

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “Автоматизація технологічного процесу приготування
опари в хлібопекарному виробництві”

Виконав: студент гр. Акт-41
Спеціальності 151 – „Автоматизація та
комп’ютерно-інтегровані технології”
(шифр і назва)

Кохан Віталія Вікторівна
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Лиса О.В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Спеціальність 151 – „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____
д.т.н., проф. А.М. Тригуба
“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Кохан Віталія Вікторівна

1. Тема роботи: «Автоматизація технологічного процесу приготування опари в хлібопекарному виробництві»

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 30 грудня 2022 року № 453/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 15.06.2023 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта приготування опари в хлібопекарському виробництві; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу приготування опари; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування

2. Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом приготування опари в хлібопекарному виробництві.

3. Оптимальне керування технологічним процесом

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел.

Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу : _____
Тема, автор, керівник роботи. Технологічна схема процесу. Структурна схема взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами силосу. Структурна схема взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами бункера для зважування борошна. Структурна схема взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами тістомісильної машини. Структурна схема САР температури з ПІ-регулятором

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання 30 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	30.12.22-01.01.23	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	01.01.23-01.02.23	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	01.02.23-01.03.23	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	01.02.23-01.03.23	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	01.03.23-01.04.23	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	01.04.23-01.05.23	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.05.23-16.06.23	

Студент _____ Кохан В.В.
 (підпис)

Керівник роботи _____ Лиса О.В.
 (підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація технологічного процесу приготування опари в хлібопекарному виробництві. Кохан В.В. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, ЛНУП, 2023.

78 с. текст. част., 19 рис., 9 табл., 15 літ. джерел, 4 додатки.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У вступі висвітлено суть процесу приготування опари в хлібопекарному виробництві, обґрунтовано необхідність автоматизації даного технологічного процесу.

В першому розділі подано опис технологічного процесу, описано матеріальний баланс процесу, наведені теоретичні основи технологічного процесу приготування опари в хлібопекарному виробництві.

В другому розділі виконано визначено і проаналізовано фактори, що впливають на технологічний процес, складено структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта, виконано технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації.

У третьому розділі виконано розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання: вибрано структуру моделі, розраховано параметри моделі, розраховано параметрів настроювання автоматичного регулятора, описано схеми автоматизації, подано специфікацію засобів автоматизації.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, мікропроцесорний контролер, регулятор, моделювання, крива розгону, Matlab.

АНОТАЦІЯ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено питання автоматизації технологічного процесу приготування опари в хлібопекарному виробництві. Проведено опис технологічного процесу, виконано аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації. На основі аналізу процесу запропоновано техніко-економічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації. Обґрунтовано вибір локальних засобів автоматизації та мікропроцесорного контролера. Розроблено конфігурацію та програмне забезпечення функціонування мікропроцесорного контролера. Виконано опис принципової електричної схеми підключень. Виконано розрахунок та моделювання автоматичної системи регулювання температури в дозувальній станції води. Описано схеми автоматизації та наведена специфікація технічних засобів автоматизації. В роботі розроблено заходи з охорони праці та навколишнього природного середовища і розрахована економічна ефективність проектованої системи автоматизації.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, мікропроцесорний контролер, регулятор, моделювання, крива розгону, Matlab.

THE SUMMARY

In the bachelor's qualification thesis, the issue of automation of the technological process of making dough in the bakery industry is solved. The description of the technological process was carried out, the analysis of the technological process as an object of automation was performed. Based on the analysis of the process, a technical and economic rationale for choosing a functional automation scheme is proposed. The choice of local automation tools and microprocessor controller is justified. The configuration and software for the functioning of the microprocessor controller have been developed. The description of the basic electrical connection scheme has been completed. The calculation and modeling of the automatic temperature control system in the water dosing station was performed. The automation schemes are described and the specification of technical means of automation is given. In the work, labor and environmental protection measures were developed and the economic efficiency of the projected automation system was calculated.

Keywords: automation, technical means, microprocessor controller, regulator, modeling, overclocking curve, Matlab.

ЗМІСТ

Вступ		8
1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування		10
1.1. Техніко-економічне обґрунтування хлібопекарського виробництва		10
1.2. Опис технологічної схеми процесу		11
1.3. Розрахунок матеріального балансу		15
2. Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом приготування опари в хлібопекарному виробництві		18
2.1. Вибір технологічних параметрів з точки зору завдання на автоматизацію		18
2.2. Складання та аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта		18
2.3. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації технологічного процесу		22
2.4. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації		24
2.4.1. Обґрунтування вибору локальних засобів автоматизації		24
2.4.2. Обґрунтування вибору мікропроцесорного контролера		26
2.4.3. Розробка конфігурації та програмного забезпечення функціонування мікропроцесорного контролера		28
2.4.4. Опис принципової електричної схеми підключень		31
3. Оптимальне керування технологічним процесом		35
3.1. Вхідні дані про об'єкт регулювання, необхідні для розрахунків		35
3.2. Вибір структури моделі та розрахунок параметрів моделі		36
3.3. Розрахунок параметрів настроювання автоматичного регулятора		40
3.4. Опис схем автоматизації		49
3.5. Специфікація на засоби автоматизації		51
4. Охорона праці		55
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці		55

	7
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці	56
4.3. Пожежна безпека	63
5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації	65
Висновки	75
Список використаних джерел	79
Додатки	80

Актуальність теми. Хліб – найпоширеніший продукт рослинного походження, він є в основному вуглеводистою їжею. Харчова цінність хліба визначається його калорійністю, засвоюваністю, вмістом і складом білків, вітамінів та мінеральних речовин. Чим більше поживних речовин, у тому числі білків, у борошні, яке використовується для приготування хліба, тим повніше вони засвоюються. З іншого боку, чим вищий сорт борошна, тим менше в ньому білків і мінеральних речовин, які містяться в основному у висівках, а в борошні високого сорту їх мало. В середньому хліб містить від 70 до 80 г білків на 1 кг маси, а загальний вміст мінеральних речовин в хлібі складає від 1 до 2 % його маси.

Розділяють органолептичні (зовнішній вигляд, смак і аромат) і фізико-хімічні (волога, кислотність, пористість, а для деяких товарів — цукристість і жирність) показники якості хліба. Найважливішим показником є вологість, від якої залежить вихід хліба, калорійність, здатність до зберігання, ступінь м'якості. Вологість пшеничного хліба не повинна перевищувати 42–48 %, а житнього — 48–51 %.

Виробництво хліба базується в основному на термічних процесах. Одним з найважливіших факторів технологічного процесу є температура. Як наслідок, успіх процесу випікання хліба часто визначається якістю контролю температури. Постійність і достовірність вимірювання температури та інших параметрів технологічного процесу мають вирішальне значення для протікання замісу, формування і вистоювання тіста, випікання хліба, надійної і безаварійної роботи технологічного обладнання. Якість роботи системи автоматичного контролю, управління та регулювання.

Автоматизація технологічного процесу є вирішальним фактором підвищення продуктивності праці і покращення якості продукції, що випускається.

Якість будь-якої автоматичної системи регулювання залежить від того, як добре вона спроектована, змонтована, налагоджена та як експлуатується.

Сучасний стан автоматизації процесів хлібопекарної промисловості потребує нового комплексного підходу.

Мета роботи - розроблення нової системи керування технологічним процесом приготування тіста опарним способом для хлібопекарного виробництва.

Предмет дослідження - автоматизація процесу приготування тіста опарним способом. Запропонована система керування розроблена із використанням контролера „Реміконт Р-130”, що дасть змогу оптимізувати протікання технологічного процесу.

Об’єктом дослідження є технологічний процес приготування тіста опарним способом.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Техніко-економічне обґрунтування хлібопекарського виробництва

Основною сировиною в хлібопекарській промисловості є пшеничне і житнє борошно, дріжджі, вода і сіль. Додаткова сировина включає такі речі, як жир, цукор, молоко та молочні продукти, яйця, горіхи тощо, які використовуються для покращення смаку та поживної цінності. Для класифікації виробництва хлібобулочних виробів можна використовувати такі етапи: зберігання та підготовка сировини для використання в процесі; приготування тіста; обробка тіста; випікання тістових заготовок; охолодження та зберігання хліба. На кожній із цих стадій включається ряд технологічних операцій, які гарантують виробництво продукції. Послідовність і сутність основних технологічних операцій представлені на функціональній схемі хлібопекарського виробництва (рис. 1.1).

Зберігання і підготовка сировини до виробництва. Для зберігання борошна використовують мішки або тару (силоси). Окремі партії при необхідності об'єднують для поліпшення хлібопекарських якостей, просівають для видалення сторонніх домішок і пропускають через машину для видалення металомангнітних домішок перед відправкою на виробництво. Першосортне борошно найкращої якості приймається в силоси з борошноавтовозів. Кожен силос має вібраційний розвантажувач знизу з вібратором, що полегшує розвантаження та припиняє залежність борошна в силосах. Борошно перед подачею на хлібопекарню просівають за допомогою сит.

В окремій камері зберігають сіль у мішках або насипом. Перед використанням її розчиняють у воді з сольовим розчинником. У сучасному хлібобулочному виробництві сіль зберігають у вигляді насиченого розчину. Відфільтрований, відстояний, а потім відправлений у виробництво розчин.

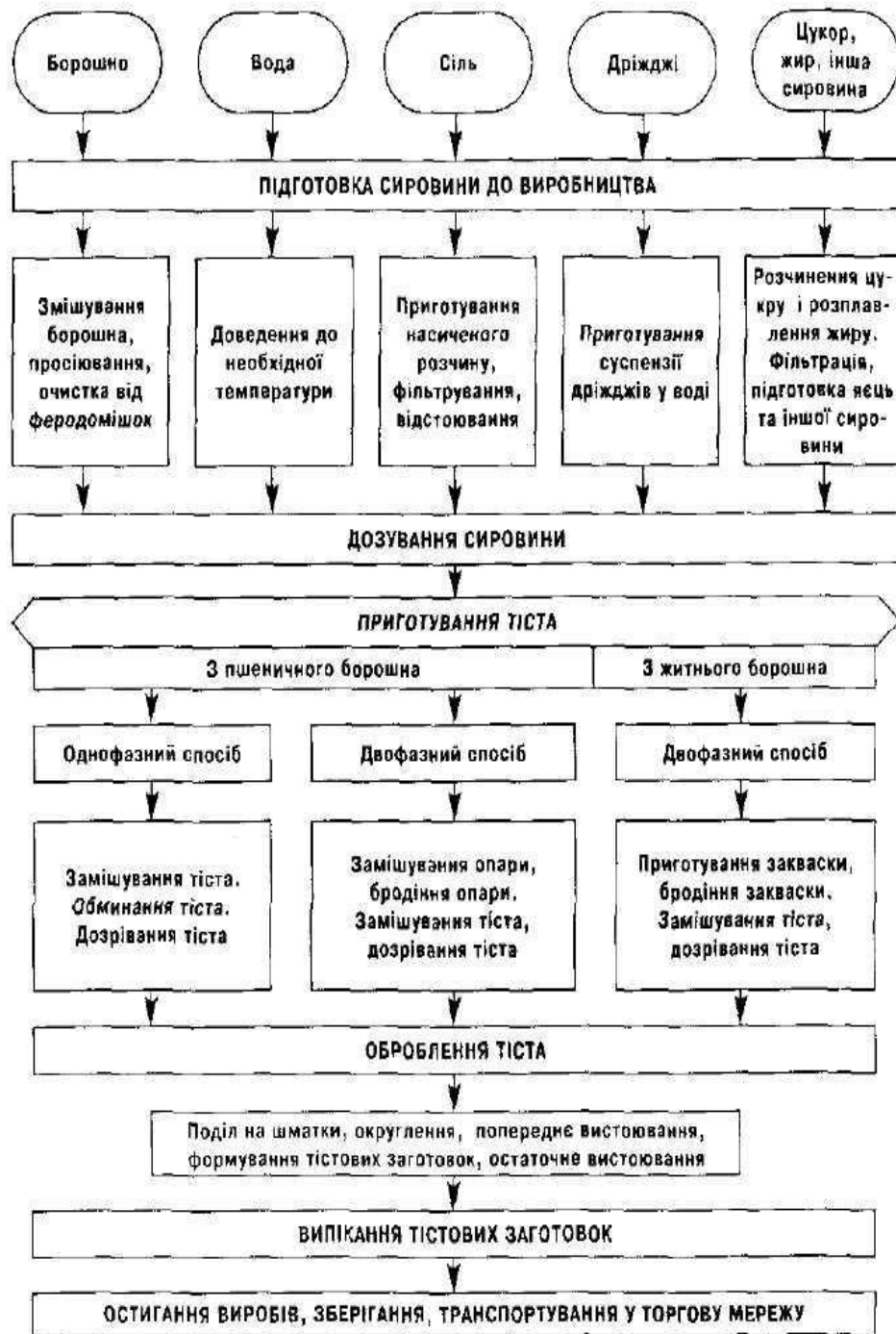


Рис. 1.1. Узагальнена функціональна схема хлібопекарського виробництва

Для зберігання пресованих дріжджів використовується холодильник. Перед використанням їх подрібнюють. Тісто готують розмішуванням дріжджової суспензії в теплій воді в спеціальній дріжджомішалці.

У резервуарах холодної та гарячої води зберігається вода. Щоб нагріти воду до потрібної температури перед приготуванням тіста, холодну та гарячу воду змішують у певному співвідношенні.

Цукор зберігають у мішках. При підготовці до виробництва його розчиняють у воді та фільтрують.

Рідкі жири зберігають у тарі, а тверді — у ящиках або бочках. Тверді жири перед використанням розтоплюють і пропускають через сита певного розміру. Фільтри також використовуються для рідких жирів і олій. Яйця перед вживанням очищають, розбивають і просівають.

Приготування тіста. За встановленою рецептурою готують тісто з підготовленої сировини. Приготування пшеничного тіста може здійснюватися в один прийом (безопарний спосіб) або в два прийоми (опарний спосіб).

Тісто готується з усіх сирих елементів за допомогою безопарного процесу. Борошно, воду, дріжджову суспензію, сіль та іншу сировину відмірюють у міксер і вимішують до утворення однорідної маси згідно з рецептурою. Початкова температура тіста становить від 28 до 30 °C. Залежно від типу та кількості дріжджів, які використовуються, процес бродіння може тривати від двох до чотирьох годин. Залежно від якості прісного тіста і бажаної тривалості бродіння додають 1,5–2,5 % дріжджів.

Першим кроком у опарному методі є приготування опари з деякої кількості борошна, води та дріжджів. Потім тісто замішується, коли борошно, вода, сіль та інші інгредієнти, що залишилися, дозріють. Опара починає виходити при температурі від 28 до 30 °C. Бродіння опари триває три-чотири години. Під час бродіння дріжджові клітини зброджують цукри борошна з утворенням спирту і діоксиду вуглецю, який розпушує тісто, збільшують його об'єм, надають йому основних фізичних характеристик і дозволяють ароматичним сполукам концентруватися в ньому.

Однією з переваг опарного способу є те, що він постійно виробляє хліб вищого калібру, ніж безопарний підхід. Більший об'єм виробництва та чудові фізичні властивості опареного тіста забезпечують гарну пористість м'якушки, а більший вміст молочної кислоти покращує смакові характеристики тіста.

Перевагами безопарного способу є коротший час бродіння, але переваги, пов'язані з кращою якістю опарного хліба, переважають деякі вигоди, що їх дає безопарний метод.

Житні сорти хліба готують в основному двофазним способом. Спочатку готують закваску, потім на ній замішують тісто.

Оброблення тіста. Після приготування тісто обробляють. Під час цього тісто буде нарізано на шматки потрібної маси, витримано та надано певної форми. Після цього елементи відправляються на перевірку. Тістові форми зберігають у спеціально відведених шафах. Під час вистоювання тістові заготовки стають більш пластичними і збільшуються в об'ємі. Ця процедура забезпечує побудову пористої структури та хороший об'єм хліба.

Вироби формуються на тістоокруглювальних машинах після вистоювання. У спеціально виготовлених шафах остаточне витримання проводять при температурі 40–46 °С і відносній вологості повітря 76–86 %. Остаточне вистоювання проходить в шафах спеціальної конструкції при температурі 40 – 46 °С і відносній вологості 76 – 86 %.

Випікання. Заготовки з тіста після вистоювання випікаються в пекарських печах різних конструкцій. Під час випічки тісто в результаті теплофізичних, мікробіологічних, біохімічних, колоїдно-хімічних процесів перетворюється на хліб із кольоровою скоринкою та приємним ароматом.

Остигання і зберігання. Продукти, що не відповідають технічним умовам, відбраковуються, а випечений хліб укладається в ящики або лотки, які розставлені на візках або в контейнери. Вагонетки з хлібом транспортують у хлібосховища для остигання і реалізації.

Для завантаження гарячих готових виробів у контейнеровози їх подають на конвеєри, укладають у лотки, а потім викочують у зону охолодження.

Для зменшення усушки хліб намагаються найшвидше охолодити повітрям з температурою від 15 до 20 °С.

1.2. Опис технологічної схеми процесу

Технологічна схема приготування опари зображена на рис. 1.2.

У відповідності із заданою рецептурою настроюється дозатор борошна 2, дозувальна станція води 5 та дріжджового розчину 6. Після цього вмикається в роботу тістомісильна машина 3. Борошно із силоса 1 шнеком подається в дозатор борошна 2. З дозатора борошна 2 воно поступає на заміс опари, який проходить безперервно в тістомісильній машині 3. Одночасно проходить дозування води дозувальною станцією 5.

