

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри АВП

к.т.н., доцент

_____ Олександр ДІДИК

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Розробка та дослідження системи автоматичного
керування виробництвом глазурованих цукерок»**

Виконав здобувач II курсу групи АК-24М
ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

_____ Сергій ОСТРОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник проекту

доцент, канд.техн.наук

_____ Олександр ДІДИК

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

_____ Іван САВЕЛЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“ ” _____ 2025 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Островського Сергія Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка та дослідження системи автоматичного керування виробництвом глазурованих цукерок

2. Керівник роботи Дідик Олександр Костянтинівич, канд. техн. наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 02.12.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Розробити та дослідити систему автоматичного керування виробництвом глазурованих цукерок 1. Огляд технології виробництва глазурованих цукерок; 2. Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі; 3. Проектування системи автоматичного регулювання; 4. Практична реалізація системи автоматичного регулювання.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Жесан Р.В.</i>		

Анотація

на випускню кваліфікаційну роботу студента групи АК-24М Островського Сергія Сергійовича зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» на тему: «Розробка та дослідження системи автоматичного керування виробництвом глазурованих цукерок».

Випускню кваліфікаційну роботу присвячено проблемі регулювання температури повітря при охолодженні глазурованих цукерок. В проекті виконано розробку структурної схеми системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі та обрані її елементи. Проведено дослідження стійкості системи автоматичного регулювання та визначені запаси стійкості. На основі розглянутого алгоритму синтезу оптимального регулятора визначена передаточна функція регулятора температури повітря. Для дослідження якості розробленої системи було проведено моделювання роботи САР температури повітря. На основі передаточної функції оптимального регулятора визначена цифрова передаточна функція та алгоритм програмної реалізації. Розроблена принципова електрична схема цифрового регулятора. Також в роботі розглянуті заходи з охорони праці.

Ключові слова: глазуровані цукерки, охолоджувальна шафа, система автоматичного регулювання, оптимальний регулятор.

Summary

on final qualification work of the student of group AK-24M Sergii Ostrovskyi on a speciality 174 «Automation, computer-integrated technologies and robotics» on the theme: «Development and research of an automatic control system for the production of glazed candies».

Master's thesis is devoted to the problem of regulation of air temperature during cooling of glazed chocolates. The project elaborated the structural diagram of the system of automatic control of air temperature in the cooling cabinet and selected its elements. The stability of the automatic control system was investigated and the stocks of stability were determined. Based on the considered algorithm of synthesis of the optimal controller, the transfer function of the air temperature controller is determined. To study the quality of the developed system, a simulation of the operation of ACS air temperature was carried out. Based on the transfer function of the optimal controller, the digital transfer function and the algorithm of software implementation are determined. The circuit diagram of the digital controller is developed. The work also examines the measures of labor protection.

Key words: glazed candies, cooling cabinet, automatic control system, optimal controller.

ЗМІСТ

Вступ.....	2
1 Огляд процесу виготовлення глазурованих цукерок	4
1.1 Класифікація та різновиди глазурованих цукерок	9
2 Створення структурної схеми системи автоматичного контролю температури повітря в охолоджувальній шафі	21
2.1 Структурна схема автоматизованого виробництва відлитих глазурованих цукерок.....	21
2.2 Регульований об'єкт	28
2.3 Підбір виконавчого пристрою	32
2.4 Підбір датчика	34
2.5 Блок-схема системи автоматичного керування	37
3 Розробка системи автоматичного керування	38
3.1 Аналіз стійкості системи автоматичного керування.....	38
3.2 Проектування системи автоматичного керування	41
3.3 Моделювання роботи системи автоматичного керування температури повітря в охолоджувальній шафі.....	49
4 Практичне впровадження системи автоматичного регулювання	55
4.1 Встановлення періоду дискретизації	55
4.2 Обчислення Z-перетворення передаточної функції регулятора	57
4.3 Характеристика принципової схеми регулятора	59
Висновки	71
Список літератури	72
Додаток А.....	75

Вступ

Кондитерська промисловість представлена великими висококомеханізованими підприємствами, технічне оснащення та організація потокового виробництва яких відповідають сучасним вимогам автоматизації. Актуальність і економічну доцільність автоматизації обумовлює складність технологічних процесів, що включають численні фізико-хімічні, фізичні, біохімічні, теплові та інші методи обробки сировини, напівфабрикатів і готової продукції, які потребують високої точності ведення процесів та оптимального режиму управління. Технологія виготовлення кондитерських виробів характеризується багатоступеневістю та значною складністю, нестабільністю асортименту та якості перероблюваної сировини, а також різноманітністю й непостійністю режимів на різних етапах виробничого процесу.

