо комутує живлення обмоток електродвигуна МЕО, а також блок ручного управління, призначений для перемикання між автоматичним і ручним режимами керування поворотним клапаном. Загалом у технологічній схемі задіяно 10 виконавчих механізмів зазначеного типу. Кожен із них комутується через індивідуальний безконтактний електронний пускач ПБР-2М. Для оперативного перемикання режимів і ручного оперування клапанами передбачені блоки ручного управління БРУ-10.

Керування положенням вала кожного механізму МЕО реалізовано за трипозиційною схемою за допомогою двох дискретних сигналів («Більше» та

«Менше»), які надходять із модуля дискретних виходів мікропроцесорного контролера на пускач ПБР-2М. Зворотний зв'язок у контурі регулювання забезпечується комплексом вихідних сигналів виконавчого механізму. Поточний стан клапана контролюється за допомогою вбудованого датчика положення, аналоговий сигнал якого транслюється на модуль аналогових входів контролера. Додатково для моніторингу працездатності системи та запобігання заклинюванню арматури використовуються два дискретні сигнали від кінцевих вимикачів крайніх положень («Відкрито»/«Закрито»), які підключаються до модуля дискретних входів промислового контролера.

Підключення приладу до вхідних та вихідних модулів контролера наведене на рисунку 4.17.

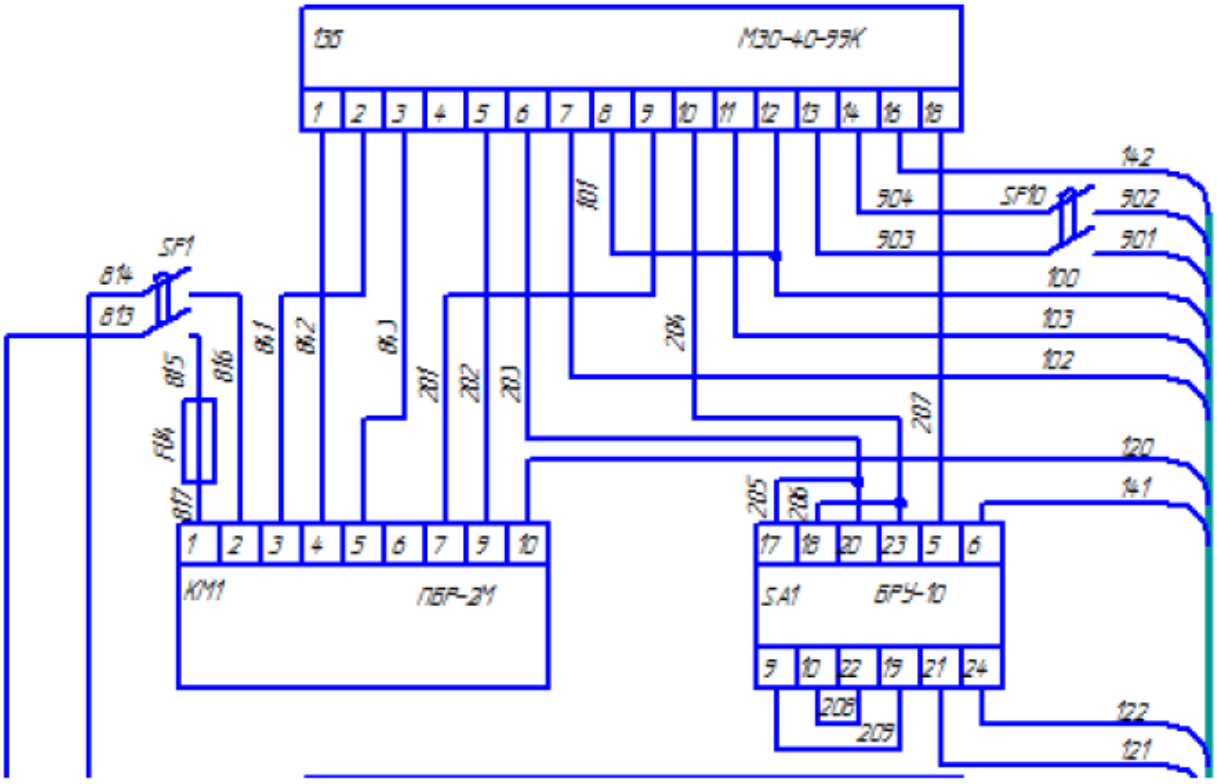


Рисунок 4.17 – Схема підключення приладу до вхідних та вихідних модулів контролера