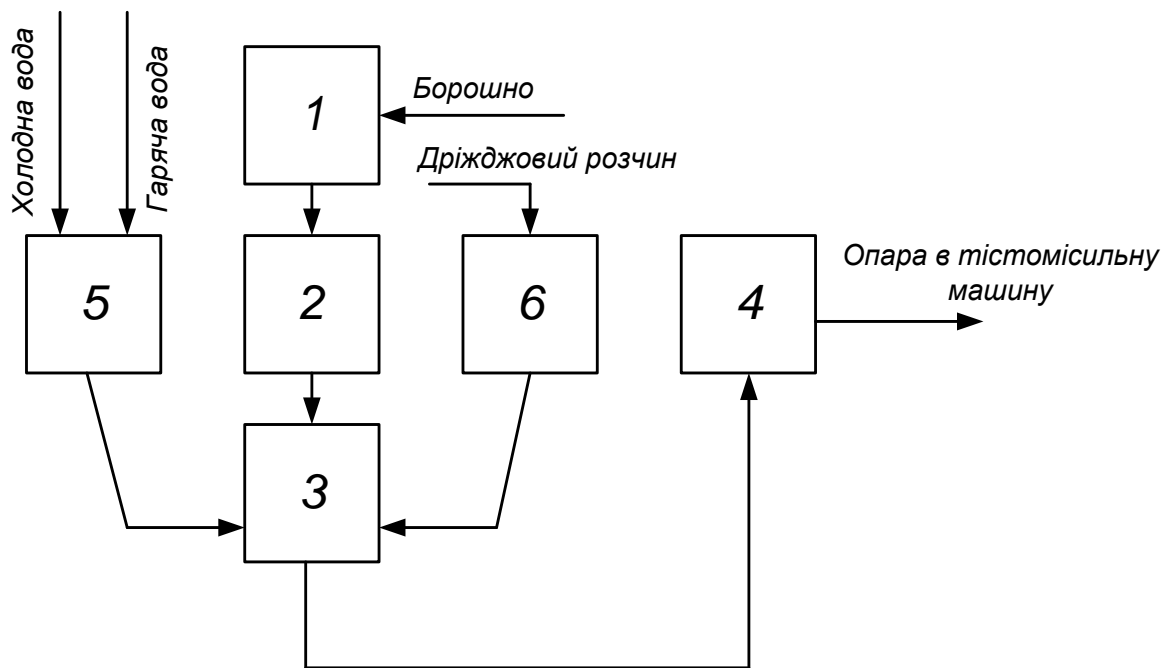


Рис. 1.2. Технологічна схема процесу.

З тістомісильної машини опара подається у вільні секції бункера 4 для бродіння опари. Далі опара безперервно подається до тістомісильної машини 7. До тістомісильної машини 7 разом з опарою подаються сольовий, цукровий та жировий розчини і борошно для приготування тіста. Готове тісто направляється в бункер для доброджування і далі подається на тістоподілюючу і на округлюючу машини. Вистоювання тістових заготовок здійснюється у спеціальній шафі, з якої тісто поступає на формуючу машину. Після формування проводиться остаточна витримка і тісто подається на випікання в пічний агрегат.

На використання технологічних засобів впливає вид хлібобулочних виробів, необхідна якість продукту, продуктивність виробництва, спосіб приготування тіста та ін.

Основною ідеєю даного технологічного процесу покладений принцип приготування опари в циліндричних бункерах з конічними днищами. Він складається з двох неперервно діючих тістомісильних машин, одна з яких призначена для замісу опари, друга – для замісу тіста і бункера для бродіння опари в комплекті з приводом та шнековим живильником бункера для бродіння тіста перед тістоподільною машиною і дозувальною станцією води.

Тістомісильна машина складається з корпусу, всередині якого розташований вал з лопастями, який приводиться в рух електродвигуном через редуктор і зубчасту циліндричну пару. Кут нахилу лопаток регулюється.

Шнековим живильником опара подається по трубопроводу в опорний бункер, а з тістомісильної машини тісто подається в другий бункер, де продовжується процес бродіння перед наступною розробкою.

Бункер для бродіння опари конструктивно є циліндрично-конічною посудиною, поділеною зсередини перегородками на шість секцій. Він повертається із заданою швидкістю за допомогою ланцюгової передачі від редуктора. В нижній частині бункера нерухомо закріплене днище з отвором, до якого прикріплений шнековий живильник.

Вода дозується в тістомісильну машину дозаторами, що працюють за об'ємним методом.

Дозатор складається з ємності, в який поступає вода, поплавкового регулятора рівня рідини, мірної камери, клапанів, штока з трубкою для виходу повітря, вказівника продуктивності і приводу.

1.3. Розрахунок матеріального балансу

Приготування хліба марки "Селянський" масою 0,65 кг здійснюється за державним стандартом ДСТУ-П 4583-2006. Готовий виріб повинен відповідати таким вимогам:

- вологість - не вище 42 %;
- пористість - вищою 65 %;
- кислотність - не нижче рН 4.

Рецептура на 100 кг борошна:

- борошно житнє обдирне – 20 кг;
- борошно пшеничне другого гатунку 80 кг;
- сіль – 1,3 кг;
- дріжджі пресовані – 2 кг.

Плановий вихід хліба при базисній вологості борошна 14,5 % складає 129 %.

Розрахунок рецептури на 100 кг борошна наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Розрахунок рецептури на 100 кг борошна

Сировина	Маса, кг	Вологість, %	Кількість сухих речовин	
			%	кг
Борошно пшеничне другого гатунку	80	14,5	85,5	68,4
Борошно житнє обдирне	20	14,5	85,5	17,1
Сіль	1,3	3,5	96,5	1,25
Дріжджі пресовані	2,0	7,5	25	0,5
Всього	103,3			87,25

Нормальна вологість тіста складає 43,5 %. Тоді маса тіста

$$M_m = \frac{87,25}{100 - 43,5} \cdot 100 = 154,4 \text{ кг.}$$

Маса води в тісто:

$$M_{вт} = 154,4 - 103,3 = 51,1 \text{ кг.}$$

Враховуючи заміну солі сольовим розчином (26,5 %), отримуємо необхідну кількість розчину:

$$M_{ср} = \frac{1,3}{0,26} \cdot 100 = 5,0 \text{ кг.}$$

Кількість води в сольовому розчині:

$$M_{в.ср} = 5,0 - 1,3 = 3,7 \text{ кг.}$$

Враховуючи заміну дріжджів пресованих дріжджовим концентратом, отримуємо:

$$M_{др} = \frac{2,0}{0,5} = 4,0 \text{ кг.}$$

Маса води в дріжджовому розчині:

$$M_{др.в.} = 4,0 - 2,0 = 2,0 \text{ кг.}$$

Тоді залишок води в тісто з врахуванням заміни:

$$M_{в.т.} = 51,1 - (3,7 + 2,0) = 45,4 \text{ кг.}$$

Вологість за нормою складає 43 %. Маса води в опарі:

$$M_{в.оп} = \frac{51,8}{100 - 43} \cdot 100 - 64 = 26,9 \text{ кг.}$$

Тоді залишок води в тісто:

$$M_{вт.} = 45,4 - 26,9 = 18,5 \text{ кг.}$$

Пофазна рецептура на 100 кг борошна наведена в табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

Пофазна рецептура на 100 кг борошна

Сировина	Опара	Тісто
Борошно пшеничне другого ґатунку, кг	60	20
Борошно житнє обдирне, кг	-	20
Дріжджовий концентрат, кг	4,0	-
Сольовий розчин, кг	-	5,0
Вода, кг	26,9	18,5
Опара, кг	-	90,9
Всього, кг	90,9	154,4

Перевірка вологості опари і тіста:

$$W_{он} = \frac{60 \cdot 14,5 + 4 \cdot 87,5 + 26,9 \cdot 100}{90,9} = 43\%.$$

Вологість тіста допустима $W_T = 43,45\%$.

2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПРИГОТУВАННЯ ОПАРИ В ХЛІБОПЕКАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

2.1. Вибір технологічних параметрів з точки зору завдання на автоматизацію

Параметри ведення технологічного процесу наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Параметри ведення технологічного процесу

Значення параметра	Опара	Тісто
Початкова температура, °С	27...28	28...29
Тривалість бродіння, хв	150...210	30...40
Кінцева кислотність, рН	3,0...3,5	3,0...3,5
Тривалість вистоювання, хв	-	35...40

Технологічний процес приготування тіста опарним способом відбувається при температурах, що не перевищують 29...30 °С. Первинні теплоносії для забезпечення такої температури не використовують, тому розрахунок теплового балансу не проводиться.

2.2.Складання та аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта

Аналіз технологічного процесу приготування тіста опарним способом показує, що основними об'єктами керування є ємність (силос) для зберігання борошна, живильний шнек подачі борошна, бункер для зважування борошна та тістомісильні машини для замісу опари і тіста.

Структурні схеми, які відображають взаємозв'язки між вхідними та вихідними параметрами вказаних об'єктів наведені нижче.

Для силосів №1 і №2, в яких зберігається борошно, структурна схема має вигляд (рис. 2.1):

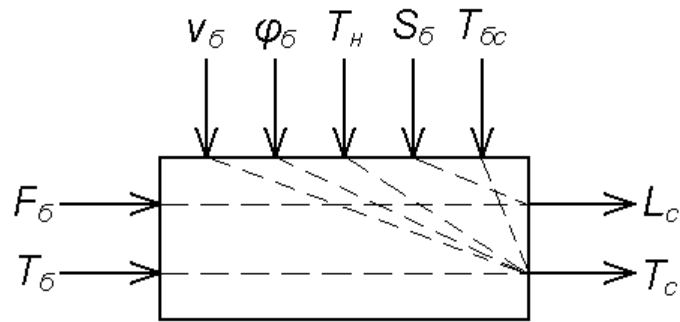


Рис.2.1. Структурна схема взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами силосу

Аналіз структурної схеми показує, що на вихідні величини, якими є рівень борошна в силосі L_c та температура T_c , впливають такі чинники:

- швидкість руху борошна $V_б$;
- витрата борошна $F_б$;
- початкова температура борошна $T_б$;
- температура навколишнього середовища $T_н$;
- геометричні розміри силосу $S_б$;
- час перебування борошна в силосі $T_бс$.

Функцію передачі силосу можна представити у вигляді аперіодичної ланки першого порядку із запізненням.

$$W_c = \frac{K_{id} \cdot e^{-tp}}{1 + Tp}$$

Для живильного шнека структурна схема має вигляд, зображений на (рис.2.2):

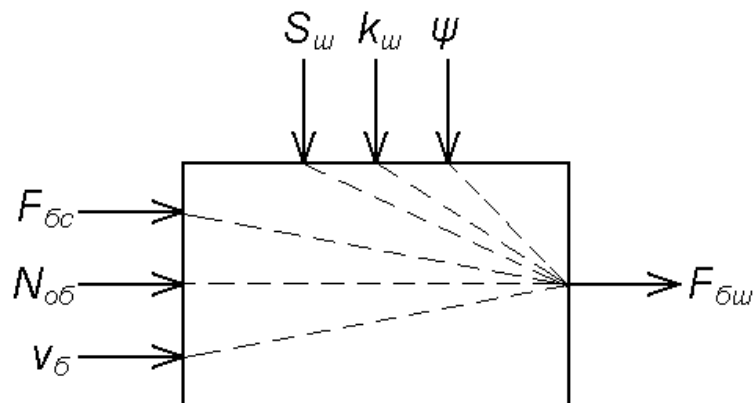


Рис. 2.2. Структурна схема взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами живильного шнека.

Для живильного шнека вихідною величиною є витрата борошна $F_{\text{бш}}$ на яку впливають такі вхідні величини:

- швидкість руху борошна $V_{\text{б}}$;
- витрата борошна із силоса $F_{\text{бс}}$;
- частота обертання;
- геометричні розміри шнека $S_{\text{ш}}$;
- коефіцієнт шорсткості поверхні живильного шнека $K_{\text{ш}}$.
- фізико-хімічні параметри сировини (вологість, температура, тощо).

Функцію передачі живильного шнека можна представити у вигляді ланки запізнення $W_{\text{ш}} = K_{\text{об}} \cdot e^{-\tau p}$.

Структурна схема бункера для зважування борошна зображена на рис. 2.3.

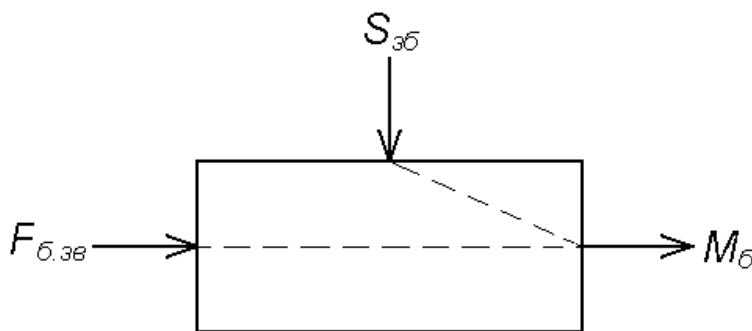


Рис. 2.3. Структурна схема взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами бункера для зважування борошна

Функцію передачі бункера для зважування можна представити у вигляді:

$$W_{\text{зб}} = \frac{K_{\text{об}} \cdot e^{-\tau p}}{1 + \tau p}$$

Структурна схема тістомісильної машини для замісу опари представлена на рис. 2.4.

Вихідними величинами для тістомісильної машини є температура опари на виході з тістомісильної машини $T_{\text{то}}$ та витрата опари $F_{\text{то}}$.

На температуру опари на виході з тістомісильної машини впливають такі параметри:

- час знаходження опари в апараті τ_3 ;
- температура води T_v , борошна T_b та дріжджового розчину $T_{др}$;
- температура навколишнього середовища $T_{нс}$;
- коефіцієнт шорсткості поверхні $K_{ш}$;
- швидкість проведення замісу опари $V_{оз}$.

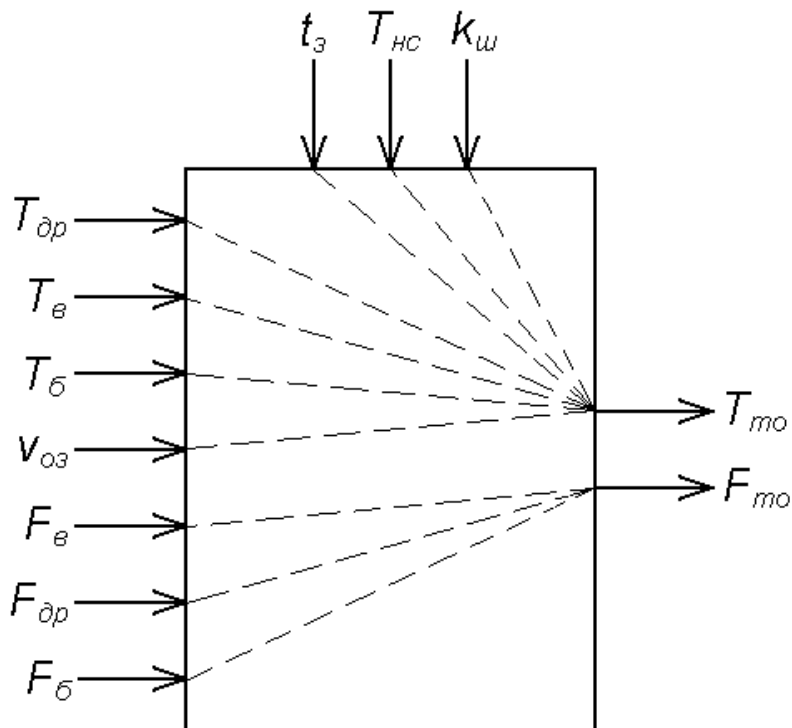


Рис. 2.4. Структурна схема взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами тістомісильної машини

Аналогічною до даної структурної схеми є структурна схема тістомісильної машини для замісу тіста. Відповідно, вихідними величинами є температура тіста на виході з тістомісильної машини T_t та витрата тіста F_t .

На температуру тіста впливають температури води, сольового, жирового розчинів, час знаходження тіста в тістомісильній машині, температура навколишнього середовища, коефіцієнт шорсткості поверхні та швидкість замісу.

На витрати опари найбільший вплив мають витрати компонентів: води, сольового, дріжджового, цукрового та жирового розчинів. Функцію передачі

даного об'єкта можна представити у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням.

2.3. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації технологічного процесу

Впровадження функціональної схеми автоматизації дасть змогу досягнути таких технічних та економічних показників:

- впровадження нових перспективних технологій, які дозволять знизити витрати на матеріали, сировину та енергоносії, ширше використовувати потужності підприємства та збільшити випуск готової продукції.
- розширення асортименту виробів для покращення їх конкурентоспроможності.
- удосконалення системи обліку сировини, напівфабрикатів, готової продукції, енергії, тощо.
- підвищення якості продукції при одночасному зниженні виробничих втрат і собівартості продукції.
- покращення умов праці працівників основних професій і обслуговуючого персоналу.
- можливість досягнути неперервності процесів виробництва, зменшити частку ручної праці та кількість бракованої продукції.
- збільшення термінів між плановим обслуговуванням обладнання, капітальним ремонтом і поточним оглядом.

Через низьку якість системи обліку матеріально-енергетичних ресурсів неможливо точно контролювати кількість готової продукції, сировини, напівфабрикатів. На багатьох операціях використовується ручна праця, що знижує якість готової продукції. Тому застарілу систему автоматизації слід замінити на нову, яка використовує передову мікропроцесорну технологію. Це дозволить зменшити собівартість продукції за рахунок таких чинників:

- зменшення витрат сировини і матеріалів. Введення в технологічний процес відповідних регуляторів дозволить більш точно проводити дозування

сировини, уникнути розсипання борошна, підвищити якість продукції та її вихід;

- зменшення кількості обслуговуючого персоналу;
- збільшення продуктивності обладнання і процесу в цілому за рахунок зменшення використання ручної праці.

З врахуванням вищенаведених факторів доцільно проводити регулювання за такими параметрами:

- рівнями води та дріжджового розчину в дозувальних станціях;
- масами борошна, яке поступає на приготування опари;
- температурою води в дозаторах.

Система керування технологічним процесом приготування опари в хлібопекарному виробництві дозволить реалізувати такі функції:

- програмно-дистанційне керування процесами;
- первинну обробку інформації і представлення її в зручному для оператора вигляді (сигналізація відхилення технологічних параметрів від регламентованих значень, індикація за викликом значень параметрів, сигналізація стану запірної арматури);
- регулювання основних технологічних параметрів за законами ПІ та ПІД регулювання;
- створення систем блокування і захисту.

Функціональна схема автоматизації процесу приготування опари в хлібопекарному виробництві зображена в додатках до кваліфікаційної роботи.

Функціональною схемою автоматизації передбачено такі контури регулювання:

- 1) регулювання температури в дозаторі води 5. При відхиленні температури від заданого значення в контурі передбачена її сигналізація;
- 2) регулювання рівня в ємності (силосі) 1 для зберігання борошна. Воно здійснюється зміною витрати борошна в лінії його подачі. При відхиленні рівня від заданого значення в контурі передбачена його сигналізація;

3) регулювання рівня в дозувальній станції води 5. Регулювання здійснюється зміною витрати води. При відхиленні рівня від заданого значення в контурі передбачена сигналізація;

4) регулювання рівня в дозаторі дріжджового 6 розчину. Регулювання здійснюється зміною його витрати. При відхиленні рівня від заданого значення в контурі передбачена сигналізація;

Функціональною схемою автоматизації передбачено також контроль температури і рівня в дозаторах води і дріжджового розчину, в тістомісильній машині, бродильному бункері.

2.4. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації

При виборі технічних засобів автоматизації необхідно враховувати кількість вхідних і вихідних величин, а також характеру сигналів (аналогових, дискретних, імпульсних), які будуть використовуватися для реалізації синтезованої системи керування.