Кондитерські вироби поділяються на дві великі групи: борошняні та цукрові. До основних масштабних виробництв борошняних кондитерських виробів належать печиво, крекери, галети, пряники, вафлі, кекси, рулети, тістечка та торти; серед цукрових – карамель, цукерки, шоколад, какао-порошок, ірис, халва, мармелад, пастила та інші. Незважаючи на різноманітність продукції, процеси в обох групах мають багато спільного, наприклад, у послідовності технологічних операцій та конструкції обладнання. Приготування борошняних і цукрових виробів базується на наборі типових технологічних процесів, що формують відповідні виробництва.

Мета дослідження полягає у підвищенні якості виробництва глазурованих цукерок методом відливання шляхом створення системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі з використанням алгоритмів сучасної теорії управління.

Для реалізації поставленої мети дослідження були визначені та виконані такі завдання:

- .. провести аналіз об'єкта регулювання та встановити його динамічні характеристики;
- .. розробити структурну схему системи автоматичного регулювання;
- .. здійснити синтез оптимального регулятора температури повітря в охолоджувальній шафі;
- .. виконати оцінку якості роботи системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі.

Об'єктом дослідження є методи й алгоритми, спрямовані на покращення якості регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі.

Предметом дослідження є система автоматичного керування температурою повітря в охолоджувальній шафі.

Методи дослідження ґрунтуються на принципах сучасної теорії управління, математичної статистики, теорії випадкових процесів та спектрального аналізу. Для оцінки якості системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі та перевірки ефективності запропонованих підходів застосовувалося імітаційне моделювання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що визначена структура та параметри оптимального регулятора дають інженеру-конструктору змогу приймати рішення без проведення повторних розрахунків.

1 Огляд процесу виготовлення глазурованих цукерок.

Цукерки – це солодкі кондитерські вироби, виготовлені з однієї або кількох цукеркових мас, що відрізняються формою та смаком. Вони належать до великої групи виробів на цукровій основі з різними начинками.

Більшість цукерок характеризується м'якою та ніжною консистенцією, приємним ароматом і тонким смаком, легко засвоюється організмом. Вони мають високу енергетичну цінність, особливо жирні сорти (364–552 ккал/100 г), тому їх споживання слід обмежувати. Харчова цінність цукерок залежить від складу на 100 г продукту:

* вуглеводи – від 53,6 г (глазуровані з кремовим корпусом) до 83,6 г (неглазуровані з помадним корпусом);

* жири – від 4,3 г (неглазуровані з молочним корпусом) до 35,0 г (типу «Асорті»);

* білки – від 1,6 г (глазуровані з фруктовим корпусом) до 7,5 г (глазуровані з кремовим корпусом).

Головними компонентами для виготовлення цукерок є цукор, патока, какао-продукти, горіхи, жири та інші інгредієнти, які істотно впливають на споживчі властивості кінцевого продукту.

Виробництво різних груп і окремих видів цукерок має свої специфічні особливості та проводиться на відповідних технологічних лініях. Водночас можна виділити загальні етапи технологічного процесу: приготування цукеркових мас, формування корпусів, обробка поверхні, загортання, фасування та пакування.

Приготування цукеркових мас для більшості видів передбачає уварювання цукрово-патокових або інших сиропів, іноді з подальшим їх збиванням. Багато цукеркових мас також потребують механічної обробки сировини, такої як подрібнення, розтирання, змішування тощо. Детальні особливості обробки наведені у характеристиках відповідних груп цукеркових виробів.