Живлення безконтактного реверсивного пускача ПБР-2М здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В через автоматичний вимикач SF1 та плавкий запобіжник, від яких напруга по провідниках з маркуванням 813 і 814 подається на вхідні клеми 1 та 2 пристрою. Силовий ланцюг живлення статорних обмоток електродвигуна виконавчого механізму МЕО підключається до вихідних клем 3, 4 і 5 пускача ПБР-2М за допомогою провідників 841, 842 та 843 відповідно. Команди на відкриття або закриття регулювального органу в режимі ручного (місцевого) оперування передаються з клем 7, 8 і 9 реверсивного пускача на відповідні обмотки МЕО із використанням загального зворотного провідника.

Для побудови системи зворотного зв'язку та сигналізації кінцевих положень запірно-регулюючої арматури використовуються мікровимикачі виконавчого механізму. Дискретні сигнали про повне закриття або відкриття клапана з клем 7 та 11 МЕО надходять на вхідні канали модуля дискретних входів промислового контролера. Ланцюги кінцевих вимикачів, що підключені до клем 13 та 14 МЕО, інтегровані в загальну схему живлення інтерфейсних кіл модулів вводу-виводу контролера. Безперервний моніторинг поточного ступеня відкриття клапана реалізовано за допомогою вбудованого реостатного або індуктивного датчика положення, з клеми 16 якого уніфікований аналоговий сигнал 4–20 мА (провідник 142) спрямовується на модуль аналогових входів МПК. Цей канал працює в парі із провідником 141, який підключений до клеми 6 блока ручного управління БРУ-10 і виконує функцію спільного опорного потенціалу («загального проводу») для зазначеного аналогового входу.

Взаємодія блока БРУ-10 із модулями промислового контролера та безпосередньо з виконавчим механізмом забезпечує гнучке перемикання режимів роботи. Керуючий аналоговий сигнал від модуля аналогових виходів контролера подається на клеми 21 та 24 БРУ-10 по провідниках 121 і 122, що дозволяє системі динамічно змінювати положення робочого органу МЕО за алгоритмом МПК. Корекція положення вала в автоматичному режимі здійснюється через комутаційні кола клем 20 та 23 БРУ-10. Вибір поточного методу керування (ручний або автоматичний) визначається станом дискретного

сигналу, який формується на клемі 5 блока БРУ-10 і транслюється на вхідні ланцюги керування виконавчим механізмом.

Висновки. У ході проєктування системи автоматизації було успішно розроблено та обґрунтовано структуру контуру регулювання температури та дозування компонентів у тістомісильну машину. Вибір сучасного ПЛК Unitronics V1210 разом із прецизійними тензодатчиками HBM та цифровими модулями розширення дозволив забезпечити високу точність і надійність контролю маси інгредієнтів. Створені функціональні та принципові схеми електричних з'єднань наочно демонструють взаємодію між вимірювальними приладами, блоками ручного управління БРУ та виконавчими механізмами МЕО і Belimo. Запроваджені рішення з автоматичного та місцевого керування електродвигунами й частотними перетворювачами Mitsubishi гарантують стабільність технологічного процесу та гнучкість оперування обладнанням. Застосування частотного перетворювача Mitsubishi s500 забезпечує плавність пуску місильного органу, знижуючи динамічні навантаження на механічні вузли та зменшуючи споживання електроенергії. Завдяки наявності повної гальванічної ізоляції в блоках керування та високому класу захисту периферійних датчиків (IP67/IP68), схема має відмінну завадостійкість та електробезпеку. Загалом, спроєктована система повністю задовольняє вимогам регламенту хлібопекарського виробництва, мінімізує вплив людського фактора та забезпечує надійний захист обладнання від аварійних режимів роботи.

Загалом, спроєктована система повністю задовольняє вимогам регламенту хлібопекарського виробництва, мінімізує вплив людського фактора та забезпечує надійний захист обладнання від аварійних режимів роботи.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Охорона праці

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і посадових обов'язків оператора АСУТП у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ сформовані заходи по забезпеченню безпеки праці.