2.4.1. Обґрунтування вибору локальних засобів автоматизації

Структура технічних засобів системи керування технологічним процесом приготування опари включає в себе первинні вимірювальні перетворювачі, вторинні показуючі та реєструючі прилади, виконавчі механізми та регулюючі органи, а також компактний малоканальний мікропроцесорний контролер "Реміконт Р-130".

Вимоги до якості продукції в харчовій промисловості зумовлюють вибір локальних засобів автоматизації високої точності та надійності, але з іншого боку вимоги економічної доцільності зумовлюють вибір технічних засобів, які б відповідали наступним вимогам:

- оптимально відповідали діапазону значень контрольованого параметра;
- склалися за блочним принципом для полегшення і здешевлення ремонтів;
- дозволяли проводити контроль, регулювання за декількома параметрами;

- відповідали принципу багатофункціональності.

Відповідно до даних вимог, для забезпечення показу та реєстрації вибираємо прилад РП-160, який призначений для вимірювання, сигналізації, реєстрації сигналів напруги, постійного струму та неелектричних величин (рівня, температури, витрати), які перетворюються в електричні сигнали або в активний опір. Прилад РП-160 є багатоканальним, дозволяє одночасно обслуговувати до 12 сигналів, які поступають з різних вимірювальних перетворювачів. У випадку показу параметра основна похибка складає $\pm 0,5 \%$, а коли значення параметра реєструється і сигналізується - $\pm 1,0 \%$. Вказані прилади є стійкими до дії вібраційних навантажень в діапазоні частот від 1 до 60 Гц, зберігають свої характеристики після сейсмічних впливів інтенсивністю до 9 балів, придатні до експлуатації в діапазоні температур від 5 до 50 °С і відносній вологості до 98 % при температурі 35 °С і нижче.

Вся електронна частина приладів виконана на уніфікованих модулях, що дозволяє легко виявити та усунути несправність. Прилади мають пристрій контролю справності по колу живлення та по вимірювальному колу, а також індикатор вмикання. Реєстрація показів здійснюється в прямокутних координатах на діаграмній стрічці.

Для вимірювання рівнів води і дріжджового розчину вибираємо перетворювач гідростатичного тиску типу „Сапфір-22ДГ”. Для вимірювання рівня борошна в силосі 1 вибираємо акустичний сигналізатор рівня типу АСУ з діапазоном вимірювання і сигналізації від 0 до 2,5 м, похибка спрацювання - 1,5 %.

Оскільки температура води та дріжджового розчину змінюється в межах від 10 до 50 °С, то для вимірювання даних параметрів вибираємо термоперетворювач опору типу ТСМ-1088.

2.4.2. Обґрунтування вибору мікропроцесорного контролера

Компактний малоканальний мікропроцесорний контролер типу „Реміконт Р-130” представляє собою комплекс технічних засобів, які забезпечують

вирішення задач автоматичного регулювання, логічного і неперервно-дискретного керування. „Реміконт Р-130” складається з блоку керування контролера БК-21 з пультом настройки ПН-21, засобів зв'язку з об'єктом і блоку живлення БП-21.

В блок контролера БК-21 входять:

1) в основну частину:

- модуль контролю і програмування МКП;
- модуль стабілізованої напруги МСН, який забезпечує живленням весь контролер разом з пультом настройки ПН-21;
- модуль процесора ПРЦ, який має безпосередній зв'язок з акумуляторною батареєю, що складається з трьох елементів Д006, причому їх конструктивне виконання дозволяє не порушувати цей зв'язок з метою збереження пам'яті ПРЦ при вилученні модуля.

2) в змінну частину може входити один з трьох модифікацій модулів УСО:

- модуль дискретних і аналогових сигналів МДА;
- модуль аналогових сигналів МАС;
- модуль дискретних сигналів МДС.

До складу засобів зв'язку з об'єктом входять:

- блок підсилювачів сигналів резистивних здавачів БУС-20;
- блок підсилювачів сигналів низького рівня і термопар БУТ-20;
- блок підсилювача потужності БУМ-20;
- блок переключення БПР-20;
- резистор нормуючий РН-21.

Клемно-блочні з'єднувачі КБС-20, КБС-21, КБС-22, КБС-23 призначені для міжблочних зв'язків між блоками і об'єктом.

Блок контролера БК-21 виконує наступні функції:

- перетворення сигналів, представлених в контролері в цифровій формі, в аналогові і дискретні вихідні сигнали;

- перетворення аналогових і дискретних вхідних сигналів в цифрову форму;
- обробки дискретних аварійних сигналів;
- обробки інформації;
- прийому і передачі сигналу через інтерфейсний канал цифрового послідовного зв'язку;
- оперативного контролю і керування з допомогою індикаторів і клавiш, які розміщені на лицьовій панелі блоку.

Блок БК-21 живиться від нестабілізованої напруги 24 В постійного струму.

Модуль процесора ПРЦ призначений для організації обміну даними між модулями, а також для логічної і арифметичної обробки цих даних. Основним елементом ПРЦ є мікропроцесор (МП) типу КР1821ВМ85А. МП може виконувати операції чотирьох типів:

- зчитування даних з пам'яті або вхідного порта;
- запис даних в пам'яті або на вихідний порт;
- внутрішні операції МП;
- передачу керування іншій комірці пам'яті.

Модуль контролю і програмування МКП зв'язує процесор і панель оператора як оперативний запам'ятовуючий пристрій з інформаційною ємністю 16x8 біт. Модуль формує конфігурацію за за видом цифрової і одиничної індикації на лицьовій панелі ПЛ або на ПН-21, тим самим забезпечуючи візуальний контроль параметрів.

Лицьова панель ПЛ служить для контролю параметрів, зміни режиму керування, пуску, зупинки і скидання програми, тощо. Містить клавіатуру для подачі команд оператору і засоби індикації.

З допомогою модуля МКП здійснюється зв'язок клавіатури лицьової панелі ПЛ або пульта настройки ПН-21 з модулем процесора ПРЦ, що забезпечує програмування, зміну параметрів і різних коефіцієнтів, формується сигнал відмови, а в режимі програмування – сигнал відключення інтерфейса.

Для технологічного програмування, настроювання і контролю використовується виносний пульт настройки ПН-21, який містить одиничні і цифрові індикатори, клавіатуру і перемикач включення-виключення самого пульта.

Блок живлення БП-21 підключається до промислової мережі змінного струму частотою 50 Гц і напругою 220 В і виробляє три нестабілізовані напруги 24 В постійного струму.

Модуль стабілізованої напруги МСН забезпечує напругою живлення блок контролера БК-21 в цілому, включаючи пульт настройки ПН-21. МСН має гальванічну розв'язку від вхідної напруги.

Блок підсилювачів сигналів низького рівня і термопар БУТ-20 виконує наступні функції:

- забезпечує компенсацію термо-е.р.с. вільних кінців термопари;
- перетворює сигнал термопар типу ТХА, ТХК, ТПП і ТПР в струмовий сигнал 0...5 мА;
- забезпечує придушення нуля вхідного сигналу і розтягування діапазону зміни вхідного сигналу.

Блок підсилювачів сигналів резистивних давачів БУС-20 перетворює зміну опору термоперетворювачів опору і реохордів в струмовий сигнал 0...5 мА.

2.4.3. Розробка конфігурації та програмного забезпечення функціонування мікропроцесорного контролера

2.4.3. Розробка конфігурації та програмного забезпечення

Імпульсний регулятор використовується для зміни температури води в дозаторі 5, рівня дріжджового розчину в дозаторі 6, рівня борошна в дозаторі 1. Блок-схема алгоритмів контролю та керування наведені в додатках до роботи. Алгоритм регулювання рівня води в дозаторі 5 описується наступною послідовністю алгоритмічних блоків. З перетворювача гідростатичного тиску типу „Сапфир”-22ДГ” сигнал поступає через пристрій зв'язку з об'єктом на

алгоритми 05-ВАА07-08, які застосовуються для зв'язку функціональних алгоритмів з апаратними засобами. Входи 01. 02 використовують для задання $X_{см}$ та $K_{п1}$.

Для формування сигналу завдання в контурі регулювання використовується алгоритм 07-ЗДН24-00-00. Через цей алгоритм підключається програмний задавач, а також підводиться сигнал від зовнішнього задавача.

Вихідні сигнали U_1 та $U_{здн}$ з алгоритмів 05-ВАА-07-08, 07-ЗДН24-00-00 поступають на алгоритм 11-РИМ 21-02 відповідно на входи 01 і 02, що працюють з виконавчим механізмом постійної швидкості. В алгоритмі формується сигнал розузгодження $U_{ε}$, вводиться зона нечутливості, $ε$ вузол автоматичного підстроювання параметрів регулятора K_p та T_i , а також формує вихідний сигнал U для алгоритму 20-РУЧ 26. Для контролю аналогових сигналів з допомогою порівняння кожного з них з індивідуальним для кожного сигналом допустимих значень використовується алгоритм 15-ПОК 29-01 (порогів контроль). Вихід контрольованого сигналу за допустимі значення приводить до загоряння індикатора „помилка контуру” або „помилка регулювання”. Вихідний сигнал U з 01 виходу алгоритму 11-РИМ 21-01 поступає на вхід 02 алгоритму ручного керування 20 РУЧ-26, призначеного для зміни режиму керування регулятора, тобто для перемикання в дистанційний або автоматичний режим роботи. В ручному режимі вихідний аналоговий сигнал може змінюватися вручну.

Оперативний контроль регулювання здійснює алгоритм 01-ОКО01-05 на входи якого поступають сигнали з алгоритмів 07-ЗДН24-00-00 ($U_{здн}$) на вхід 01 ($X_{здн}$), з 05-ВАА07-06 вихідні сигнали U_1 та U_2 на входи відповідно 02 ($X_{вх}$). Крім цього алгоритм 01-ОКО 01-05 дозволяє ввести свою шкалу з допомогою входів 03 ($W 0 \%$) та 04 ($W 100 \%$).

З допомогою алгоритму 25-ИВА15-02, який перетворює сигнал контролера в послідовність імпульсів, вихідний сигнал поступає на елемент керування виконавчим механізмом ПБР-3М, який подає сигнал на виконавчий механізм.

Виконавчий механізм діє на регулюючий орган, що призводить до зміни витрати води в дозатор.

Інші контури регулювання побудовані за аналогічною блок-схемою алгоритмів.

Для побудови сигналізації за регульованими параметрами використовують алгоритм зв'язку функціональних алгоритмів з апаратними засобами типу 06-ВАБ-08-01, який також дозволяє коректувати діапазон вхідних сигналів в двох точках: 0 і 100 %. З виходів алгоритму 06-ВАБ-08-01 сигнали поступають на входи відповідно 01, 06, 11, 16 алгоритму 19-НОР60-04 (нуль-орган), який використовується для контролю за виходом сигналу. Кожна ланка має в своєму складі ланку суматора та нуль-органу. Ланка суматора виділяє різницю двох сигналів $z = x_1 - x_2$.

Різниця сигналів подається на ланку нуль-органу, яка має два пороги спрацювання x_6 і x_m . нуль-орган спрацьовує тоді, коли $z \leq x_m$ або $z \geq x_6$. При цьому на виході з'являється сигнал D_1 або D_2 відповідно. Обидва пороги спрацювання мають однаковий гістерезис x_Δ , який задається при настройці параметрів алгоритму.

Для передачі оброблених алгоритмом 19-НОР60-04 сигналів по інтерфейсу використовується алгоритм 24ИНВ06-01. Сигнали, які потрібно передавати через інтерфейс, повинні бути попередньо сконфігуровані і сформовані на входах x_i -го алгоритму. Сигнали $D_{1.1}$, $D_{1.2}$, $D_{1.3}$ та $D_{1.4}$ з алгоритму 19-НОР60-04 надходять відповідно на входи 01, 03, 05, 07 алгоритму 24-ИНВ06-01.

В інформаційному пакеті, який передається через інтерфейс, сигналам присвоюють номери, рівні номерам відповідних входів x_i . Пакет отримує номер джерела і рівний системному номеру контролера, який присвоюється йому в процесі програмування.

2.4.4. Опис принципової електричної схеми підключень

Принципова схема підключень зображена в додатках до роботи.

Вимірювальні перетворювачі „Сапфір-22ДГ” живляться від блоків живлення 22БП-36, які в свою чергу живляться від мережі змінного струму 220 В через клеми 2 і 4. Живлення подається на 1 і 2 клеми перетворювачів від 8,14 та 16,22 клем блоку 22БП-36 відповідно. Далі сигнал вимірювання поступає на блок контролера БК-21/П-21 з каналами входу-виходу типу 2 (МДА), які мають 8 аналогових входів і 4 дискретні виходи (рис. 2.5).

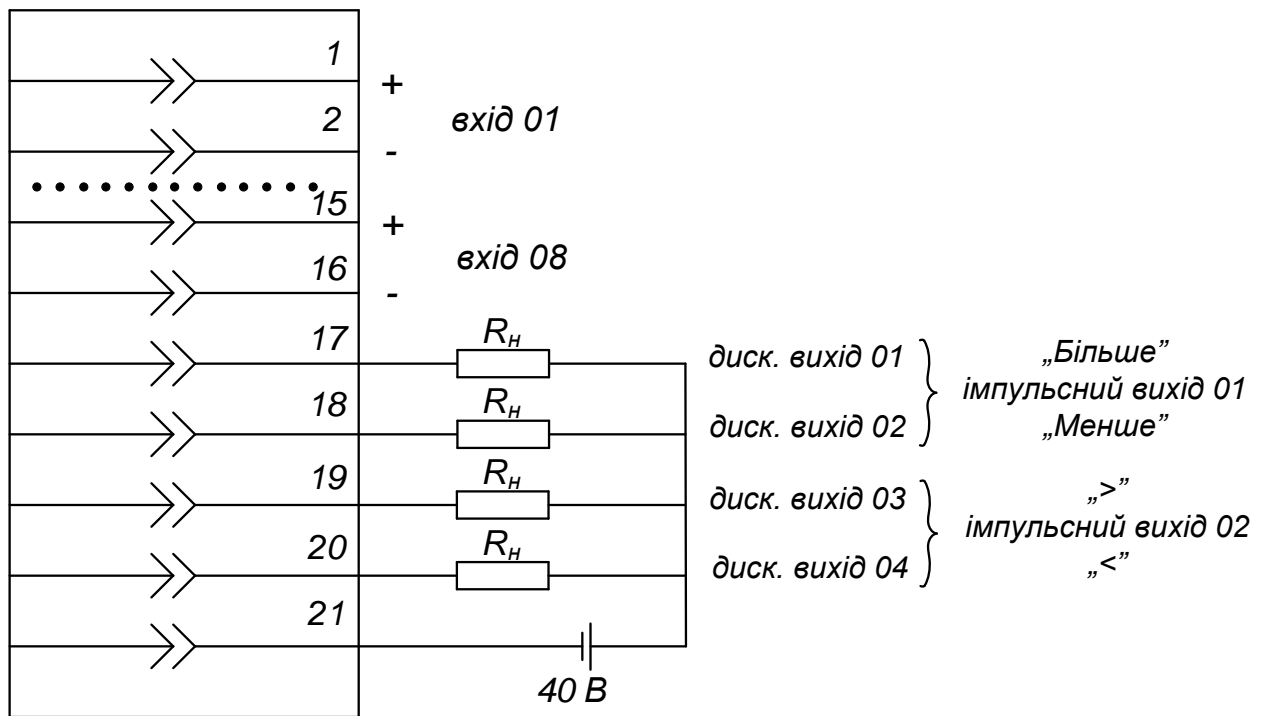


Рис.2.5. Кола входу-виходу типу 2 (МДА)

Для підключення дискретних входів-виходів контролера та блоку перемикачів використовують клемно-блочний з'єднувач КБС-22 (рис. 2.6).

Для підключення аналогових вхідних та вихідних сигналів використовують клемно-блочний з'єднувач КБС-23 (рис. 2.7).

Інформаційні сигнали з клем 5,6 вимірювальних перетворювачів надходять відповідно з „Сапфір-22 ДГ” на клеми 1,2 КБС-23, з другого „Сапфір-22 ДГ” – на клеми 9,10 КБС-23 і з третього „Сапфір-22 ДГ” – на клеми 13,14 КБС-23.

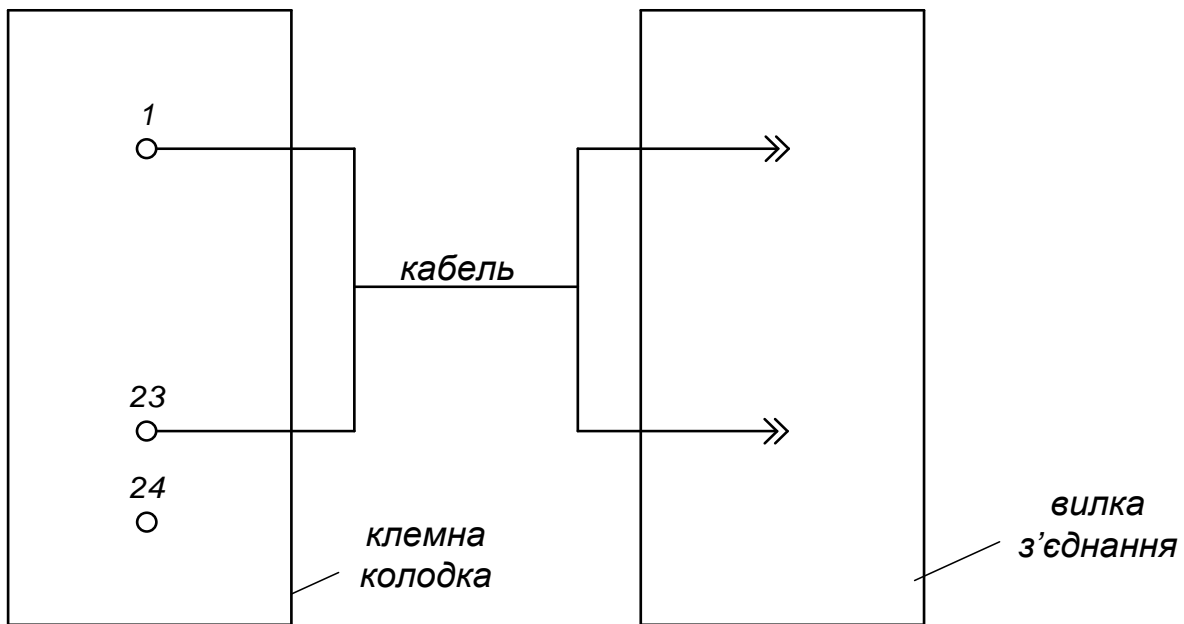


Рис. 2.6. Клемно-блочний з'єднувач КБС-22

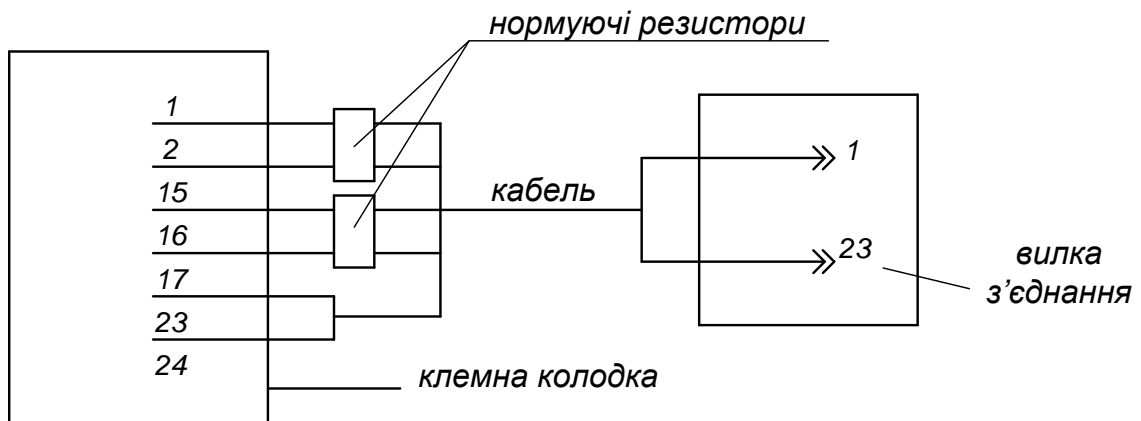


Рис.2.7. Клемно-блочний з'єднувач КБС-23

З резистивного давача температури вимірювальний сигнал поступає на блок підсилення сигналів резистивних давачів БУС-20, який живиться від блоку живлення БП-21. Для підключення блоків живлення та підсилювачів використовують клемно-блочний з'єднувач КБС-21, який має схему, зображену на рис. 2.8.