Цукеркові маси, що містять молочні білки та цукри, під час теплової обробки набувають характерного смаку, аромату та кольору завдяки реакції Майяра (неферментативне потемніння, або утворення меланоїдинів). У результаті взаємодії аміногруп із α -гідроксикарбонільною групою відновлювального цукру утворюється багато летких і нелетких сполук, а також полімерів. У харчових продуктах реакція Майяра є джерелом низькомолекулярних сполук, що формують смак і аромат, та високомолекулярних сполук, що забезпечують колір продукту. У складі цукерок можна виділити різні продукти цієї реакції, зокрема: 2-метилбутаналь, 2,3-пентадіон, оксалат-3-он, 2-метил-оксалан-3-он, метіональ, похідні фуранів (2-пропілфуран, фурфурол, фурфуриловий спирт, 2-ацетилфуран), заміщені піразини та піроли, а також бензальдегід, мальтол і етил-мальтол. Швидкість реакції найбільша при 120–150°C, але вона відбувається і при низьких температурах близько 20°C, а іноді навіть при 0°C, причому прискорюється за наявності вологи в продукті. Внаслідок цього постійно утворюються леткі сполуки.

У процесі виробництва цукерок застосовують порошкоподібні наповнювачі, такі як сухі молочні продукти, какао-порошок або терте какао, фруктово-ягідні підварки та інші смакові або функціональні добавки.

Корпуси цукерок формують різними методами, найбільш традиційним з яких є відливання помадних, фруктових, лікерних, молочних та збивних мас у комірочки кукурудзяного крохмалю з вологістю 6–7 %. Після охолодження отримують тверді цукеркові корпуси, які потім звільняють від крохмалю. Основними недоліками цього методу є велика витрата крохмалю, складність його видалення з корпусів, підвищений брак через осипання крохмальних форм та тривалість процесу вистоювання.

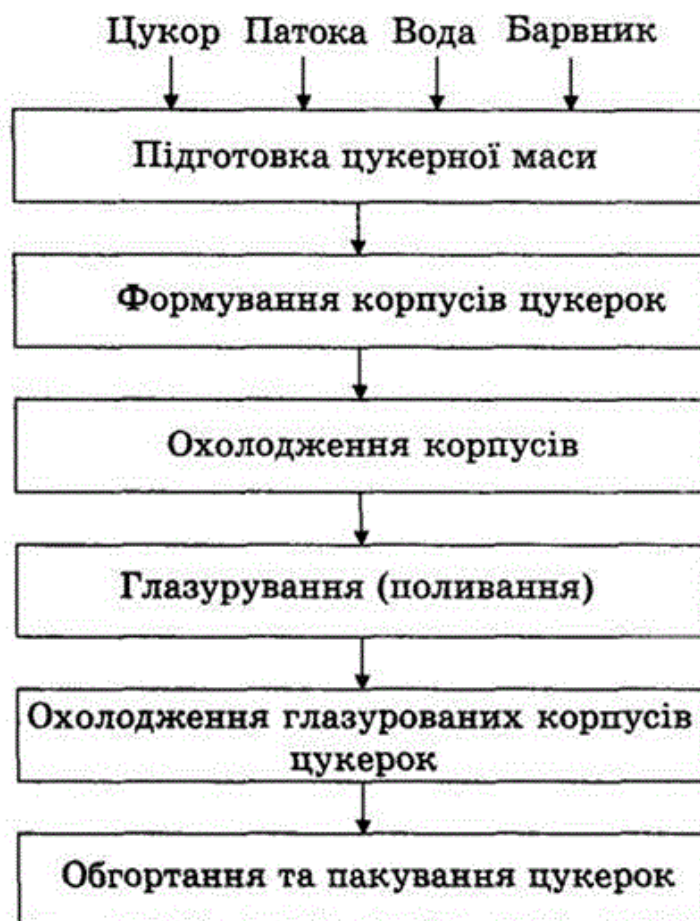


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу виготовлення глазурованих цукерок

Метод формування шляхом випресовування є більш економічним і застосовується для пралінових, шоколадно-пралінових та деяких видів помадних мас. Маса з формувального преса виходить у вигляді безперервних стрічок або джгутів круглого чи прямокутного перетину. Щоб надати джгутам більшу міцність, їх охолоджують, у результаті чого температура знижується з 28 до 19°C, і значна частина тригліцеридів кристалізується.