Приміщення, у якому здійснюються заходи пов'язані з виконанням посадових обов'язків та проведенням досліджень та розрахунків (розробкою, модернізацією, удосконаленням, тощо), є спеціалізованим, яке обладнане ПК з ВДТ.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ»), ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та буде використовуватися згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ»), НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Згідно «ПУЕ», за ступенем небезпеки ураження електрострумом, робоче місце оператора АСУТП приміщення належить до 1-го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпеку.

Згідно глави 1.7 – «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ», обладнання має основну ізоляцію струмовідних частин, яка

забезпечує захист від прямого дотику та подвійну, яка складається з основної та додаткової ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні з ПК, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Оскільки робоче місце оператора АСУТП за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1-го класу, тому відповідно до вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» та додатку №1 до НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають І групу з електробезпеки.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними, яка відповідає нормованим значення (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м^2, а об'єм не менше ніж 20,0 м^3). Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями.

У зв'язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» для робітників із

застосування ЕОМ, передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години, а також обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження передбачені пристрої для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою

Для оптимізації відносин у колективі проводяться тренінги з залучанням психологів на теми: «Адаптація у новому колективі», «Поведінка в суспільстві».

Для запобігання кістково-м’язових порушень робочі місця користувачів ПК оператора АСУТП відповідають ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм, шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм.

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для робочого місця оператора, обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Основними причинами недостатньої або надмірної освітленості робочих місць є несправність або хибний вибір освітлювальних приладів, неправильне розташування робочих місць по відношенню до джерел освітлення.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє або надмірне освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

Робоче місце оператора АСУТП обладнаному ПК з екранним пристроєм (далі – «ЕП»), згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Метеорологічні умови для приміщенні з комп’ютеризованими робочими місцями – температура, відносна вологість та швидкість переміщення повітря цілком відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Роботи у приміщенні з ПК, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21-23°С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22-24°С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Охорона праці роботи з апаратами вистоювання тіста:

1. Загальні вимоги та допуск до роботи:

– до роботи допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання,

інструктаж з охорони праці та пожежної безпеки, а також медичний огляд;

– працювати необхідно у спеціальному чистому санітарному одязі (халат або куртка, фартух, головний убір, що повністю закриває волосся) та взутті на нековзній підошві;

– перед початком роботи слід перевірити справність заземлення апарата, цілісність кабелів живлення та роботу вентиляції.

2. Безпека перед початком та під час завантаження:

– перевірте роботу приладів автоматичного регулювання температури та вологості (психрометрів/датчиків).

– візуально оцініть стан дверей, запірних механізмів та напрямних для стелажних візків (якщо це шафа тупикового або наскрізного типу);

– слідкуйте за тим, щоб підлога перед апаратом була сухою і чистою, щоб уникнути падіння під час перекочування візків із тістом;

– завантаження та вивантаження візків або листів (деків) потрібно проводити обережно, без різких поштовхів, щоб запобігти їх перекиданню.

3. Безпека під час експлуатації апарата:

– забороняється експлуатувати апарат із несправними приладами автоматики, датчиками рівня води або температури;

– не відкривайте двері камери вистоювання без нашої потреби під час робочого циклу;

– оскільки всередині підтримується висока вологість і температура (зазвичай +35...+40 °C і вологість до 80-85%), під час відкривання дверей існує ризик опіку парою. Відчиняти двері слід плавно, стоячи збоку від прорізу, і зачекати кілька секунд, поки вийде перша хвиля гарячої пари;

– категорично заборонено торкатися відкритих нагрівальних елементів (ТЕНів) або парогенератора;

– не допускайте переповнення водою бачка парогенератора (якщо регулювання ручне) та стежте за справністю клапанів подачі води.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи:

– вимкніть апарат від електромережі (натисніть кнопку «Стоп» та вимкніть головний рубильник/автомат);

– перекрийте подачу води (якщо апарат підключений до водопроводу);

– дайте обладнанню охолонути перед початком санітарної обробки;

– проведіть очищення та промивання внутрішніх поверхонь камери, злийте залишки води з піддонів чи парогенератора (згідно з інструкцією виробника);

– забороняється мити та дезінфікувати апарат, який перебуває під напругою, або заливати водою електричні блоки керування.