Сигнал від БП-21 з клем 1,2 КБС-21 поступає на клемі 1,8 КБС-21, яка під'єднує БУС-20. Сигнал з КБС-21 з клем 1,2 поступає на клемі 5,6 КБС-23. Для живлення блоку БК-21 використовують блок живлення БП-21, який через клемі 1,2 живиться від мережі змінного струму 220 В.

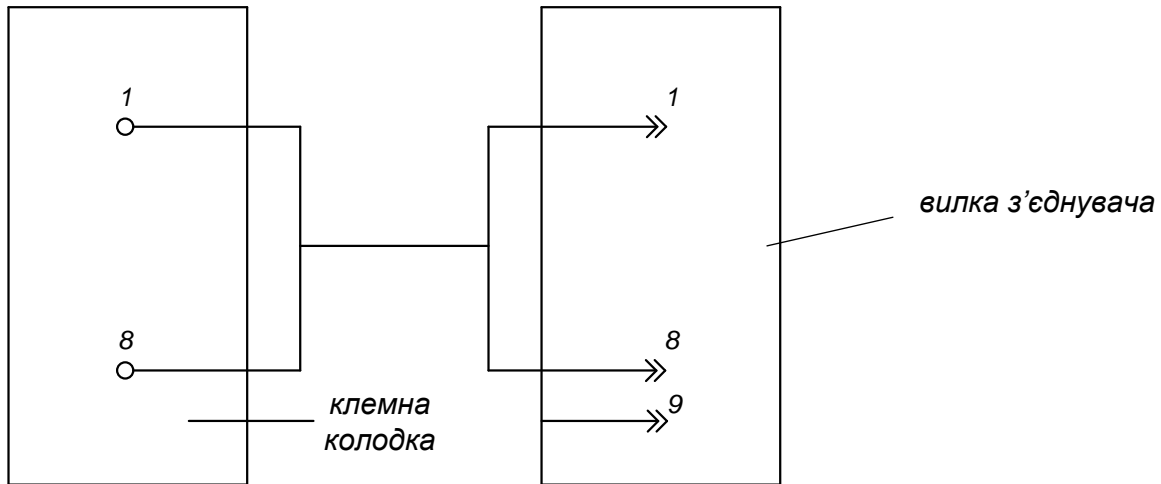


Рис. 2.8. Клемно-блочний з'єднувач КБС-21

Для зв'язків кіл між БК-21 і БП-21 використовують міжблочний з'єднувач МБС-20 (рис. 2.9). З допомогою блоку живлення БП-21 здійснюється також обмін інформацією в мережі. Для вводу інформації в мережу використовують клеми 3,4, для виводу з мережі – клеми 1 і 2.

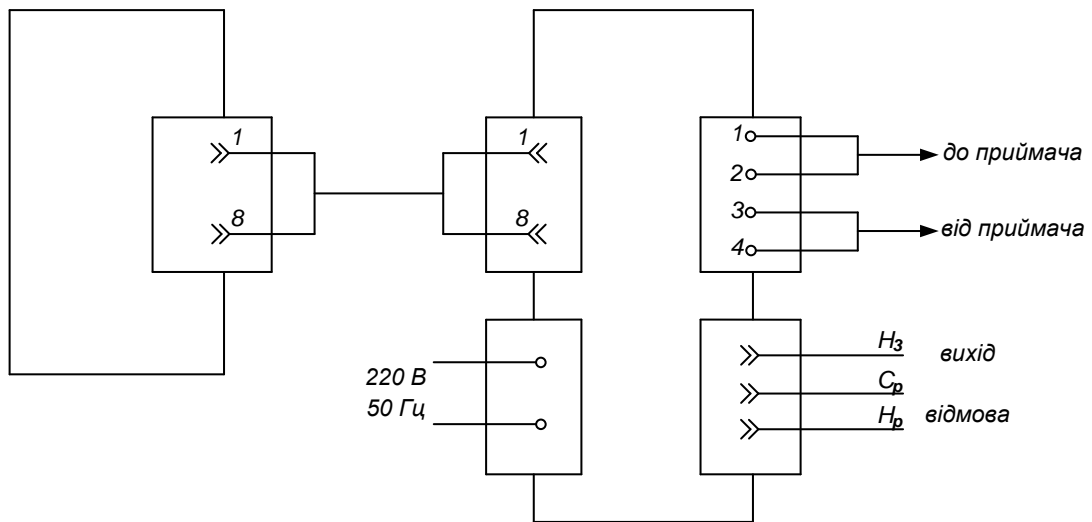


Рис. 2.9. Міжблочний з'єднувач МБС-20

Для зміни положення регулюючих органів використані виконавчі механізми типу МЕО, на які подаються керуючі сигнали з імпульсних виходів регулятора. На клеми 5,9 виконавчих механізмів надходять сигнали керування з

КБС-23 відповідно з клем 17 і 18 та 19 і 20, а також з КБС-22 клеми 17,18 та 19,20 відповідно.

Для керування виконавчими механізмами використовують пускачі безконтактні реверсивні типу ПБР-3М, які через клему 10 приєднуються до клеми 21 КБС-23 і КБС-22, що дає можливість використовувати живлення регулятора. Клеми 1,2,3 приєднуються до мережі змінного струму 380 В для власного живлення ПБР-3М. Для зв'язку ПБР-3М і МЕО використовують клеми 7,9 ПБР-3М і 6,10 МЕО відповідно.

3. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

3.1. Вхідні дані про об'єкт регулювання, необхідні для розрахунків

Одним із контурів регулювання в технологічному процесі приготування опари є контур регулювання температури в дозаторі води, яка подається для замішування опари. З метою моделювання виберемо цей контур регулювання.

Вхідні дані. Регулююча дія на об'єкт регулювання здійснюється зміною положення РО на трубопроводі подачі гарячої води.

Задане значення регульованої величини - 27°C .

Крива розгону об'єкта регулювання, вихідною величиною якого є температура води на виході з дозатора води, отримана при зміні відкриття регулюючого органу (РО) на 10%.

Експериментальні значення кривої розгону наведені в табл. 3.1.

Таблиця. 3.1.

Експериментальні значення кривої розгону, отриманої зміною положення РО на 10%

№п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t, с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T, $^{\circ}\text{C}$	27	27	27,55	28	28,5	28,8	29,1	29,3	29,5	29,6

№п/п	11	12	13	14	15
t, с	100	110	120	130	140
T, $^{\circ}\text{C}$	29,7	29,8	29,85	29,9	29,95

Вимоги до якості процесу регулювання

Показники якості процесу регулювання для даної САР мають бути такими:

1. Максимальна динамічна похибка регулювання $A_1 = 1,5^{\circ}\text{C}$.
2. Час регулювання $t_p = 400$ с.

3.2. Вибір структури моделі та розрахунок параметрів моделі

Побудуємо експериментальну криву розгону для об'єкта регулювання каналом регулюючої дії: витрата гарячої води - температура на виході із дозатора з отриманих в результаті експерименту значень точок кривої розгону. Для цього використаємо програмне середовище Matlab.

Експериментальна крива розгону об'єкта представлена на графіку (рис. 3.1).

```
Tem=[27 27 27.55 28 28.5 28.8 29.1 29.3 29.5 29.6 29.7 29.8 29.85 29.9 29.95];
t=[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140];
plot(t,Tem); grid; xlabel('t, c'); ylabel('T, C');
```

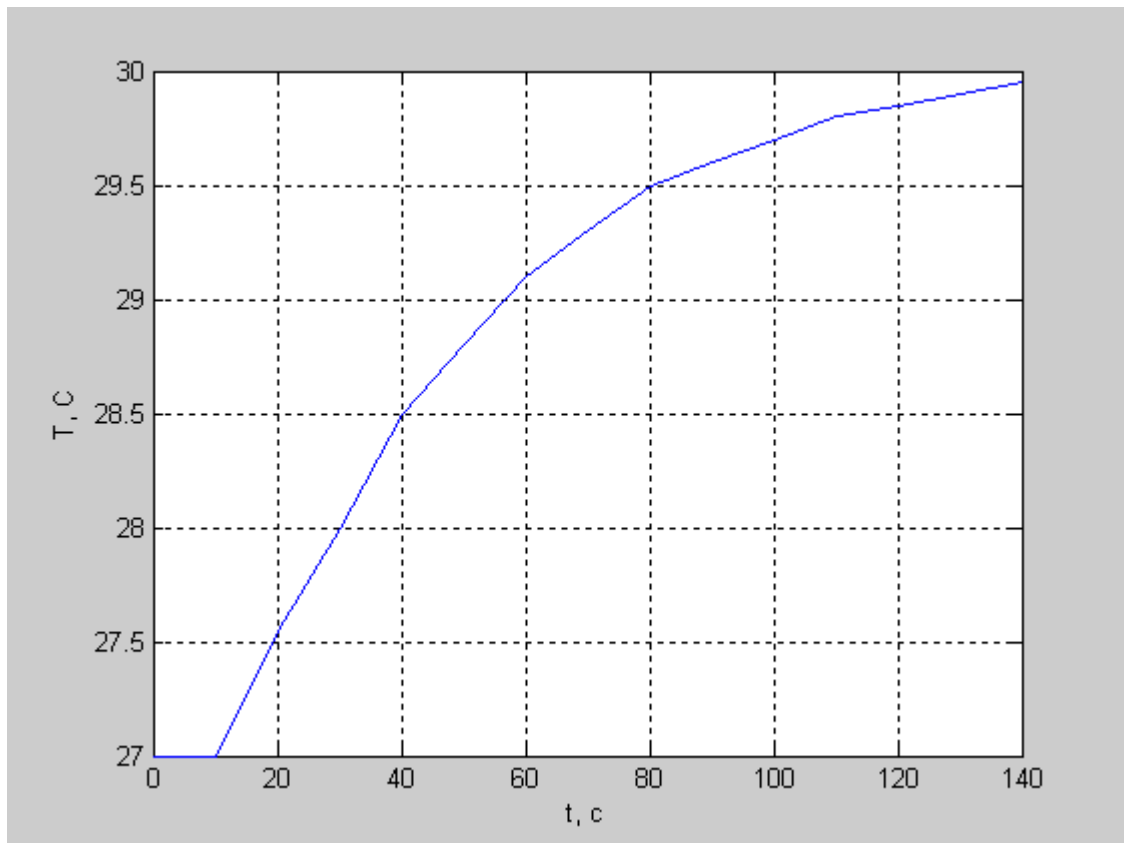


Рис. 3.1. Графік експериментальної кривої розгону температури на виході з дозатора води при переміщенні РО, встановленого на трубопроводі подачі гарячої води на 10 %

Маючи наочний вигляд експериментальної кривої розгону об'єкта регулювання, можна скористатися одним з чисельних методів знаходження параметрів моделі заданої структури, а саме методом найменших квадратів (МНК).

Згідно з цим методом за виглядом експериментальної кривої розгону (рис.3.1) обираємо функцію передачі у вигляді послідовно з'єднаних аперіодичної ланки першого порядку з ланкою запізнення. Функція передачі якої має вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{(Tp + 1)} e^{-p\tau}, \quad (3.1)$$

де T - стала часу; τ - час запізнення.

Для неї встановлюють теоретичну криву розгону і формують суму квадратів різниці між теоретичними $y(t_j)$ та експериментальними $y^e(t_j)$ значеннями кривої розгону у заданий моменти часу t_j

$$J(a) = \sum_{j=1}^N [y(t_j) - y^e(t_j)]^2, \quad j = \overline{1, N}, \quad (3.2)$$

де N - кількість експериментальних значень з кривої розгону, $a = [\tau, T]$ - вектор параметрів заданої функції передачі.

Згідно з МНК параметри функції мають бути такими, щоб забезпечити найменше значення суми (3.2)

$$J(a) = \min. \quad (3.3)$$

Отже, задача зводиться до пошуку значень параметрів заданої функції передачі, при яких забезпечується мінімальне значення функції $J(a)$. Її можна розв'язати аналітично або чисельним методом. При чисельному методі знаходження параметрів моделі зручно скористатися пакетом *Matlab*. Параметри обраної моделі знаходимо, застосовуючи функцію *fminsearch*. Головна програма, записана у *script*- файлі під назвою *kryvi.m*, використовує підпрограму *korr.m*. В основній програмі викликається функція *fminsearch*, яка знаходить такі значення перехідних параметрів моделі, при яких забезпечується мінімум суми згідно (3.2). Пошук параметрів моделі здійснюється ітераційно за алгоритмом Нелдера-Міда. Знайдені за допомогою *fminsearch* параметри є шуканими параметрами заданої функції передачі.

Задача знаходження функції передачі об'єкта регулювання за експериментальними кривими розгону на практиці вирішується неоднозначно.

Це значить, що, наприклад, деякій експериментально одержаній кривій розгону об'єкта можна підпорядкувати декілька варіантів функцій передачі з різними параметрами (отже, і декілька варіантів структури об'єкта), підібраних так, що перехідні функції для всіх варіантів приблизно збігаються з експериментальною кривою розгону.

Для знаходження параметрів функції передачі об'єкта регулювання використаємо програми, які наведені нижче:

Файл kryvi.m

```
clear,clc
global t Tem
Tem=[27 27 27.55 28 28.5 28.8 29.1 29.3 29.5 29.6 29.7 29.8 29.85 29.9
29.95];
t=[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140];
x0=[3/10 50 10];
x=fminsearch('korr',x0);
K=x(1)
T=x(2)
Tz=x(3)
[num_z,den_z]=pade(Tz,30);
[num,den]=series(K,[T 1],num_z,den_z);
t1=[0:0.3:140];
y=27+10.*step(num,den,t1);
y1=27+10.*step(num,den,t);
plot(t,Tem,'o',t1,y,'b');grid;xlabel('t,c'); ylabel('T,C');
y1=27+10.*step(num,den,t);
deltamax=max(abs(y1'-Tem))
del=max(abs(y1'-Tem)./(K*10))*100
```

Файл korr.m

```
function d=korr(x);
```

```

global t Tem
K=x(1); T=x(2); Tz=x(3);
[num_z,den_z]=pade(Tz,30);
[num,den]=series(K,[T 1],num_z,den_z);
y=27+10.*step(num,den,t);
d=sum(abs(Tem-y'));

```

Результатами виконання програми будуть:

- розраховані параметри моделі об'єкта регулювання K , T , Tz ;
- графік порівняння експериментальної та теоретичної кривої розгону об'єкта регулювання (ОР) (рис.3.2).