Методом відсаджування формують кремові, пралінові та вершковопомадні маси з високою в'язкістю, що дозволяє отримувати цукерки куполоподібної форми з рівною або рельєфною поверхнею.

Методом розмазування та різання переважно виготовляють багат шарові цукерки та вироби на вафельній основі. Цей спосіб дозволяє

застосовувати цукеркові маси з підвищеною в'язкістю, тобто з нижчою температурою.

Формування методом розкочування та нарізання застосовується для цукеркових мас густої консистенції, наприклад, грильязних.

В країнах ЄС у кондитерському виробництві застосовується одноопераційна технологія (One Shot method). Її принцип полягає в заміні послідовного виконання операцій на паралельне. За цим методом шоколадна оболонка та начинка виготовляються переважно одночасно на двох вузлах машини.

Обробка поверхні передбачає нанесення глазури, посипання декоративними матеріалами та інші види оздоблення.

Нанесення глазури на корпуси покращує споживчі властивості цукерок, запобігає їх висиханню та вбиранню вологи. Основними видами глазури є шоколадна та кондитерська.

Шоколадна глазур може виготовлятися на основі какао тертого (43,2 %) та какао-масла (11,6 %), з частковою заміною цих компонентів кондитерським жиром (3–5 %), на какао-порошку (32,5 %) без вмісту какао-масла, а також із заміною какао-масла шокліном або іншими замінниками (15,9 %).

Згідно з новою технологією НДІ кондитерської промисловості передбачено виготовлення шоколадної глазури із застосуванням напівфабрикату на жирах-замінниках какао-масла нелауринової групи (наприклад, типу «Акомел»), які не потребують темперування. Ступінь подрібнення такої глазури перевищує 92 %.

Шоколадно-молочну глазур виготовляють із какао тертого (17 %), какао-масла (23,3 %) та сухого молока (15,7 %). Жир шоклін отримують шляхом кристалізації та переестерифікації пальмової олії, а жир коберін має схожі властивості. При температурі 20 °С ці жири мають тверду крихку структуру, а при 32,5–34,5 °С повністю розплавляються. Оскільки вони

поліморфні, глазур з такими жирами потребує ретельного темперування, щоб уникнути посивіння поверхні виробів.

У шоколадній глазури як цукрозамінник можна використовувати ядра виноградного насіння у кількості 6–15 %.

Шоколадна глазур, оброблена водорозчинними сумішами сироваткового білка, має кращі споживчі властивості порівняно з іншими видами глазури.

Кондитерська глазур виготовляється на основі кондитерського жиру (33,4–36,4 %) із додаванням різних компонентів у таких пропорціях, %: какао тертого – 10 та смаженої молотої сої – 11; або какао-масла – 10,2 та молотої какаовели – 10,8; або какао-порошку – 2, какаовели – 11,1 та дезодорованого соєвого борошна – 5.

Удосконалений метод приготування кондитерської глазури включає охолодження готової маси до 35–40 °С із подальшим додаванням інкапсульованого ароматизатора.

Глазур, виготовлена на основі жирозамінника Ертікоат-М51 із додаванням виноградного насіння, характеризується більш збалансованим мінеральним і жирно-кислотним складом у порівнянні з глазури, зробленою лише на одному виді жиру.

Глазурування проводять у спеціальній машині: добре темперовану шоколадну глазур подають при температурі 30 °С, а кондитерську — при 37–40 °С. Цукеркові корпуси укладають на сітку транспортера, де в камері на них безперервно ллється глазур, а надлишок видувається повітряним потоком від вентилятора. Нижня частина цукерок покривається глазури за допомогою обертових валиків. Для затвердіння глазури цукерки переміщують у охолоджувальні камери з температурою 8–10 °С, де протягом 5–6 хвилин вони набувають придатності до загортання або пакування. Для деяких видів глазури цукерок передбачене додаткове обсипання вафельною крихтою, цукровим піском, цукровою пудрою, какао-порошком, шоколадною крупкою та іншими оздоблювальними матеріалами.