5. Дії в аварійних ситуаціях:

– у разі виявлення запаху горілої ізоляції, іскріння, відчуття дії струму під час дотику до корпусу («пробивання на корпус») або будь-яких незвичних шумів – негайно знеструмте апарат;

– сповістіть керівника робіт (майстра, технолога) про несправність. Не намагайтеся ремонтувати обладнання самостійно.

– у разі отримання опіку гарячою парою чи водою – негайно надайте першу допомогу (охолодження ураженої ділянки) та зверніться до медпункту.

5.2Вимоги до обладнання

Обладнання для остаточного вистоювання тістових заготовок повинно повністю відповідати вимогам безпеки, промислової санітарії та технічної естетики. Оскільки всередині апаратів штучно створюється агресивне середовище з високою вологістю та підвищеною температурою, до їхньої конструкції висуваються особливі експлуатаційні вимоги.

Усі внутрішні поверхні камери, напрямні елементи та деталі парогенераторів мають бути виготовлені з корозійностійкої нержавіючої сталі

або інших матеріалів, дозволених для контакту з харчовими продуктами. Стінки та двері обладнання потребують надійної термоізоляції для запобігання втратам тепла й утворенню конденсату на зовнішніх поверхнях. Дверні прорізи обов’язково оснащуються еластичними ущільнювачами, які забезпечують герметичність камери під час роботи і запобігають виходу гарячої пари у виробниче приміщення. Конструкція камери має виключати наявність важкодоступних місць чи щілин, де можуть накопичуватися залишки борошна або конденсат, створюючи умови для розвитку плісняви. Системи піддонів повинні забезпечувати повне відведення надлишкової вологи у дренажну систему підприємства.

Апарати повинні оснащуватися надійними автоматичними приладами для точного контролю та підтримання заданої температури й відносної вологості повітря. Електронагрівальні елементи системи підігріву та парогенератора мають бути повністю ізольовані та захищені від випадкового дотику обслуговчого персоналу. Обов'язковою є наявність автоматичного захисту від сухого ходу, який вимикає живлення ТЕНів у разі падіння рівня води нижче критичної позначки. Органи керування та сенсорні панелі повинні мати високий клас захисту від вологи та пилу, розташовуючись у зоні зручного доступу оператора.

Для візуального контролю процесу в дверях передбачають оглядові вікна з термостійкого і безосколкового скла разом із внутрішнім вологозахищеним освітленням. Дверні замки мають забезпечувати щільне закривання, але водночас виключати можливість випадкового заклинювання людини всередині великих камер. У шафах, куди закочуються стелажні візки, підлога та в'їзні пандуси виконуються в один рівень з підлогою цеху без порогів, щоб уникнути струсу заготовок чи перекидання конструкції. Напрямні всередині камери мають надійно фіксувати рухомі елементи. Усі металеві неструмоведучі частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні мати надійне заземлення, а електрична схема має передбачати миттєве автоматичне вимкнення апарата в разі короткого замикання.

5.3Заходи з електробезпеки

Для забезпечення надійної та безпечної експлуатації апаратів вистоювання тіста впроваджується комплекс заходів з електробезпеки, спрямованих на захист персоналу від ураження електричним струмом в умовах підвищеної вологості. Оскільки це обладнання працює у постійному контакті з водою та парою, ризик зниження опору ізоляції та виникнення аварійних ситуацій значно зростає, що вимагає суворого дотримання технічних стандартів.

Усі металеві неструмоведучі частини обладнання, включаючи корпус шафи, каркас парогенератора та металеві двері, підлягають обов'язковому та надійному заземленню за допомогою спеціальних провідників. Перед кожною робочою зміною персонал зобов'язаний візуально перевіряти цілісність заземлювального контуру, відсутність механічних пошкоджень на видимих ділянках дротів, а також міцність болтових з'єднань. Лінія живлення апарата вистоювання має бути оснащена пристроєм захисного вимкнення та автоматичними вимикачами, які миттєво знеструмлюють техніку в разі появи диференційного струму витоку, короткого замикання або перевантаження в мережі.