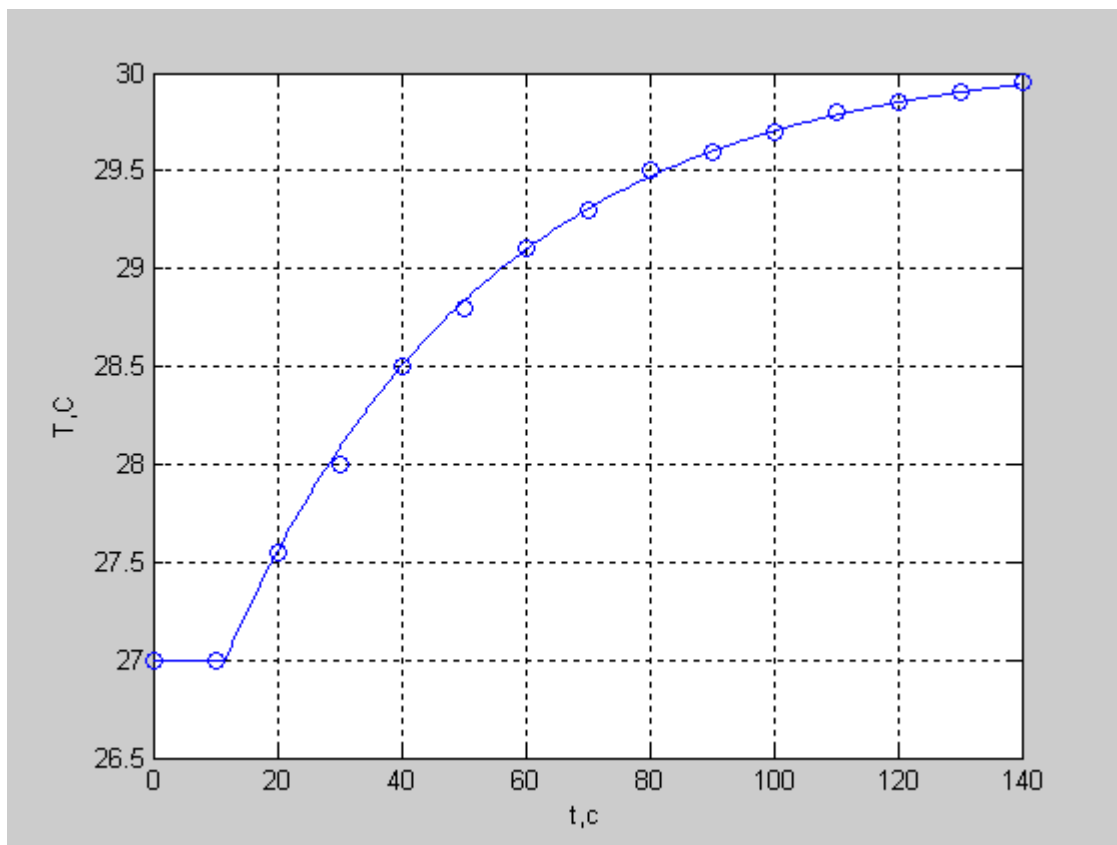


Рис. 3.2. Експериментальна крива розгону [о] та теоретична крива розгону [-] температури на виході з дозатора при переміщенні РО, встановленого на трубопроводі подачі гарячої води на 10 %

Параметри функції передачі ОР будуть наступними:

$$k = 0.3097 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{ ходу РО};$$

$$T = 42.8554 \text{ с};$$

$$Tz = 11.6222 \text{ с}.$$

Розрахована максимальна абсолютна похибка наближення (апроксимації) рівна:

$$\Delta_{\max} = 0.0802 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахована максимальна зведена похибка наближення рівна:

$$\delta_{\max} = 2.5879 \text{ } \%.$$

Отже, функція передачі ОР по каналу зміна витрати гарячої води – температура на виході з дозатора води для замісу опари має вигляд:

$$W(p) = \frac{0,3097}{42,8554p + 1} \cdot e^{-11,6222p}$$

3.3. Розрахунок параметрів настроювання автоматичного регулятора

Вимоги щодо якості процесу регулювання визначаються умовами ведення технологічного процесу, деякі з показників якості регламентуються експлуатаційними інструкціями (наприклад, допустимі відхилення регульованої величини). Найчастіше застосовуються такі показники якості:

- а) максимальне динамічне відхилення регульованої величини;
- б) допустиме довготривале відхилення регульованої величини (статична похибка);
- в) тривалість процесу регулювання (час регулювання);
- г) ступінь коливальності m (коефіцієнт зникання ψ або показник коливальності процесу M), між якими існує взаємозв'язок:

$$\psi = 1 - e^{-2mn}, \quad M = \frac{m^2 + 1}{2m}.$$

Значення тих чи інших показників задаються або ж їх треба приймати на основі досвіду експлуатації аналогічних процесів. Відповідно до заданих вимог приймають вигляд перехідного процесу, який повинен забезпечувати проєктований регулятор. Це може бути:

- а) граничний аперіодичний процес, тобто процес з коефіцієнтом зникання $\psi=1$;
- б) процес з 20% перерегулюванням, який відповідає значенню $\psi=0.98$;
- в) процес, при якому квадратична інтегральна оцінка якості є мінімальною.

Варіант а) приймають, коли коливання в процесі регулювання недопустимі, а також тоді, коли властивості об'єкта регулювання недостатньо достовірні. Варіант б) дає зменшення максимального відхилення при деякому перерегулюванні. Варіант в) застосовують при необхідності обмеження значних відхилень регульованої величини, якщо коливання її допустимі.

Для побудови САР температури води на виході з дозатора води виберемо ПІ-регулятор для забезпечення мінімального часу регулювання у поєднанні з відсутністю статичної похибки регулювання.

Для розрахунку оптимальних настроювальних параметрів обраного автоматичного регулятора скористаємося методом розширених частотних характеристик.

Цей метод базується на амплітудно-фазовому критерії стійкості (критерій Найквіста), який можна інтерпретувати як критерій запасу стійкості. Розширена амплітудно-фазова характеристика (РАФХ) визначається заміною

$$p = -m\omega \pm i\omega,$$

де ω - кругова частота; $m = \frac{\alpha}{\omega}$ - ступінь коливальності, яка є критерієм запасу стійкості за розміщенням коренів характеристичного рівняння; α - дійсна частина комплексного кореня характеристичного рівняння.

Амплітудно-фазовий критерій стійкості, як критерій запасу стійкості за розширеними частотними характеристиками формулюється так: якщо розширена амплітудно-фазова характеристика (РАФХ) розімкнутої системи $W_{pc}(m, i\omega)$ при зміні частоти від 0 до ∞ проходить через точку $(-1, i0)$, не охоплюючи її на більш високих частотах, то корені характеристичного рівняння замкнутої системи будуть розташовані в лівій на півплощині на променях $p = -m\omega \pm i\omega$, і всередині сектора, обмеженого цими променями.

РАФХ розімкнутої системи

$$W_{pc}(m, i\omega) = W_{op}(m, i\omega) W_p(m, i\omega) = -1 \quad (3.4)$$

де $W_{op}(m, i\omega) = U(m, \omega) + iV(m, \omega)$ – РАФХ об'єкта регулювання каналом регулюючої дії; $U(m, \omega), V(m, \omega)$ – розширені дійсна та уявна частотні характеристики об'єкта регулювання. $W_p(m, i\omega)$ – РАФХ регулятора. Для спрощення запису позначимо $U(m, \omega) = U, V(m, \omega) = V$.

РАФХ ПІ-регулятора записується у вигляді

$$W_p(m, i\omega) = \kappa_p + \frac{\kappa_p}{T_i} \frac{1}{(-m\omega \pm i\omega)}. \quad (3.5)$$

Підставляючи (3.5) у (3.4) одержимо

$$(U + iV) \left[\kappa_p + \frac{\kappa_p}{T_i} \frac{1}{(-m\omega \pm i\omega)} \right] = -1,$$

$$\text{або} \quad -m\omega U \kappa_p + i\omega \kappa_p U - im\omega V \kappa_p - \omega \kappa_p V + U \frac{\kappa_p}{T_i} + iV \frac{\kappa_p}{T_i} - m\omega + i\omega = 0,$$

звідки отримуємо систему двох рівнянь із двома невідомими κ_p і $\frac{\kappa_p}{T_i}$

$$\begin{cases} U \frac{\kappa_p}{T_i} - \omega(mU + V)\kappa_p - m\omega = 0 \\ V \frac{\kappa_p}{T_i} - \omega(U - mV)\kappa_p - \omega = 0 \end{cases}$$

Розв'яжемо отриману систему рівнянь відносно κ_p і $\frac{\kappa_p}{T_i}$

$$\begin{cases} \frac{\kappa_p}{T_i} = -\omega(m^2 + 1) \frac{V}{U^2 + V^2} \\ \kappa_p = -\frac{U + mV}{U^2 + V^2} \end{cases}$$

РАФХ об'єкта регулювання в показниковій формі має вигляд

$$W_{op}(m, i\omega) = A_{op}(m, \omega) e^{i\varphi_{op}(m, \omega)} = A_{op}(m, \omega) \cos \varphi_{op}(m, \omega) + A_{op}(m, \omega) \sin \varphi_{op}(m, \omega),$$

де $A_{op}(m, \omega), \varphi_{op}(m, \omega)$ – розширені амплітудно- і фазочастотні характеристики об'єкта регулювання. Враховуючи, що дійсна U і уявна V

частотні характеристики визначаються як

$U = A_{op}(m, \omega) \cos \varphi_{op}(m, \omega)$, $V = A_{op}(m, \omega) \sin \varphi_{op}(m, \omega)$ остаточно одержимо

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_i} = -\frac{\omega(m^2 + 1) \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} \\ k_p = \frac{-(\cos \varphi_{op}(m, \omega) + m \sin \varphi_{op}(m, \omega))}{A_{op}(m, \omega)} \end{cases}$$

Далі, змінюючи частоту в діапазоні від ω^* до ω^{**} де $\varphi_{op}(\omega^*) = -\pi/2 + \arctan(m)$, $\varphi_{op}(\omega^{**}) = -\pi$ розраховують область параметрів настроювання ПІ-регулятора на задану ступінь коливальності $m_{зад}$. Графічно вона представлена на рис. 5.3.

На цьому ж графіку показана область параметрів настроювання регулятора, що виводять САР на границю стійкості ($m=0$). Якщо вважати, що діючі в САР збурення є низькочастотними (зокрема детерміноване збурення у вигляді стрибка є низькочастотним), то оптимальні настроювальні параметри відповідають частоті ω_{max} , при якій $\frac{k_p}{T_i} = \left(\frac{k_p}{T_i}\right)_{max}$, а інтегральна квадратична оцінка якості J_2 є мінімальною. Для випадкових збурень вибирають точку на робочій частоті $\omega_p = 1.2\omega_{max}$, що відповідає $J_2 = \min$.

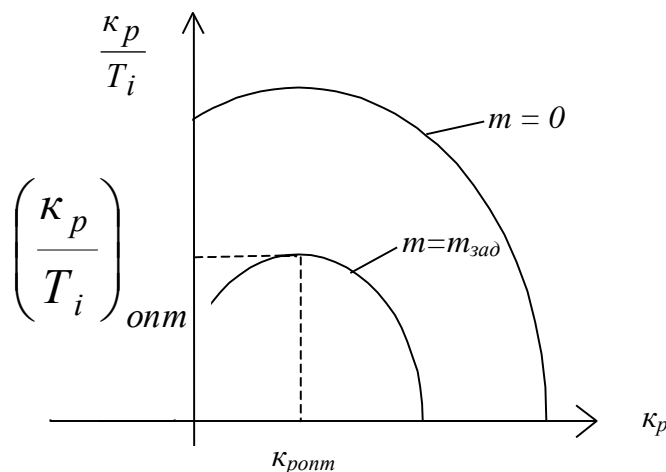


Рис. 3.3. Границя області заданого запасу стійкості

Для знаходження значень ω^* та ω^{} використовуємо наступну програму:**

Файл f_ch.m

```
clear,clc
```

```

k=0.3097;T=42.8554;Tz=11.6222;m=0.35;
w=[0.0:0.01:0.1];
p=-m.*w+i.*w;
W=k.*exp(-Tz.*p)/((T.*p+1).^2);
A=abs(W);fi=phase(W);
% disp('w A fi(w)')
% R=[w(:) A(:) fi(:)]
fi1=(-pi/2+atan(m)), fi2=-pi
% w*=w8; w**=w88
w8=spline(fi,w,fi1)
w88=spline(fi,w,fi2)
figure(1),plot(w,fi,'k',w8,fi1,'ok',w88,fi2,'ok'); grid; %axis([0 0.1 -4 0]);
title('RFCH'); xlabel('w,rad/s'); ylabel('f(m,w)');
clear all

```

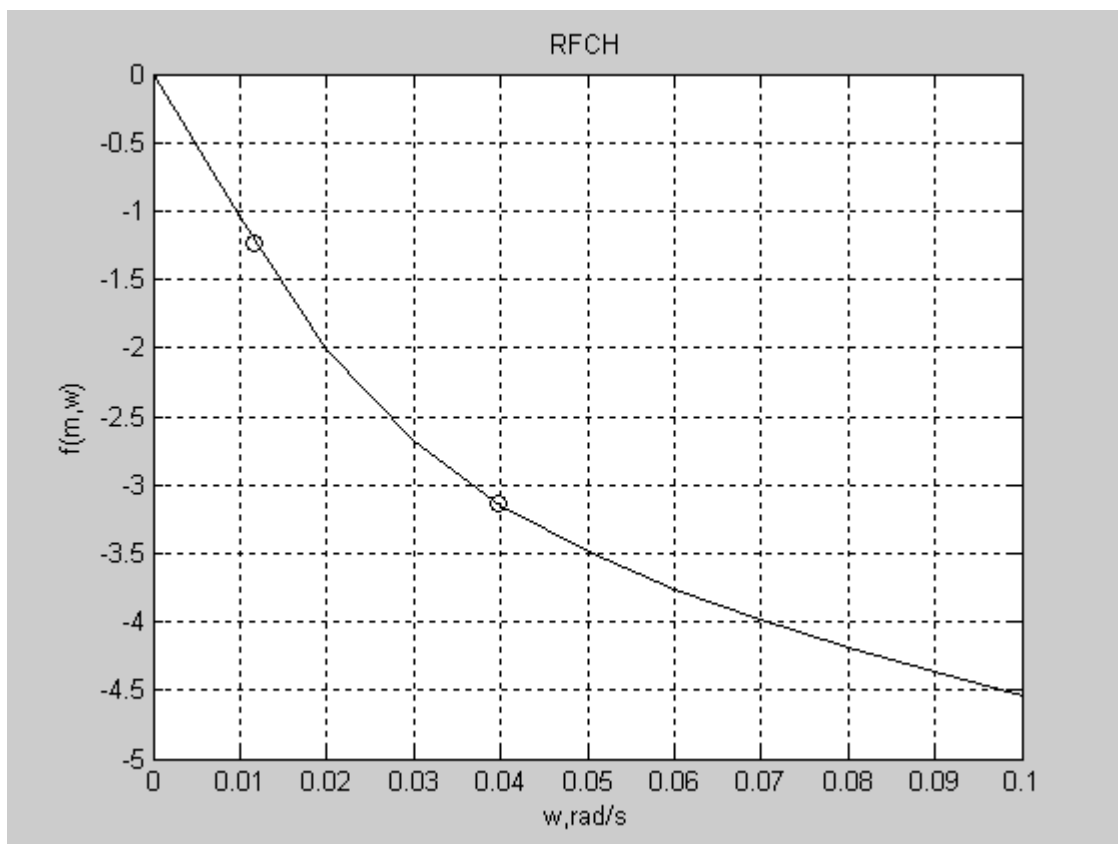


Рис. 3.4. Графік розширеної фазочастотної характеристики об'єкта регулювання

Результати виконання програми наведені на рис. 3.4:

Результати виконання цієї програми:

$$\varphi_{op}(m, \omega^*) = -1.2341 \quad \varphi_{op}(m, \omega^{**}) = -3.1416$$

$$\omega^* = 0.0117 \quad \omega^{**} = 0.0398$$

Розрахуємо параметри настроювання ПІ - регулятора для САР температури води на виході із дозатора води

Програма для знаходження оптимальних параметрів настроювання регулятора

Файл reg_pi.m

```
clear,clc
```

```
k=0.3097;T=42.8554;Tz=11.6222;m=0.35;
```

```
w=[0.0117:0.0001:0.0398];
```

```
p=-m.*w+i.*w;
```

```
W=k./(T.*p+1).^2.*exp(-Tz.*p);
```

```
A=abs(W);fi=phase(W);
```

```
kp_Ti=-w.*(m.^2+1).*sin(fi)./A;
```

```
kp=-cos(fi)+m.*sin(fi)./A;
```

```
n=find(kp_Ti==max(kp_Ti));
```

```
kp1=kp(n)
```

```
kp_Ti1=kp_Ti(n)
```

```
plot(kp,kp_Ti,'k',kp1,kp_Ti1,'ok');xlabel('kp');ylabel('kp/Ti, c^-^1');grid;
```

Результатом виконання програми є знаходження границі області заданого запасу стійкості для параметрів ПІ-регулятора температури. Графік границі області заданого запасу стійкості для параметрів ПІ-регулятора температури наведено на рис. 3.5.

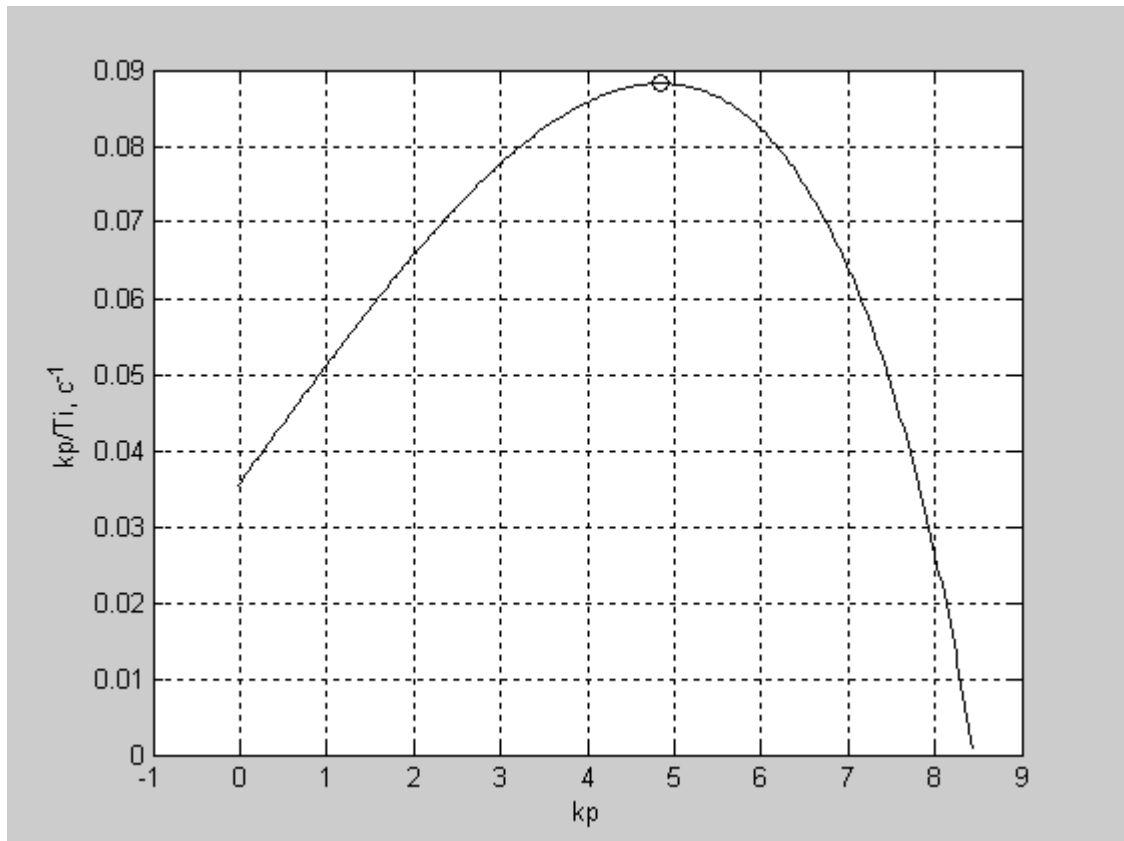


Рис. 3.5. Графік границі області заданого запасу стійкості для параметрів ПІ-регулятора температури

Оптимальні параметри настроювання будемо шукати при максимумі $K_p/T_i = 0.0882$; $K_p = 4.8325$

Модельовання процесу регулювання в Simulink

Змодельуємо процес регулювання САР температури в Simulink, **файл model.mdl**

Структурна схема САР температури з ПІ-регулятором, виконана в середовищі Simulink, наведена на рис. 3.6.

Перехідний процес в САР температури води на виході із дозатора при збуренні зміною відкриття регулюючого органу на 10% і оптимальних настроювальних параметрах ПІ-регулятора наведено на рис. 3.7.