Загортання цукерок надає виробам привабливого вигляду, запобігає їх висиханню та зволоженню, а також захищає від забруднень. Для цього використовують етикетки з парафінованого паперу, целофан, фольгу або парафіновану підгортку. Залежно від способу запаковування кінців зовнішньої обгортки застосовують різні види загортки: скручування (вперекрутку), натягування (взтяжку, наприклад для трюфелів), загортання кінців етикетки в куток, обтяжку з формуванням складок на кінцях обгортки (переважно у фольгу), а також метод флоу-пак.

1.1 Класифікація та різновиди глазурованих цукерок

Асортимент цукерок відрізняється великою різноманітністю і може класифікуватися за різними ознаками.

- За способом виготовлення та рецептурою цукерки класифікують на: неглазуровані; глазуровані, повністю або частково покриті глазур'ю; шоколадні з начинками; відформовані з шоколадної або кондитерської маси з начинками або без них, різної форми та з рельєфними малюнками на поверхні; у цукровій пудрі.

- Поверхня цукерок може бути повністю або частково покрита різноманітними оздоблювальними матеріалами, такими як какао-порошок, цукрова пудра, горіхова чи вафельна крихта, шоколадна крупка, цукеркові маси, фрукти тощо.

За типом зовнішнього оформлення цукерки бувають: загорнуті повністю; частково загорнуті; незагорнуті; у капсулах або філейках; у корексах із полімерних чи інших матеріалів; а також відформовані у фольгу чи полімерні обгортки.

За складом і типом цукерки поділяють на такі групи: з однієї цукеркової маси (помадні, фруктові, молочні, пралінові, желейні, кремові, збивні, лікерні, грильяжні, типу нути та ін.); з двох або більше мас із комбінованими корпусами; цукерки з перешарованими масами або вкриті

вафельними листами; вироби з шоколадними шарами; із заспиртованими плодами чи ягодами; а також з додаванням горіхів, цукатів тощо.

До важливих критеріїв класифікації цукерок також належать рецептурний склад і здатність зберігатися (масові, десертні чи роздрібні), розмір (великі — до 30 шт./кг, середні — до 90 шт./кг, дрібні — понад 90 шт./кг), спосіб реалізації (штучні, вагові, фасовані в коробки або пакети) та форма (прямокутні, куполоподібні, кулеподібні, а також фігурні різної тематики, наприклад морські раковини, морські коники тощо).

Цукерки, покриті шоколадною глазур'ю, відрізняються високими споживчими властивостями, користуються стабільним попитом і випускаються у дуже широкому асортименті. Різноманіття асортименту визначається типом цукеркових мас і доданими поліпшувачами. Шоколадна глазур надає виробам характерного блиску, забезпечує достатню твердість із легкою плавкістю на зломі, а також приємний смак і аромат.

Цукерки з помадними корпусами виготовляють із помадних цукеркових мас, які готують шляхом уварювання рецептурної суміші з подальшим збиванням, темперуванням і формуванням. Перспективним напрямком у виробництві помадних цукерок є застосування порошкоподібних цукрових напівфабрикатів, що можуть мати різний склад: цукрово-патокові, цукрово-молочні, цукрово-глюкозні, суха патока та інші. Залежно від хімічного складу та способу отримання ці напівфабрикати можуть мати кристалічну, аморфно-кристалічну або аморфну структуру, а розмір частинок не перевищує 20 мкм. Виробництво цукерок із таких напівфабрикатів передбачає змішування цукрової пудри з іншими рецептурними компонентами, підготовленими у вигляді рідкої фази при температурі 20–40°C, з утворенням помадної маси, яку потім формують методом випресовування, глазурують, загортають і упаковують.

Помада являє собою однорідну дрібнокристалічну пластичну гетерогенну масу, що включає тверду та рідку фази. У складі помади

присутні дрібні повітряні бульбашки, які надають їй легкості та об'ємності, а цукровій помаді – білий колір.