Електропроводка, кабелі живлення та внутрішні з'єднання повинні мати посилену вологостійку та термостійку ізоляцію, яка здатна витримувати постійний вплив високих температур і конденсату без втрати своїх діелектричних властивостей. Усі шафи керування, розподільні коробки, пускові кнопки та цифрові панелі обладнання повинні мати високий клас захисту оболонки від проникнення пилу та води. Категорично забороняється розміщувати елементи керування в зонах безпосереднього виходу пари або можливого проливання води під час заповнення парогенератора.

Під час виконання будь-яких робіт з технічного обслуговування, очищення чи санітарної обробки внутрішніх поверхонь камери апарат необхідно повністю відключити від електромережі за допомогою головного рубильника або вимикача. На пускових пристроях на час проведення таких робіт обов'язково

вивішується плакат із попередженням про заборону ввімкнення, оскільки всередину камери подаватиметься вода для миття. Персоналу суворо забороняється торкатися електричних приладів, розеток, вилок чи кнопок керування мокрими або вологими руками. У разі виявлення перших ознак несправності, таких як іскріння, запах горілої ізоляції, пошкодження кабелю чи відчуття слабкого дії струму під час дотику до корпусу, оператор повинен негайно припинити роботу, знеструмити апарат та викликати кваліфікованого електротехнічного персоналу для усунення поломки.

5.4 Пожежна безпека

Забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації апаратів для вистоювання тіста є критично важливою умовою, оскільки це обладнання поєднує в собі потужні електронагрівальні елементи, системи подачі води та роботу в безперервному температурному режимі. Основними причинами виникнення пожеж у таких процесах є порушення правил експлуатації електрообладнання, короткі замикання в умовах високої вологості, а також аварійні режими роботи нагрівальних елементів без належного рівня води.

Для запобігання займанню конструкція апаратів обов'язково передбачає використання виключно негорючих термоізоляційних матеріалів між внутрішньою робочою камерою та зовнішнім облицюванням. Автоматика безпеки повинна миттєво знеструмлювати теплові електричні нагрівачі у разі їхнього перегріву або виходу з ладу датчиків контролю температури. Особлива увага приділяється справності системи автоматичного підживлення парогенератора, оскільки робота трубчастих електронагрівачів у сухому стані призводить до їхнього розжарення, руйнування та можливого займання навколишніх ізоляційних матеріалів чи пилоподібних залишків борошна.

Виробниче приміщення, де встановлено обладнання для вистоювання, має бути забезпечене ефективною припливно-витяжною вентиляцією для видалення

надлишків тепла та запобігання утворенню зон конденсації вологи на електричних щитах. На ділянці встановлення шаф забороняється зберігати сторонні предмети, дерев'яну тару, пакувальні матеріали, текстиль та інші горючі речовини. Усі проходи до пускових пристроїв, головних рубильників та засобів пожежогасіння повинні залишатися постійно вільними.

Персонал цеху зобов'язаний суворо дотримуватися графіка очищення обладнання, оскільки накопичення сухого борошняного пилу та нагару на гарячих поверхнях або всередині вентиляційних каналів створює додаткову загрозу тління та займання. Після закінчення робочої зміни оператор повинен повністю знеструмити апарат та переконатися у відсутності ознак перегріву елементів. У безпосередній близькості від обладнання обов'язково розміщують первинні засоби пожежогасіння, зокрема вуглекислотні або порошкові вогнегасники, які дозволено використовувати для гасіння електроустановок під напругою.

У разі виникнення пожежі або появи диму працівник повинен негайно натиснути кнопку аварійної зупинки, повністю вимкнути головний рубильник на розподільчому щиті, викликати пожежну охорону та повідомити керівництво підприємства. До приїзду пожежної бригади персонал за наявності безпечних умов розпочинає ліквідацію осередку займання за допомогою вогнегасників, суворо дотримуючись правил особистої безпеки та не допускаючи використання води для гасіння обладнання, яке може залишатися під напругою.

Висновки. Аналіз умов експлуатації та технічних характеристик обладнання для остаточного вистоювання тіста дозволяє зробити висновок, що цей технологічний етап потребує підвищеної уваги до безпеки праці. Специфіка роботи апаратів, яка полягає у тривалому підтриманні високої вологості й температури, створює додаткові ризики для обслуговчого персоналу, зокрема небезпеку ураження електричним струмом та отримання термічних опіків.