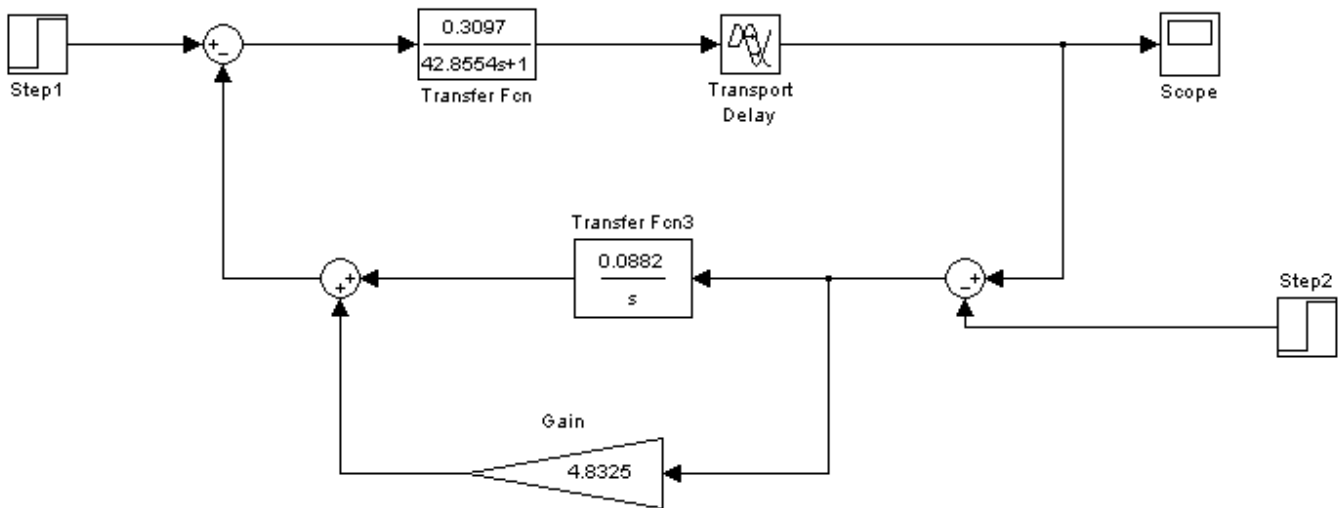


Рис. 3.6. Структурна схема САР температури з ПІ-регулятором, виконана в середовищі Simulink

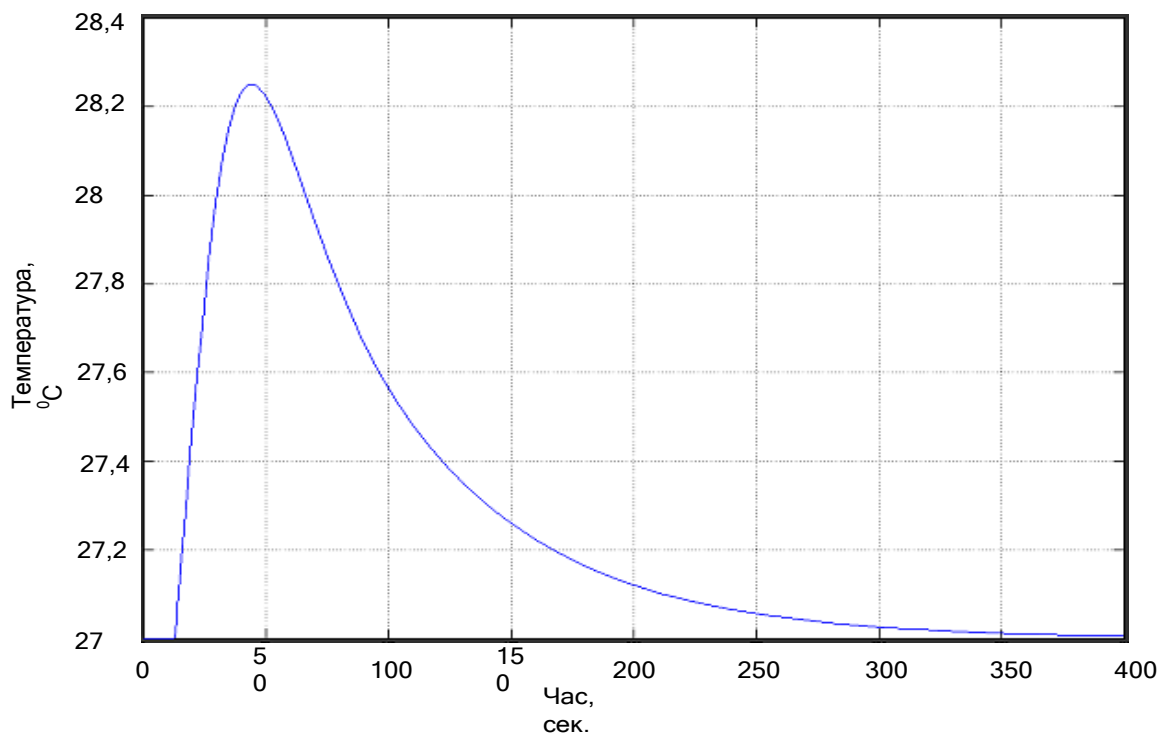


Рис. 3.7. Перехідний процес в САР температури води на виході із дозатора при збуренні зміною відкриття регулюючого органу на 10% і оптимальних настроювальних параметрах ПІ-регулятора.

В результаті моделювання ми отримали граничний аперіодичний процес з такими показники якості процесу регулювання:

- максимальне динамічне відхилення $A_1 = 1,25 \text{ } ^\circ\text{C}$;

- час регулювання $t_p=400$ с задовольняється.

- ступінь заникання $\Psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = 1,0$.

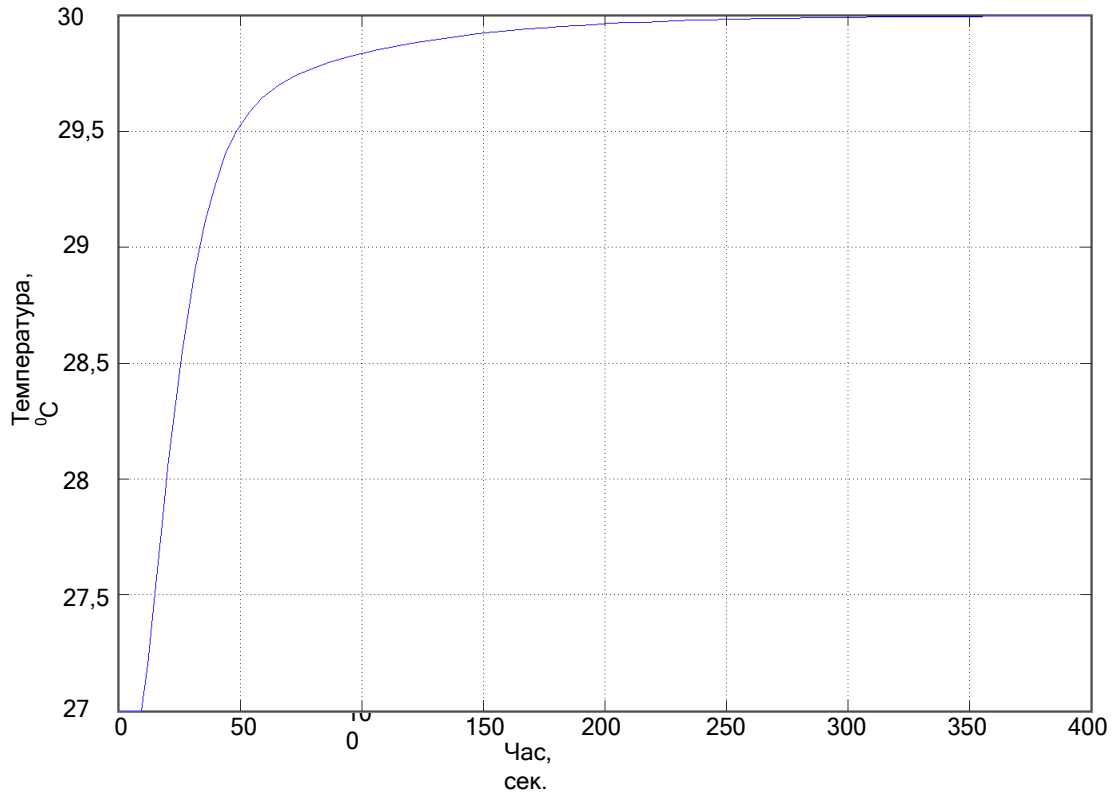


Рис. 3.8. Перехідний процес в САР при збуренні зміною завдання регулятора на 3°C і оптимальних настроювальних параметрах ПІ-регулятора

В результаті моделювання перехідного процесу в САР при збуренні зміною завдання регулятора на 3°C і оптимальних настроювальних параметрах ПІ-регулятора отримано граничний аперіодичний процес з такими показники якості процесу регулювання:

- час регулювання $t_p=400$ с задовольняється.

Результати моделювання показують, що вимоги щодо якості процесу регулювання виконуються. Можна зробити висновок, що для заданих вимог до якості процесу регулювання в САР температури при даних збуреннях закон регулювання та параметри настроювання регулятора вибрані правильно.

3.4. Опис схем автоматизації

Синтезована функціональна схема автоматизації містить в своєму складі чотири контури регулювання: регулювання температури води в дозувальній станції 5 та регулювання рівнів води в дозувальній станції 5, дріжджового розчину в дозувальній станції 6 та борошна в силосі 1.

Контур регулювання температурного режиму в дозувальній станції 5

Температура підігрітої води вимірюється термоперетворювачем електричного опору типу ТСМ-1088 (поз. 4-1), під'єднаним до підсилювача резистивних сигналів БУС-20 контролера „Реміконт Р-130”. Вихідний сигнал з цього підсилювача подається на один з модулів пристрою зв'язку з об'єктом (ПЗО) „Реміконт Р-130”. Далі цей сигнал перетворюється згідно із заданим алгоритмом керування (ПІ – закон регулювання) і формується сигнал регулюючої дії, який через ПЗО надходить на безконтактний реверсивний пускач (поз. 4-3), що вмикає виконавчий механізм типу МЕО (поз. 4-4) регулюючого клапана, встановленого на лінії подачі гарячої води. Крім цього сигнал від термоперетворювача електричного опору подається до реєструючого пристрою типу РП-160 поз. 4-2, який встановлено на щиті.

В контурі регулювання передбачено також сигналізацію зниження температури підігрітої води нижче від гранично допустимого значення (сигнальна лампа НЛ 4).

Контур регулювання рівнів води в дозувальній станції 5 і дріжджового розчину в дозувальній станції 6

Значення вказаних рівнів вимірюються перетворювачами гідростатичного тиску типу „Сапфір-22ДГ” поз. 5-1 та 7-1 з уніфікованими струмовими вихідними сигналами 0...5 мА, що подаються на вхід ПЗО „Реміконт Р-130”. Далі ці сигнали перетворюються згідно із заданими алгоритмами керування в залежності від відхилення параметрів від заданих значень і формуються сигнали регулюючої дії, які через ПЗО надходять на безконтактні реверсивні пускачі (поз. 5 і 7-3), що вмикають виконавчі механізми типу МЕО (поз. 4-4 і 7-4) регулюючих клапанів, встановлених на

відповідних трубопроводах. Крім цього сигнали від перетворювачів гідростатичного тиску подаються на показуючі пристрої (поз. 4-2 і 7-2), встановлені на щиті керування технологічним процесом.

При досягненні рівнем одного із крайніх положень на щиті вмикаються відповідні сигнальні лампи (HL5, HL6 або HL9, HL10).

Регулювання рівня борошна в силосі 1 здійснюється за аналогічною схемою, але як первинний вимірювальний перетворювач застосовано акустичний сигналізатор рівня типу АСУ з уніфікованим вихідним сигналом 0...5 мА. Сигналізація здійснюється вмиканням сигнальних ламп HL7, HL8.

Контроль температури

Функціональною схемою автоматизації передбачено контроль температури в тістомісильній машині 3, дозувальній станції дріжджового розчину 6 і бункері для бродіння опари 4. Температура контролюється термоперетворювачами опору типу ТСМ-1088 (поз. 9-1, 9-2, 9-3), під'єднаними до багатоканального вторинного приладу типу РП-160 (поз. 9-4), встановленого на щиті керування.

Контроль тиску в лініях подачі холодної і гарячої води та дріжджового розчину

Вказані тиски контролюються та сигналізуються за місцем електроконтактними манометрами типу ДМ-2010СГ (поз. 13-1, 14-1 і 15-1).

Дистанційне керування електродвиговдами дозатора борошна 2, тістомісильної машини 3 і бункера для бродіння опари 4 Часова програма керування технологічним процесом закладається в мікропроцесорний контролер, таймер якого визначатиме моменти появи на ПЗО керуючих дискретних сигналів вмикання електродвигунів. Керуючий дискретний сигнал з мікропроцесорного контролера діє через блок БПР-20 на відповідний магнітний контактний пускач, який замиканням своїх контактів вмикає кола живлення електродвигунів. При цьому на щиті вмикаються сигнальні лампочки (HL1, HL2, HL3, HL11, HL12, HL13).

3.5. Специфікація на засоби автоматизації

Специфікація на засоби автоматизації наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Специфікація на засоби автоматизації

№ з/п	№ позиції на ФСА	Технологічний параметр, його номінальне значення	Назва та коротка технічна характеристика засобу автоматизації	Тип засобу автоматизації	Кількість	Примітка
1.	1-1,2-1,3-1, 10-1,11-1, 12-1	Стан технологічного обладнання	Автомат управління приводом багатofункціональний. Напруга живлення 380 В	АПМФ-10/3	6	
2	5-1, 7-1	Рівень в дозаторах 5 і 6 0,8 ... 1,2 м	Вимірювальний перетворювач гідростатичного тиску. Вих. сигнал 0-5 мА, межі вимірювання 0-4 кПа, осн. похибка $\pm 0,5\%$	„Сапфір-22ДГ”	2	
3	5-2, 6-2, 7-2	Рівень в дозаторах 1, 5 і 6 0,8 ... 1,2 м	Прилад показуючий, одноканальний автоматичний, вхідний сигнал 0...5 мА. Шкала 0...2 м, клас точності 0,5	КП-140	3	

№ з/п	№ позиції на ФСА	Технологічний параметр, його номінальне значення	Назва та коротка технічна характеристика засобу автоматизації	Тип засобу автоматизації	Кількість	Примітка
4	4-3, 5-3, 6-4, 7-3		Пускач безконтактний реверсивний, напруга живлення 380 В	ПБР-3М	4	
5	4-4, 5-4, 6-5, 7-4		Механізм електричний однообертвий з струмовим задавачем БСПТ-10	МЕО-630/25	4	
6	4-5, 5-5, 6-6, 7-5		Шиберна засувка $P_p=3,8$ МПа, Температура робочого середовища до 280 °С, $D_v=100$ мм	43ЕМ-В634	4	
7	4-1, 9-1, 9-2, 9-3	Температура в дозаторах 5.6, тістомісильній машині 3 і бункері для бродіння опари 4 27°С	Термоперетворювач опору, НСХ 50М, діапазон виміру від -50 до 200 °С, клас допуску В	ТСМ-1088	4	

№ з/п	№ позиції на ФСА	Технологічний параметр, його номінальне значення	Назва та коротка технічна характеристика засобу автоматизації	Тип засобу автоматизації	Кількість	Примітка
8	4-2, 9-4	Температура в дозаторах 5.6, тістомісильній машині 3 і бункері для бродіння опари 4 27°C	Прилад показуючий, реєструючий багатоканальний, шкала 0-100 °С, клас точності 0,5	РП-160	2	
9	6-1, 6-2	Рівень борошна в силосі 1 1,9 м	Акустичний сигналізатор рівня з перетворювачем уніфікованого сигналу 0...5 мА, діапазон сигналізації 0-2,5 м, похибка спрацювання ± 1,5 %	АСУ	1	
10	18-1,31-1	Маса борошна 500 кг	Тензорезистивний давач, початковий опір 400 Ом, основна похибка ± 1 %	ТКС-088	1	
11	13-1, 14-1, 15-1	Надлишковий тиск в лініях подачі холодної і гарячої води та дріжджо-	Манометр електроконтактний Пружинний, з двома замикаючими контактами,	ДМ-2010 СГ	3	

№ з/п	№ позиції на ФСА	Технологічний параметр, його номінальне значення	Назва та коротка технічна характеристика засобу автоматизації	Тип засобу автоматизації	Кількість	Примітка
		вого розчину 40 кПа	шкала 0...0,6 МПа, клас точності 0,5			

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

В даній роботі розробляється автоматизація процесу приготування опари в хлібопекарному виробництві. Питання охорони праці на харчових підприємствах стоїть особливо гостро. Найбільш важливу роль в безпечному веденні процесу відіграє система автоматизації, яка дає змогу створити різноманітні системи захисту, сигналізації та блокування.

Для її надійного функціонування необхідно правильно визначити:

- параметри процесу, за якими потрібно проводити захист, блокування і сигналізацію;
- фактори, які можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій;
- небезпеки, які можуть призвести до виникнення аварії або бути її наслідком;

Створенням, налагодженням і монтажем систем автоматизації на підприємстві займається відділ КВП і А, який складається з двох підрозділів: операторів і слюсарів-ремонтників.

При проведенні процесу випікання хлібопродуктів, а також роботі в операторному приміщенні можна виділити наступні можливі види небезпек:

- 1) для слюсарів-ремонтників КВП і А:
 - пожежо- та вибухонебезпека (при аваріях в пічних агрегатах, трубопроводах подачі газу);
 - можливість отримання опіків;
 - негативний вплив підвищення рівнів шуму та вібрацій (при роботі різних видів конвеєрів);
 - отруєння шкідливими речовинами;
 - ураження електричним струмом;
 - небезпеки, пов'язані з можливістю травмування робітників відкритими та рухомими частинами обладнання;
 - небезпеки, пов'язані з роботою на висоті;
 - небезпеки, пов'язані з незадовільними метеорологічними умовами.

- 2) для операторів КВП і А:
- зорове перенапруження;
 - небезпеки, пов'язані з низькою рухливістю;
 - небезпеки, пов'язані з незадовільними ергономічними і метеорологічними умовами;
 - пожежо- та вибухонебезпечні умови.
 - Для зменшення ризиків виникнення нещасних випадків в дипломному проекті необхідно передбачити заходи з охорони праці.

4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

Згідно статті 13 закону України про охорону праці «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», третього розділу «Організація охорони праці», роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Згідно статті 6 закону України про охорону праці «Права працівників на охорону праці під час роботи», другого розділу «Гарантії прав на охорону праці», умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Відповідно до статті 8 закону України про охорону праці «Забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкроджувальними засобами» на роботах із шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкроджувальні засоби.