Цукрова помада виготовляється з цукру (83,7 %) та патоки. Для різних видів цукерок додають специфічні поліпшувачі: терті цукати — для «Пілот», морквяний сік — для «Рум'яні щічки», смажений подрібнений арахіс, какао-порошок та сливова настоянка — для «Мулатка», какао-продукти, ванілін і коньяк — для «Хід королеви», какао-порошок, ванілін і коньяк — для «Шахова королева», кокосовий ароматизатор — для «Стріли Купідона», коньяк — для «Капучіно», какао-порошок і коньяк — для «Горіхове молочко», какао-продукти — для «Футбольні». Масова частка глазури у цих цукерках становить 25 %. Корпус цукерок «Вуаля» поліпшений додаванням коньяку та ароматизаторів лікерів: «Куантро», «Бейліз», «Піна-Колада», а термін придатності сягає 5 місяців. Цукерки «Візит» виробляють з додаванням цикорію.

Процес кристалізації цукрози залежить від кількості доданого Р-циклодекстрину. Додавання 0,5–0,75 % Р-циклодекстрину до цукрової маси скорочує латентний період кристалізації, тоді як 1 % навпаки подовжує його і загальну тривалість кристалізації. Застосування Р-циклодекстрину покращує дисперсність помадної маси, виготовленої за традиційною технологією, та надає стабілізуючий ефект під час рекристалізації цукрози при темперуванні помадних мас.

Згідно з літературними джерелами, використання підварки цукрового буряка покращує фізико-хімічні та органолептичні властивості помадних цукерок і підвищує їхню харчову цінність.

Глюкозну помаду виготовляють із додаванням кристалів глюкози для затравки, а в ролі антикристалізатора застосовують пектиновий концентрат у кількості 20–30 % від маси сухих речовин сиропу. Він сприяє швидшому загущенню маси та підвищує її харчову цінність.

Розроблені цукерки збагачені тригалоною (понад 60 %) та містять додаткові цукри, такі як глюкоза, фруктоза, мед, мальтоза, цукроза, лактоза

або мальтотріоза. Крім того, у них додають какао-продукти, чай, каву, лікарські рослини та інші компоненти.

Молочну помаду готують із додаванням 303,4 кг/т згущеного молока, що забезпечує їй підвищену харчову цінність та кремовий відтінок. Вона використовується як основа для виготовлення цукерок «Сонечко». Вершкове масло покращує споживчі властивості цукерок «Дітям» і «Любимі», а для «Загадки» додають какао-терте, подрібнене смажене ядро горіха та цитрусову підварку; для цукерок «Лускунчик» — какао-порошок і терте ядро соняшника. Цукерки «Сонечко» мають куполоподібну форму, інші — прямокутну або овальну; «Дітям» — дрібні, а «Любимі» — великі за розміром. До молочної помади у цукерках «Креолка» додають шоколадно-желейну масу, у «Золотий дощ» — коньяк, у «Калину червону» — ягідну підварку. Цукерки «Парижанка» (ванільно-вершкові з пряженим молоком) виготовляють із молочної помади, збагаченої какао-порошком, ягідною настоянкою на спирті та вершковим маслом, відповідно до назви виробу.

Цукерки «Помадка з медом» складаються з однорідної молочної маси з додаванням натурального меду. Вони відзначаються кремовим кольором та приємним, збалансованим смаком і ароматом.

Було створено цукерки з додаванням згущеного молока, морквяної підварки, коньяку та лимонної кислоти. Використання морквяної підварки підвищує їх харчову цінність та покращує органолептичні характеристики.

Цукерки з вершкової помадної маси за складом близькі до молочних помадних цукерок. Наприклад, до рецептури цукерок «Фантазія» входять згущене молоко, вершкове масло, смажене горіхове ядро та мелена кава. Цукерки «Медові палички» мають двошаровий корпус: перший шар — вершкова помада з додаванням смаженого подрібненого арахісу, натурального меду та інших компонентів, другий шар — мармеладний.

Створено цукерки з помадним корпусом, до складу якого входить сухий плавлений сир (10–20 %), отриманий методом розпилювального сушіння. Це надає виробам підвищену біологічну цінність.