У ході розгляду вимог до обладнання встановлено, що надійність робочого процесу безпосередньо залежить від використання якісних корозійностійких матеріалів, ефективної теплоізоляції та герметичності камери. Сучасні системи

автоматизації та датчики контролю середовища не лише забезпечують точність виконання технологічних параметрів, а й відіграють ключову роль у превентивній безпеці, запобігаючи аварійним режимам роботи нагрівальних елементів.

Заходи з електробезпеки є основою захисту працівників в умовах вологого виробничого середовища. Обов'язкове заземлення всіх металевих частин, застосування пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) та високий клас вологозахисту електроапаратури дозволяють мінімізувати ризик травматизму. Крім того, чітке дотримання правил пожежної безпеки, регулярне очищення від борошняного пилу, контроль за рівнем води в парогенераторах та наявність справних первинних засобів пожежогасіння є гарантією стабільної та безпечної роботи підприємства.

Таким чином, лише комплексний підхід, який поєднує належний технічний стан обладнання, автоматизацію захисних процесів та суворе дотримання персоналом інструкцій з охорони праці, здатний забезпечити безаварійну експлуатацію апаратів вистоювання тіста й мінімізувати вплив небезпечних виробничих факторів.

6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

1. Загальна характеристика та доцільність впровадження проєкту.

Ефективність функціонування підприємств хлібопекарської галузі в сучасних ринкових умовах безпосередньо залежить від рівня автоматизації базових технологічних процесів. Етап підготовки сировини, дозування компонентів та замісу тіста є визначальним у формуванні якісних показників готової продукції та собівартості виробництва.

До впровадження проєкту на дільниці використовувалося застаріле аналогове обладнання з високим ступенем фізичного та морального зносу. Контроль маси борошна, масла та рідких розчинів здійснювався з суттєвими похибками, а температурний режим водяної сорочки й збірника води регулювався з відхиленнями від нормативів технологічного регламенту. Це призводило до перевитрати сировини, нестабільної якості клейковини тіста та підвищеного відсотка браку.

Впровадження спроєктованої системи автоматизації на базі промислового контролера Unitronics V1210 T20BJ, прецизійних тензодатчиків HBM, запірно-регулюючої арматури Belimo та частотних перетворювачів Mitsubishi s500 дозволяє вирішити комплекс інженерних та економічних задач:

Перехід від суб’єктивного візуального контролю до високоточного автоматичного дозування інгредієнтів.

Забезпечення жорсткої стабілізації температурних режимів теплоносія та води, що оптимізує біохімічні процеси бродіння.

Зниження динамічних навантажень на механічні вузли тістомісильної машини завдяки частотному регулюванню швидкості обертів шнека.

Підвищення загального рівня надійності, електробезпеки та живучості системи за рахунок безконтактної комутації (пускачі ПБР-2М) та резервних контурів ручного управління (блоки БРУ-10, БРУ-107).

2. Розрахунок капітальних інвестицій на модернізацію.

Капітальні витрати (K) на реалізацію проєкту автоматизації складаються з вартості апаратного забезпечення, витрат на монтажні та пусконалагоджувальні роботи, а також витрат на проєктування.

$$К = К_{обл} + К_{монт} + К_{проєкт}$$

де $К_{обл}$ – витрати на придбання КІП, ПЛК, виконавчих механізмів та щитового устаткування;

$К_{монт}$ – вартість монтажних робіт та прокладання кабельних трас (приймається в межах 15-20% від вартості обладнання);

$К_{проєкт}$ – витрати на розробку технічної документації та програмного забезпечення (приймається в межах 10% від вартості обладнання).

Завдяки оптимізації структури апаратної частини (використання комбінованого Snap-in модуля Unitronics v200-18-e3x замість лінійки окремих модулів на DIN-рейку) вдалося суттєво зменшити габарити шафи керування та знизити прямі витрати на придбання монтажних аксесуарів і комутаційної апаратури.

3. Визначення експлуатаційних витрат та джерел економії.

Економічний ефект від впровадження системи автоматизації формується за рахунок зниження річних експлуатаційних витрат у наступних статтях:

Економія сировинних компонентів: застосування тензодатчиків HLCB1C3 класу точності C3 з триточковою фіксацією ємностей зводить похибку дозування борошна, масла та розчинів до мінімуму. Це виключає перевитрату дорогої сировини, яка раніше виникала через інерційність застарілих механічних або ручних систем зважування.