Нормативним документом, що визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень є ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Норми виробничого мікроклімату регламентують державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6-042-99.

Показниками, що характеризують мікроклімат є температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря та теплове навантаження.

Оптимальними вважаються такі умови праці, при яких буде найвища працездатність і хороше самопочуття.

Приміщення повинні бути достатньо освітлені, вдень – як найбільше природним світлом, а в нічний та в вечірній часи електричним освітленням. Освітленість повинна відповідати нормативним значенням за ДБН В 2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Згідно ГОСТ 12.4.021-75 (вентиляція, загальні вимоги) та СНиП 2.04.05-91 (вентиляція та конденсація повітря) вентиляційна система повинна відповідати передбаченим нормативам, створювати на робочих місцях нормальні метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища, що відповідає діючим санітарним нормам.

Електробезпека на виробництві забезпечується відповідною конструкцією електроустановок; застосуванням технічних засобів і засобів захисту; організаційними та технічними заходами згідно до ГОСТ 12.1.009-76.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартів безпеки праці. Шум. Загальні вимоги безпеки».

Рівень вібрації на виробництві повинен відповідати ГОСТ 12.1.012-91.

Пожежобезпека повинна відповідати стандарту ГОСТ 12.1.004-91. У комплексі заходів, спрямованих на ліквідацію пожежі, що використовується у системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір найраціональніших способів та засобів припинення горіння згідно зі ДБН В 2.5-13-98 «Пожежна автоматика будинків і споруд». Однією з умов успішного

використання вогнегасників є виконання правил розміщення вогнегасників на об'єкті.

Техніка безпеки являє собою комплекс технічних і організаційних заходів, які спрямовані на попередження обслуговуючого персоналу від травматизму, шкідливого впливу, які викликані умовами праці.

Приміщення підприємства повинні розміщатись відповідно до вимог, затверджених у встановленому порядку будівельних норм і правил, санітарних і протипожежних норм проектування.

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу і при подальшій роботі, повинні проходити на підприємстві навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, подання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих. Керівники підприємств в свою чергу зобов'язані забезпечити своєчасне і якісне проведення інструктажу робітників по безпечним прийомам і методам роботи, які регулярно проводяться на всіх підприємствах незалежно від ступеня небезпеки підприємств. Після навчання весь персонал повинен здати іспити по техніці безпеки.

З метою визначення здатності персоналу по стану здоров'я займатися обслуговуванням, ремонтом, перевіркою систем вимірювання і автоматизації всі робітники повинні пройти медичний огляд згідно статті 17 закону України про охорону праці «Обов'язкові медичні огляди працівників певних категорій», який роботодавець зобов'язаний забезпечити за свої кошти. Повторні періодичні медичні огляди проводяться не рідше одного разу на рік.

Вентиляція та опалення

Необхідно, щоб повітря робочої зони виробничих приміщень відповідало вимогам ДСН 3.3.6.042-99 і ГОСТ 12.1.005-88.

Під час перевищення у приміщеннях норм концентрації шкідливих газів і пилу, що передбачаються санітарними нормами, необхідно негайно вивести людей в безпечну зону та вжити заходів щодо ліквідації загазованості та

запиленості повітря.

Для локалізації пиловиділень необхідно передбачати герметизацію та аспірацію устаткування, застосування зволоження, сигналізацію про заповнення бункерів, регулярне прибирання приміщень.

Всмоктуючі та видувні отвори вентиляторів повинні бути загороджені решітками.

Відбір зовнішнього повітря не повинен виконуватись на висоті менше ніж 2 м від землі і в місцях, забруднених різними шкідливими речовинами.

Для опалення приміщень повинні бути передбачені системи, теплоносії і пристрої, які не створюють додаткових виробничих шкідливих факторів.

Системи опалення будинків і споруд підприємства необхідно вибирати з урахуванням вимог ДСП 173-96 і СНиП 2.04.05-91.

Температура повітря в приміщеннях в холодну пору року не повинна бути нижче 14°C при легкій фізичній роботі, 12°C при роботі середньої важкості і 8°C при важкій роботі.

Вібрації та шум

Рівні вібрації та шуму, що впливають на працівників, повинні відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України.

Вентилятори, повітродувки, рівні шуму яких перевищують допустимі норми, необхідно розташовувати у звукоізолювальних камерах або у звукоізолювальних кожухах (укриттях), обладнувати глушниками шуму з боку всмоктування та нагнітання, а також засобами віброізоляції, що запобігають передачі вібрацій трубопроводам і фундаментам.

Технологічне устаткування, що має шумові характеристики, які перевищують гранично допустимі норми, необхідно оснащувати засобами зниження шуму або розміщувати у звукоізолювальних боксах, або ж ізолювати звукоізолювальними перегородками або екранами.

Для усунення шкідливого впливу на працівників підвищеного рівня шуму повинні застосовуватись засоби індивідуального захисту.

Освітлення

Робоче освітлення повинно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість і яскравість відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд» та ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від. Джерела живлення аварійного освітлення повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів.

Улаштування, монтаж і експлуатація силового та освітлювального устаткування необхідно провадити з дотриманням вимог НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.32-01 та інших чинних нормативно-правових актів.

Показники освітлення території підприємства, допоміжних приміщень і робочих місць у цехах повинні відповідати встановленим нормам. У структурних підрозділах підприємства необхідно застосовувати робоче, аварійне та евакуаційне освітлення.

Робоче освітлення повинно забезпечувати освітленість і яскравість на робочих поверхнях не нижче нормативної.

Аварійним освітленням необхідно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість не менше 5% від нормативної, установленної для цих поверхонь.

Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати освітленість на підлозі основних шляхів пересування працівників, на східцях сходів не менше 3 лк (люксів).

Світильники повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 і розміщуватися таким чином, щоб забезпечити надійність їх кріплення, безпеку та зручність обслуговування.

Оскільки в технологічному процесі використовується природний газ, то можливе накопичення вибухонебезпечної метано-повітряної суміші, тому системи електроосвітлення повинні бути зроблені у вибухобезпечному

виконані.

Миття вікон повинне проводитись не рідше ніж 4 рази в рік.

Ергономічні вимоги

Ергономічні вимоги до робочих місць під час виконання робіт у сидячому положенні повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів.

На постійному робочому місці оператора за пультом або щитом повинні бути регульовані крісла з підлокітниками, з опорою для спини та з підставкою для ніг.

Заходи безпеки

У приміщеннях з підвищеним забрудненням пилом борошна електропроводка та електропускові пристрої необхідно виконувати таким чином, щоб забезпечувалася можливість вологого прибирання приміщень. В електромашинних приміщеннях необхідно передбачати прибирання пилу з електроустаткування пилососом.

На роботах, що пов'язані з небезпекою ураження електричним струмом, повинні застосовуватися засоби захисту відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21-98, Правил безпечної експлуатації електроустановок, Правил експлуатації електрозахисних засобів, НПАОП 40.1-1.07-01.

Органи керування на пульті та на щиті повинні розташовуватись в послідовності запуску і зупинки обладнання.

Кнопки запуску повинні бути втоплені на 3-5 мм за габарити пускової коробки, а кнопки зупинки повинні бути червоного кольору і виступати на 3 мм.

Органи керування на пульті або на щиті повинні розташовуватись на відстані не більше ніж 800 мм від вертикальної осі сидіння.

Електричні прилади та щити необхідно заземлювати відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів.

Контрольно-вимірювальні прилади повинні освітлюватись відповідно до норм освітленості.

Стан і робота приладів, засобів автоматизації, сигналізації, дистанційного

керування та пристроїв захисних блокувань повинні постійно контролюватися.

Регулювання та ремонт приладів і засобів автоматизації повинні виконувати тільки працівники служби контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

На всіх засобах вимірювання, що контролюють граничні значення параметрів технологічного процесу, червоною фарбою повинні помічатися гранично допустимі значення параметра, що вимірюється.

Засоби зв'язку та сигналізації необхідно розташовувати в зонах максимальної видимості та чутності працівників, а також робити їх легкодоступними та безпечними під час обслуговування.

Устаткування перед пуском у роботу необхідно перевіряти на його безпечність під час роботи на ньому, наявності та цілісності огорож, надійності дії пускових і гальмівних пристроїв, заземлення, справності запобіжних кожухів, справності ізоляції, сигналізації пуску та зупинки, автоблокування.

У разі виявлення несправностей або недоліків у забезпеченні безпечної експлуатації устаткування робота на ньому повинна бути негайно припинена.

Органи аварійного виключення (кнопки, важелі) повинні бути червоного кольору, мати покажчики їхнього розташування, написи про призначення. Символи органів керування повинні відповідати вимогам державних стандартів «Органи керування виробничим устаткуванням. Позначення» та «Органи керування виробничим устаткуванням. Загальні вимоги безпеки».

Загальні вимоги до технологічного обладнання для приготування опари

Технологічне обладнання для приготування опари необхідно розташовувати в окремому приміщенні та відділяти від інших ділянок цеху капітальними стінами.

Відстань між габаритами обладнання повинно бути не менше 3 м, а між стіною та обладнанням - не менше ніж 1,2 м.

Перед пуском обладнання необхідно переконатися в надійності та справності огорож, надійності кріплення футерувальних плит і кришок люків бункера для борошна, готовності до роботи дозаторів води і дріжджового

розчину,

Під час роботи дозатора борошна не дозволяється прибирати можливі просипи борошна біля нього. Допускається влаштовувати проходи біля технологічного обладнання (дозатори борошна, води, дріжджового розчину, тістомісильні машини), захищені зверху і збоку металевою сіткою.

Дозатори борошна повинні бути обладнані аспіраційними системами з апаратами для очищення повітря.

Для проведення ремонтних робіт, підйому кришок люків в приміщенні цеху мають бути встановлені вантажопідйомні машини.

Експлуатація дозаторів борошна при несправних і відключених пиловловлюючих системах забороняється.

При зупинці обладнання на ремонт, огляд електродвигуни приводів тістомісильної машини і бункера для бродіння опари мають бути відімкнуті від електромережі, запобіжники вийняті з електророзподільних пристроїв, муфти роз'єднані, а на пускові пристрої вивішений заборонний знак безпеки з пояснюючим написом: «Не вмикати — працюють люди».

4.3. Пожежна безпека

На основі проведеного аналізу на підприємстві розробляється система заходів щодо попередження пожежі та протипожежного захисту технологічних процесів згідно з вимогами нормативних документів.

Хлібозаводи за пожежною безпекою належать до категорії В. У їх виробничих приміщеннях мають бути передбачені засоби для попередження вибухів, виникнення пожеж, для забезпечення їх гасіння, сигналізації. пожежного водопостачання, а також шляхи евакуації людей.

Технічні рішення системи запобігання пожежі.

Проектом передбачене наступне:

- всі елементи, які можуть у процесі роботи іскритися, встановлюються у вогнетривких шафах. Застосовуються іскрогасящі діоди;

- кабелі прокладаються на відстані 1 м від нагрітих поверхонь або захищаються екранами з неспалених матеріалів. Всі елементи кабельного господарства прокладаються в коробах, захисних трубах;
- при аварійних ситуаціях передбачене використання аварійного захисту, що відключає встаткування;
- для захисту від короткого замикання застосовуються плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі;
- для запобігання згоряння всі деталі й елементи виготовляються з неспалених і важко спалених матеріалів (в основному металеві конструкції).

Технічні рішення системи протипожежного захисту. Для виявлення початкової стадії пожежі, повідомлення про місце його виникнення й включення установок пожежогасіння відповідно до проекту застосовують наступні установки пожежної сигналізації на базі автоматичних пожежних оповіщувачів.

Установка електричної пожежної сигналізації відповідно складається з оповіщувачів - датчиків (у даному проекті - датчик комбінованого типу КМ-1, що реагує на дим і підвищення температури), встановлених у приміщеннях, що захищають, ліній зв'язку й прийомної станції СДПУ-1 з живленням від мережі змінного струму 220В встановлюваний у приміщенні щитової. У випадку виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів буде вироблятися оповіщення обслуговуючого персоналу й пожежної команди.

Приміщення обладнане первинними засобами пожежогасіння - вогнегасником 2БР2МА (вуглекислотний). При пожежі в електроустановках, які перебувають під напругою.

Для гасіння пожеж використається вода. Приміщення обладнане протипожежним водопроводом.

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Техніко-економічне обґрунтування запроєктованого варіанту системи автоматизації технологічного процесу формування та вистоювання хлібопродуктів

Перехід до ринкової економіки ставить перед підприємствами проблему економічної ефективності господарювання. Її вирішення вимагає проведення таких техніко-економічних заходів:

- підвищення якості продукції з одночасним зменшенням її собівартості і витрат на виробництво;
- введення нових прогресивних технологій, які б дозволяли знизити витрати матеріальних, сировинних та енергетичних ресурсів, підвищити продуктивність обладнання і технологічних ліній. Більш повно використовувати потужність підприємства, а як наслідок – підвищити обсяг виходу готової продукції;
- розширення асортименту виробів для покращення їх конкурентоспроможності; дана вимога особливо актуальна в умовах сьогоденного ринку збуту, коли на ньому з'явилося багато мініпекарень з широким нетрадиційним асортиментом виробів;
- покращення системи обліку та стандартизації готової продукції, сировини, напівфабрикатів, енергії, тощо;
- покращення системи взаєморозрахунків, що дозволило б прискорити обіг оборотних коштів;
- покращення умов роботи працівників;
- проведення заходів з автоматизації і механізації виробництва, що дозволить досягнути неперервності процесів виробництва, зменшити частку ручної праці, зменшити кількість браку;

- проведення робіт за напрямками науково-технічного розвитку і технічного переобладнання підприємства;
- проведення систематичного нагляду, поточного і капітального ремонтів обладнання.

На сьогоднішній день рівень автоматизації підприємства не дозволяє вирішити поставлених завдань. Велика кількість технологічного обладнання капітального ремонту або повної заміни, що передбачено в бізнес-плані на 2022 рік. Відсутність системи обліку не дозволяє повною мірою контролювати обсяги готової продукції, сировини і напівфабрикатів.

Проведення великої кількості операцій із застосуванням ручної праці зумовлює зниження якості продукції і наявність браку. Тому поряд із заміною обладнання доцільно здійснити заміну старої системи автоматизації, яка була по-будована на локальних регулюючих і контролюючих засобах, на нову систему з використанням сучасної мікропроцесорної техніки. Хоча нові мікропроцесорні засоби є дорогими, але завдяки їх багатofункціональному призначенню є можливість виключити проміжні прилади та здійснювати різні додаткові операції.

Застосування ЕОМ дозволить створити автоматизовану систему керування технологічними процесами, що дасть можливість слідкувати за якістю продукції протягом всіх стадій технологічного процесу, здійснювати дистанційне і логічне керування процесом.

Запроектвану систему можна віднести до взаємопов'язаної автоматизації закінчених технологічних процесів без перегляду технології.

Для техніко-економічного обґрунтування вибраної системи автоматизації використаємо дані підприємства, наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для порівняння варіантів

Показники	Умовне познач.	Одиниця вимірюв.	Варіант	
			базовий	запроектов.
Річна програма випуску продукції	Q	т	5380,6	5649,6
Термін використання КВП і А	T _{вик}	років	5	5
Кількість відмов КВП і А	N _{над}	%	3	0.5
Похибка КВП і А	P _{пох}	%	2,5	0,5
Чисельність робітників основних допоміжних	Ч _{осн} Ч _{доп}	людей	48	24
		людей	28	34
Вартість системи автомазації	K ₀	грн	94193,58	139161,87
Собівартість продукції	C	грн/т	469,54	465,48
Сума приведених затрат	K _{пр}	грн/т	474,49	470,18

5.2. Економічна ефективність автоматизації виробничих процесів

Введення нової системи автоматизації з використанням сучасної мікропроцесорної техніки дозволить зменшити собівартість продукції за рахунок наступних факторів:

- зменшення витрат сировини і матеріалів – введення в процес відповідних регуляторів дозволить більш точно проводити дозування сировини, уникнути втрат від розсипання борошна в процесі дозування, а як наслідок буде підвищуватися якість продукції і її вихід;
- зменшення браку відходів;
- зменшення витрат палива – введення регулятора співвідношення витрат „паливо-повітря” з корекцією за концентрацією кисню в димових газах дозволить оптимізувати витрату палива;
- збільшення продуктивності обладнання і процесу в цілому за рахунок зменшення використання ручної праці і досягнення більшої неперервності процесу;

- зменшення кількості обслуговуючого персоналу.

До недоліків нової системи автоматизації можна віднести залучення персоналу вищої кваліфікації, більшої кількості допоміжних робітників, а також незначне підвищення енергоємності.

5.2.1. Розрахунок капітальних затрат на автоматизацію

Одноразові капітальні витрати включають в себе вартість контрольно-вимірювальних і регулюючих приладів та засобів автоматизації, монтажних, будівельних і налагоджувальних робіт, втрати від ліквідації звільненої техніки.

Згідно заводських даних вартість виробів, апаратів, засобів автоматизації і приладів складає 109741,63 грн. транспортно-заготівельні витрати враховуються в розмірі 8 % від купівельної ціни засобів автоматизації і складають 8779,33 грн.

Витрати на монтаж системи автоматизації визначаються вартістю матеріалів, які витрачаються при проведенні монтажних робіт і витратами, пов'язаними з заробітною платою робітників. Згідно заводських даних витрати на монтаж системи автоматизації складають 2154,5 грн.

Вартість налагодження апаратури згідно даних підприємства складає 10 % купівельної вартості засобів автоматизації і становить 10974,16 грн.

Вартість будівельних робіт Ц_6 , пов'язаних з реконструкцією приміщень і влаштуванням фундаментів під щити, визначають за залежністю:

$$\text{Ц}_6 = V \cdot \text{Ц}_v \left(1 + \frac{C}{100} \right), \text{ де}$$

V – об'єм будівлі, який підлягає реконструкції; за проектом $V=25 \text{ м}^3$; Ц_v – ціна за 1 м^3 об'єму приміщення, що підлягає реконструкції; за даними підприємства $\text{Ц}_v = 195$ грн; C – витрати на роботи по опаленню, освітленню, каналізації. За даними підприємства ці витрати складають 10 %. Тоді вартість будівельних робіт рівна: $\text{Ц}_6 = 25 \times 195 (1 + 0,1) = 5362,5$ грн.

Витрати на санітарно-технічні роботи згідно даних підприємства становить 20 % вартості будівельних робіт і складають 1072,5 грн.

В хлібопекарному виробництві використовується багато допоміжних відділень (безтарного зберігання борошна, концентратів, тощо), для яких не потрібно застосовувати прилади високої точності, але необхідно знати основні параметри процесу. Тому в даних відділеннях доцільно використовувати звільнені засоби автоматизації і втрати від ліквідації звільненої техніки можна вважати рівними нулю.