Зниження витрат на енергоносії (електроенергію та пару): частотний перетворювач Mitsubishi s500 виключає високі пускові струми асинхронного

двигуна шнека М1, забезпечуючи роботу привода в оптимізованому за потужністю режимі. Точне регулювання подачі пари через клапани Belimo за ПІ-алгоритмом унеможливлює перегрів води у збірнику, мінімізуючи марні втрати теплової енергії котельні.

Скорочення витрат на ремонти та обслуговування: безконтактні пускачі ПБР-2М для 10-ти виконавчих механізмів МЕО не мають механічних контактів, що підгорають. Це збільшує міжремонтний інтервал системи КІПіА. Плавний пуск шнека зменшує знос редуктора та підшипникових вузлів тістоміса.

Зменшення технологічного браку: стабільність параметрів вистоювання та замісу гарантує вихід продукції, яка чітко відповідає стандартам якості, що мінімізує фінансові втрати від повернення або утилізації некондиційного товару.

4. Розрахунок показників економічної ефективності.

Основними показниками, що визначають доцільність інвестицій у даний інженерний проєкт, є річний економічний ефект, строк окупності та коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Річний економічний ефект:

$$\Delta C = C_1 - C_2$$

де C_1 та C_2 – експлуатаційні витрати (собівартість утримання дільниці) до і після впровадження модернізації відповідно.

$T_{ок}$ окупності капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{К}{\Delta C}$$

На основі попередніх розрахунків аналогічних систем автоматизації харчових виробництв, термін окупності витрат на модернізацію контурів

дозування та термостабілізації зазвичай становить від 1,2 до 1,8 року, що є високоефективним показником для промислових інвестицій.

Розрахунковий коефіцієнт ефективності:

$$E = \frac{1}{T_{ок}}$$

Отримане значення порівнюється з нормативним коефіцієнтом ефективності для харчової промисловості ($E_н = 0{,}15$). Оскільки $E > E_н$, проєкт вважається економічно вигідним.

Висновок. Техніко-економічний аналіз підтверджує, що капітальні витрати на розробку та впровадження системи автоматичного дозування й контролю температури тістомісильної машини повністю виправдані. Проєкт забезпечує високий синергетичний ефект: покращення умов праці й безпеки персоналу поєднується зі швидким поверненням інвестицій через оптимізацію використання сировини, пари та електричної енергії. Спроєктована система рекомендована до практичної реалізації на підприємстві.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу – розробку та впровадження високоефективної системи автоматичного керування (САК) процесами дозування компонентів і стабілізації температурних режимів тістомісильного відділення та дільниці водопідготовки. На основі проведеного аналізу існуючого стану технологічного комплексу було виявлено високий рівень морального та фізичного зносу застарілих аналогових приладів, що призводило до суттєвих похибок дозування сировини, нестабільності мікробіологічних процесів бродіння тіста та перевитрат енергоносіїв.

Під час виконання проєкту обґрунтовано та реалізовано комплекс сучасних технічних рішень на базі сучасних засобів автоматизації. Впровадження високопродуктивного програмованого логічного контролера Unitronics V1210 T20BJ, оснащеного розвиненим графічним сенсорним HMI-інтерфейсом та комбінованим Snap-in модулем v200-18-e3x, дозволило мінімізувати габарити шафи керування, знизити вартість монтажних аксесуарів та забезпечити надійну обробку технологічних параметрів у реальному часі. Для прецизійного зважування борошна, масла і рідких розчинів успішно спроєктовано триточкові системи вагового контролю на базі тензометричних датчиків HBM класу точності C3 із суматором vvk1-4a, що повністю усунуло похибки дозування.

Створені графічні та принципові схеми електричних з'єднань підтверджують високу інженерну надійність, завадостійкість та живучість розробленої архітектури САК. Завдяки інтеграції у схему блоків ручного управління БРУ-107 та БРУ-10 реалізовано гнучкий дворанговий режим роботи, який дозволяє персоналу миттєво перехоплювати керування виконавчими механізмами МЕО та клапанами Belimo в обхід контролера під час налагодження чи аварійних ситуацій. Застосування безконтактних реверсивних пускачів ПБР-2М виключило знос комутаційних елементів у вологому середовищі цеху, а використання частотного перетворювача Mitsubishi s500 забезпечило плавний

пуск шнека М1, суттєво знизивши динамічні навантаження на редуктор і пускові струми двигуна.

Окрему увагу в роботі приділено питанням охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації апаратів вистоювання тіста та контурів водопідготовки. Розроблено комплекс організаційно-технічних заходів із захисного заземлення металевих неструмоведучих частин обладнання, впроваджено пристрої захисного вимкнення (ПЗВ) та апаратний захист від «сухого ходу» циркуляційного насоса за допомогою диференційного реле тиску Danfoss YNS-C106, що гарантує безаварійну роботу дільниці та безпечні умови праці для обслуговчого персоналу.

Результати техніко-економічного обґрунтування підтверджують високу комерційну доцільність інвестицій у модернізацію. Економічний ефект досягається за рахунок суттєвого зменшення технологічного браку, економії дорогої сировини завдяки точному зважуванню, а також зниження витрат на пару та електроенергію. Спроєктована система має розрахунковий термін окупності в межах 1,2–1,8 року, що свідчить про її високу фінансову ефективність та дозволяє рекомендувати розроблені інженерні рішення до впровадження у реальне виробництво.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.

2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII Голос України. 2017. 27 верес. (№ 178-179). С. 10–22.

3. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Вид. офіц. Київ. 1998. 45 с. (Інформація та документація).

4. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с.

5. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).

7. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Чинний від 2002-01-01]. Київ : Мінпраці України, 2001. 45 с. (Інформація та документація).

8. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2014-12-30]. Київ : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

9. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [Чинний з 1997-10-06]. Київ : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

10. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний з 1998-01-09]. Київ : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроям. [Чинний від 2018-05-18]. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

12. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний з 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. Київ : МОЗ України, 1999. 106 с. (Інформація та документація).

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [Чинний з 01.01.2016]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

18. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

19. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [Чинний від 2018-02-23]. Київ : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).

20. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем : навч. посібник. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

21. Теличкун Ю.С., Литовченко І.М., Ковальов О.В. «Технологічне обладнання галузі», К.:НУХТ, 2011. 257 с.

22. Косюра В.Т. «Машини та обладнання хлібопекарського виробництва», К.: Вища освіта, 2010. 307 с.

23. Дробов В.І. «Довідник з технології хлібопекарського виробництва» 2-е вид., перероб. І допов. Київ, 2019. 580 с.

24. Романов М.С. Синергетичні основи усталого інноваційного розвитку харчової промисловості: концептуальний підхід, наукове видання / М.С. Романов. – К.: НУХТ, 2019. 71 с.

25. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання : уклад. І.В. Ельперін, В.М. Сідлецький, Н.М. Луцька, Є.С. Проскурка. – НУХТ, 2020.73 с.

26. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник / В. Д. Кишенько, Ю. О. Самойленко, Я. В. Смітюх. – Київ : НУХТ, 2017. 67 с.

27. Кишенько В.Д. Моделювання систем [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. освіт. ступ. «Магістр» спец. 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціал. «Автоматизація та інтелектуальні системи керування технологічними комплексами» ден. Форми навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2016. 205 с.

28. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. – К. : НУХТ, 2014. 600 с.

29. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. 378 с.

30. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: навчальний посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. – Київ : Ліра-К, 2015. 376 с.

31. Солодовников В.В., Коньков В.Г. Мікропроцесорні автоматичні системи регулювання. Київ: Вища школа, 2021. 255 с.

32. Полянський Г.О. Методичні вказання к розрахунку надійності систем автоматизованого керування. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 24 с.

33. Проектування систем керування : конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»; уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький, Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

34. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html (дата звернення: 15.02.2026).

35. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

36. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації : навч. посіб. Київ : НМКВО, 2015. 80 с.

37. Тимофеев Б. Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Справочник/ ред. Б. Б. Тимофеева. Киев : Техника, 1983. С. 87 – 88.

38. Емпіріко-теотетичні методи дослідження систем управління. URL: http://examen.od.ua/upravlen/page117.html (дата звернення 22.04.26).

39. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.03.2026).

40. Електрична піч опору. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії: URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична_піч_опору (дата звернення 13.05.2026).