Витрати на демонтаж існуючої системи автоматизації згідно даних заводу є рівними 50 % вартості монтажних робіт і чисельно складають 1077,25 грн.

Загальні капітальні витрати на впровадження запроєктованої системи автоматизації технологічного процесу випікання хлібопродуктів складуть:

$$\begin{aligned} Ц &= 109741,63 + 8779,33 + 2154,5 + 10974,16 + 5362,5 + 1072,5 + 1077,25 = \\ &= 139161,87 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Затрати на амортизацію становлять 25% від вартості засобів автоматизації

$$V_{\text{амор}} = 109741,63 \times 0,25 = 27435,4 \text{ грн в рік.}$$

Затрати на планові ремонти обладнання закладені у розмірі:

$$V_{\text{пл,рем}} = 6500 \text{ грн}$$

Отже, експлуатаційні витрати на автоматизацію котлоагрегатів становлять :

$$V = 27435,4 + 6500 = 33935,4 \text{ грн.}$$

5.3. Розрахунок виробничої потужності після автоматизації

Одним з показників за рахунок збільшення якого може бути оптимальний прибуток, є виробнича потужність.

Річну виробничу потужність обладнання неперервної дії можна визначити за формулою:

$$V = N \cdot n_r \cdot (T - T_0), \text{ де}$$

N – кількість однорідних апаратів; n_r – продуктивність одиниці обладнання за годину; T_0 – регламентовані зупинки одного апарата, годин; T – календарний час, годин.

Проведемо розрахунок виробничої потужності з використанням даних заводу і паспортних даних обладнання. Розрахунки зведемо в табл. 5.2.

Розрахунок виробничої потужності з використанням даних заводу і паспортних даних обладнання

Назва обладнання	Продуктивність, т/год	Час зупинки обладнання, год	Календарний час роботи, год	Річна продуктивність, т
Бункерний агрегат	0,625	480	8760	5475
Тістоподільувач	3,6	480	8760	29808
Конусний тістоокруглювач	0,6	480	8760	5968
Піч Gostol TP 3,0x12	0,65	480	8760	5380,6

Порівняно з базовим варіантом виробнича потужність зростає на 5 % за рахунок таких факторів:

- досягнення неперервності технологічного процесу;
- виключення використання ручної праці;
- зменшення часу регламентованих зупинок на ремонт за рахунок блочного принципу виконання приладів;
- підвищення продуктивності обладнання за рахунок перших двох факторів, а також за рахунок повного використання сировини і матеріалів;
- підвищення коефіцієнта виходу готової продукції;
- зменшення тривалості технологічного циклу;
- зменшення витратних коефіцієнтів сировини.

5.4. Розрахунок собівартості річного випуску продукції

Для проведення розрахунків собівартість запроєктованого і базового варіантів повинна визначатися за єдиною методикою при однакових цінах на сировину, матеріали, електроенергію, рівних обсягах виробництва. Тому з врахуванням різниці в річному випуску продукції розраховують додаткові капітальні вкладення з допомогою показника питомих капітальних вкладень за формулою:

$$K_d = \left(\frac{K_2}{Q_2} - \frac{K_1}{Q_1} \right) \cdot Q_2, \text{ де}$$

K_1, K_2 – капітальні вкладення відповідно в базовий і запроєктований варіанти;
 Q_1, Q_2 – річний випуск продукції відповідно в базовому і запроєктованому варіанті.

$$K_d = \left(\frac{13916187}{5649,6} - \frac{9419358}{5380,6} \right) \cdot 5649,6 = 40258,21 \text{ грн.}$$

Економію за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів розрахуємо за даними підприємства за формулою:

$$E_m = (V_1 C_1 - V_2 C_2) Q_2, \text{ де}$$

V_1, V_2 – обсяг сировини, матеріалів, які витрачаються на виробництво одиниці продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації; C_1, C_2 – відповідно ціна одиниці сировини, матеріалів.

За даними підприємства економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складає:

- економія за рахунок зменшення витрати борошна

$$E_1 = 89962,45 \text{ грн;}$$

- економія за рахунок зменшення витрати олії

$$E_2 = 1869,68 \text{ грн;}$$

- економія за рахунок зменшення витрати пресованих дріжджів

$$E_3 = 4795,6 \text{ грн;}$$

- економія за рахунок зменшення витрати солі

$$E_4 = 361,24 \text{ грн;}$$

- економія за рахунок зменшення витрати води

$$E_5 = 6758,72 \text{ грн.}$$

Загальна економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складе:

$$E_3 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = 103747,69 \text{ грн.}$$

Зміни у витратах на електроенергію розраховуються за даними підприємства за формулою:

$$E_e = (m_1 - m_2) C_2 Q_2, \text{ де}$$

m_1, m_2 – витрати електроенергії на одиницю продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації; Ц_2 – ціна одиниці енергії.

Тоді за даними підприємства

$$E_c = (0,018 - 0,0229) \times 5649,6 = -129,19 \text{ грн.}$$

Тобто, додаткові витрати на електроенергію складуть 129,19 грн. Необхідно зауважити, що витрати електроенергії зростають не за рахунок збільшення енергоємності обладнання, а із-за суттєвого розширення його бази.

Економію по заробітній платі робітників визначають у відповідності зі зміною чисельності основних і допоміжних робітників і їх середньорічної заробітної плати.

Визначимо явочну чисельність чергових слюсарів після введення нової системи автоматизації за формулою:

$$\text{Ч}_{\text{ячсл}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_i \cdot K_3}{\Phi_{\text{ч}}}, \text{ де}$$

N_i – кількість приладів даного типу, що підлягають обслуговуванню; t_i – норма часу на обслуговування одного приладу (приймається згідно даних підприємства); $\Phi_{\text{ч}}$ – тривалість робочої зміни (480 хвилин); K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує виконання незапланованих робіт ($K_3 = 1,1$).

Явочна чисельність чергових слюсарів буде рівною:

$$\text{Ч}_{\text{ячсл}} = \frac{(15 \times 15 + 23 \times 10 + 20 \times 1 + 120 \times 5) \cdot 1,1}{480} = 2,46 \text{ чоловік.}$$

Приймаємо явочну чисельність чергових слюсарів рівною 3. Тоді явочна чисельність чергових слюсарів за добу є рівною 9. Спискова чисельність чергових слюсарів є рівною 12.

За заводським розрахунком явочна чисельність слюсарів КВП і А є рівною 15 чоловік на добу. Спискова чисельність складає 24 робітники.

Для проведення розрахунку річного фонду заробітної плати складемо баланс робочого часу одного середньоспискового робітника:

Календарний фонд часу – 365 днів.

Вихідні дні – 91.

Номинальний фонд робочого часу – 274 дні.

Всього невиходи на роботу – 27 днів.

Ефективний час роботи – 247 днів.

Середня тривалість роботи одного робітника – 1927 годин.

Коефіцієнт перерахунку – $365/247 = 1.47$.

Згідно даних підприємства, на заводі застосовується чотирибригадний графік з тривалістю зміни 7,8 години.

5.5. Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників

Річний фонд заробітної плати визначають за штатним розписом і посадовими окладами. За даними підприємства річний фонд заробітної плати служби КВП і А складає: до введення автоматизації – 385458,69 грн, після введення автоматизації - 297483,15 грн.

Розрахуємо економію по заробітній платі за формулою:

$$E_3 = \frac{\Phi_{п1}}{Q_1} \cdot Q_2 - \Phi_{п2}, \text{ де}$$

$\Phi_{п1}$, $\Phi_{п2}$ – річний фонд заробітної плати відповідно до і після введення автоматизації; Q_1 , Q_2 – річний випуск продукції в натуральних одиницях відповідно до і після введення автоматизації.

Тоді

$$E_3 = \frac{385458,69}{5380,6} \cdot 5649,6 - 297483,15 = 107246,25 \text{ грн.}$$

5.6. Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

Річний економічний ефект визначаємо за формулою :

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{\text{заг}} - E_n * K ;$$

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \varepsilon_i - B ;$$

де $\varepsilon_{\text{заг}}$ - загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел;

ε_i - економія за рахунок і-го джерела (палива, енергії, зарплати);

$E_n * K$ - капітальні затрати на автоматизацію (згідно кошторису) ;

E_n - нормативний коефіцієнт ($E_n = 0.15$);

B - експлуатаційні затрати на автоматизацію.

Таким чином, $\epsilon_i = 210993,94$ грн. $B = 33935,4$ грн. $K = 139161,87$ грн.

$$\epsilon_{\text{заг}} = 210993,94 - 33935,4 = 177058,54 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект :

$$\epsilon_p = 177058,54 - 0.15 * 139161,87 = 156184,26 \text{ грн.}$$

Термін окупності визначимо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = K / \epsilon_{\text{заг}} = 139161,87 / 177058,54 = 0,786 \text{ року} = 287 \text{ днів.}$$

Коефіцієнт ефективності $\epsilon = \epsilon_{\text{заг}} / K = 1 / T_{\text{ок}} = 1 / 0,786 = 1,27$.

Річний економічний ефект від запровадження автоматизації даного технологічного процесу 156184,26 грн. Термін окупності – 0,786 року.

Таблиця 5.3

Основні техніко-економічні показники

№	Показник	Одиниці виміру	Величина	
			По проекту	По заводських даних
1.	Річний випуск продукції в натуральному вигляді	тони	5649,6	5380,6
2.	Витрати на автоматизацію	грн	139161,87	94193,58
3.	Собівартість	грн	465,48	469,54
4.	Річний економічний ефект	грн	156184,26	-
5.	Термін окупності	рік	0,786	-
6.	Коефіцієнт порівняльної ефективності		1,27	-

На основі проведених розрахунків можна стверджувати, що запровадження запропонованої системи автоматизації дає річний економічний ефект в сумі 156184,26 гривень, а термін окупності становить 0,786 року.

ВИСНОВКИ

На основі виконаних досліджень вирішено питання автоматизації технологічного процесу приготування опари в хлібопекарному виробництві і сформульовано такі висновки:

1. Основною ідеєю даного технологічного процесу є принцип приготування опари в циліндричних бункерах з конічними днищами. Він складається з двох неперервно діючих тістомісильних машин, одна з яких призначена для замісу опари, друга – для замісу тіста і бункера для бродіння опари в комплекті з приводом та шнековим живильником бункера для бродіння тіста перед тістоподільною машиною і дозувальною станцією води. Тістомісильна машина складається з корпусу, всередині якого розташований вал з лопастями, який приводиться в рух електродвигуном через редуктор і зубчасту циліндричну пару. Кут нахилу лопаток регулюється. Шнековим живильником опара подається по трубопроводу в опорний бункер, а з тістомісильної машини тісто подається в другий бункер, де продовжується процес бродіння перед наступною розробкою.

2. Технологічний процес приготування тіста опарним способом відбувається при температурах, що не перевищують 29...30 °С.

3. Аналіз технологічного процесу приготування тіста опарним способом показує, що основними об'єктами керування є ємність (силос) для зберігання борошна, живильний шнек подачі борошна, бункер для зважування борошна та тістомісильні машини для замісу опари і тіста.

4. Аналіз структурної схеми показує, що на вихідні величини, якими є рівень борошна в силосі L_c та температура T_c , впливають такі чинники: витрата борошна F_b ; початкова температура борошна T_b ; швидкість руху борошна V_b ; температура навколишнього середовища T_n ; геометричні розміри силосу S_b ; час перебування борошна в силосі T_{bc} .

Для живильного шнека вихідною величиною є витрата борошна $F_{бш}$ на яку впливають такі вхідні величини: витрата борошна із силоса F_{bc} ; швидкість

руху борошна V_6 ; частота обертання; геометричні розміри шнека $S_{ш}$; фізико-хімічні параметри сировини (вологість, температура, тощо); коефіцієнт шорсткості поверхні живильного шнека $K_{ш}$.

Вихідними величинами для тістомісильної машини є температура опари на виході з тістомісильної машини $T_{то}$ та витрата опари $F_{то}$.

На температуру опари на виході з тістомісильної машини впливають такі параметри: температура води $T_в$, борошна $T_б$ та дріжджового розчину $T_{др}$; Час знаходження опари в апараті τ_3 ; температура навколишнього середовища $T_{нс}$; коефіцієнт шорсткості поверхні $K_{ш}$; швидкість проведення замісу опари $V_{оз}$.

5. Функціональною схемою автоматизації передбачено такі контури регулювання: Регулювання температури в дозаторі води (При відхиленні температури від заданого значення в контурі передбачена її сигналізація); Регулювання рівня в ємності (силосі) для зберігання борошна (Воно здійснюється зміною витрати борошна в лінії його подачі. При відхиленні рівня від заданого значення в контурі передбачена його сигналізація); Регулювання рівня в дозувальній станції води (Регулювання здійснюється зміною витрати води. При відхиленні рівня від заданого значення в контурі передбачена сигналізація); Регулювання рівня в дозаторі дріжджового розчину (регулювання здійснюється зміною його витрати. При відхиленні рівня від заданого значення в контурі передбачена сигналізація). Функціональною схемою автоматизації передбачено також контроль температури і рівня в дозаторах води і дріжджового розчину, в тістомісильній машині, бродильному бункері.

6. Структура технічних засобів системи керування технологічним процесом приготування опари включає в себе первинні вимірювальні перетворювачі, вторинні показуючі та реєструючі прилади, виконавчі механізми та регулюючі органи, а також компактний малоканальний мікропроцесорний контролер "Реміконт Р-130".

Для забезпечення показу та реєстрації вибираємо прилад РП-160, який призначений для вимірювання, сигналізації, реєстрації сигналів напруги, постійного струму та неелектричних величин (рівня, температури, витрати), які

перетворюються в електричні сигнали або в активний опір. Компактний малоканалний мікропроцесорний контролер типу „Реміконт Р-130” представляє собою комплекс технічних засобів, які забезпечують вирішення задач автоматичного регулювання, логічного і неперервно-дискретного керування. „Реміконт Р-130” складається з блоку керування контролера БК-21 з пультом настройки ПН-21, засобів зв'язку з об'єктом і блоку живлення БП-21. Для формування сигналу завдання в контурі регулювання використовується алгоритм 07-ЗДН24-00-00. Через цей алгоритм підключається програмний задавач, а також підводиться сигнал від зовнішнього задавача. Для формування сигналу завдання в контурі регулювання використовується алгоритм 07-ЗДН24-00-00. Через цей алгоритм підключається програмний задавач, а також підводиться сигнал від зовнішнього задавача.

Оперативний контроль регулювання здійснює алгоритм 01-ОКО01-05 на входи якого поступають сигнали з алгоритмів 07-ЗДН24-00-00 ($Y_{здн}$) на вхід 01 ($X_{здн}$), з 05-ВАА07-06 вихідні сигнали Y_1 та Y_2 на входи відповідно 02 ($X_{вх}$). Крім цього алгоритм 01-ОКО 01-05 дозволяє ввести свою шкалу з допомогою входів 03 ($W 0 \%$) та 04 ($W 100 \%$).

З допомогою алгоритму 25-ИВА15-02, який перетворює сигнал контролера в послідовність імпульсів, вихідний сигнал поступає на елемент керування виконавчим механізмом ПБР-3М, який подає сигнал на виконавчий механізм. Виконавчий механізм діє на регулюючий орган, що призводить до зміни витрати води в дозатор.

Для здійснення сигналізації за регульованими параметрами використовують алгоритм зв'язку функціональних алгоритмів з апаратними засобами типу 06-ВАБ-08-01. Вимірювальні перетворювачі „Сапфір-22ДГ” живляться від блоків живлення 22БП-36, які в свою чергу живляться від мережі змінного струму 220 В. Далі сигнал вимірювання поступає на блок контролера БК-21/П-21. Для підключення дискретних входів-виходів контролера та блоку перемикачів використовують клемно-блочний з'єднувач КБС-22. Для підключення аналогових входних та вихідних сигналів використовують клемно-

блочний з'єднувач КБС-23. З резистивного давача температури вимірювальний сигнал поступає на блок підсилення сигналів резистивних давачів БУС-20, який живиться від блоку живлення БП-21. Для зміни положення регулюючих органів використані виконавчі механізми типу МЕО, на які подаються керуючі сигнали з імпульсних виходів регулятора. Для керування виконавчими механізмами використовують пускачі безконтактні реверсивні типу ПБР-3М.

7. Одним із контурів регулювання в технологічному процесі приготування опари є контур регулювання температури в дозаторі води, яка подається для замішування опари. З метою моделювання виберемо цей контур регулювання. Регулююча дія на об'єкт регулювання здійснюється зміною положення РО на трубопроводі подачі гарячої води. Задане значення регульованої величини - 27 °С. Крива розгону об'єкта регулювання, вихідною величиною якого є температура води на виході з дозатора води, отримана при зміні відкриття регулюючого органу (РО) на 10%.

8. Результати моделювання показують, що вимоги щодо якості процесу регулювання виконуються. Можна зробити висновок, що для заданих вимог до якості процесу регулювання в САР температури при даних збуреннях закон регулювання та параметри настроювання регулятора вибрані правильно.

9. Розроблено заходи з охорони праці та розраховано економічну ефективність від впровадження розробленої системи автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Л.М. Артюшин, О.А. Машков,Б.В. Дурняк,М.С. Сівов. Теорія автоматичного керування. — Львів: Видавництво УАД, 2004.
3. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації, Ч. 2 «Регулювальні і виконавчі пристрої»/А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2003.– 658 с.
4. Бабіченко А.К. Практикум з вимірювань та технічних засобів автоматизації / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, І.Л. Красніков та ін. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 114 с.
5. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, СЄ. Гранат, В.О. Ковальов. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
6. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
7. Когутяк, М. І. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / М. І. Когутяк. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ Факел, 2008. - 212 с. (Електронний ресурс, режим доступу: <http://194.44.112.13/chytalna/1367/index.html>)
8. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
9. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб./ За ред. проф. І.Ф. Малєжика. - К.: НУХТ, 2012.
- 10.Б.Б. Самотокін. Курс лекцій з теорії автоматичного керування. — Житомир: ЖІТІ, 1997.
- 11.Теорія автоматичного керування : Частина І : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 182 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/770>.
- 12.Теорія автоматичного керування : Частина ІІ : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 165 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2209>.
- 13.Ткачов В.В., Стаднік М.І., Шевченко В.І., Козарь М.В., Карпеко О.В. Технічні засоби автоматизації: Навчальний посібник. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – 142 с.
- 14.Control System Toolbox. User's Guide, The MathWorks, Release 2009b, 2009
- 15.Phillips C., Harbor R. Feedback control systems, Prentice-Hall, 2000, 658 p.