Помаду крем-брюле готують із молочного сиропу, який піддають томлінню. У процесі цукро-амінних реакцій маса набуває коричневого кольору та характерного приємного смаку й аромату. Продуктами реакції Майяра є аліфатичний 4-метил-2,3-пентадіон, похідні фурану, заміщені піразини, піроли, тіазоли та інші сполуки. Деякі з цих речовин збільшуються вмістом під час зберігання, а частина високомолекулярних сполук проявляє сильні антиоксидантні властивості.

Найкращий склад корпусу мають цукерки «Вечір», що включають шоколадну глазур, какао-порошок і сухі вершки. З підвищеним вмістом згущеного молока та вершкового масла виготовляють цукерки «Аеліта» та «Васильок». Какао-порошок покращує споживчі властивості цукерок «Аеліта» та «Елегія», комбінація какао-порошку і цитрусової підварки – цукерок «Ластівка», а терте смажене горіхове ядро – «Васильок». Цукерки «Аеліта» мають куполоподібну форму та обсипані какао-сумішшю. У складі цукерок «Ромашка» – згущене молоко, вершкове масло, какао терте, какао-масло, какао-порошок, коньяк та ароматизатори «ванільний» і «ромовий». Цукерки «Корівка-красуня» містять помадну начинку типу «варене згущене молоко».

Фруктова помадна маса відзначається високим вмістом вуглеводів, а завдяки додаванню фруктово-ягідних напівфабрикатів набуває приємного смаку. Рецептури цукерок «Полуничні», «Вишенька» та «Цитрон» передбачають використання відповідних підварок або пюре. До складу цукерок «Чарівник» входить яблучний порошок як нетрадиційний інгредієнт. Вміст шоколадної глазури у більшості видів цукерок становить 24–25 %. У цукерках «Горішок» фруктова помада виготовляється з додаванням арахісу, какао-порошку, яблучного пюре, молочного маргарину, спирту та ароматизаторів «арахісового» і «ванільного» типу. Фруктова помада цукерок «Золота ера» включає спирт і мандаринову підварку.

Корпуси цукерок «Весна», «Кавові» та «Левкой» виготовляють із суміші цукрової та молочної помади, до складу якої входять мандаринова

підварка, кавова паста з вершковим маслом, а також гарбузова підварка та напій.

Для виготовлення корпусу цукерок «Молодіжні» використовують рівні пропорції цукрової та фруктової помади з додаванням 10 % шоколадної глазури. Рецептатура передбачає молоко згущене, яблучне пюре, рослинні жири, спирт та ароматизатори «ром» і «ваніль».

Для помадних цукерок створено ферментовані оцукрені зернові продукти, що мають покращені дієтичні та органолептичні властивості. Використання β -каротину застосовано у виробництві цукерок «Помадна».

Цукерки, приготовані з фруктової підварки, згущеного молока, патоки та вершкового масла, містять переважно зв'язану вологу, що повільно втрачається під час зберігання, завдяки чому вони тривалий час зберігають приємну консистенцію.

Цукерки з фруктовим та фруктово-желейним корпусом виготовляють на основі різних пюре: для Абрикосових, Літо, Цирк та Південна ніч – яблучного й абрикосового; для Слива – яблучного та сливового; для Сливового листя – сливового; для Смородинки – яблучного та чорносмородинового. Споживчі якості цукерок Цирк покращуються завдяки додаванню вишневої підварки та протертого чорносливу. У рецептурі Південної ночі використовують вишневу підварку та ароматизатори «вишневий» і «ванільний». Вологість більшості фруктових корпусів становить (16 ± 3 %), через що вони легко деформуються під час транспортування.

У рецептуру цукерок можуть додавати інжир як у вигляді дрібних або великих шматочків, так і у формі пасти.

Запропонований метод виготовлення глазурованих цукерок передбачає використання сушених фруктів і ягід. Фрукти варять одночасно з просочуванням у 70–80%-му цукровому сиропі при температурі 105–115°C протягом 10–20 хвилин. Після відділення від сиропу плоди підсушують до вологості 20–30 % та подрібнюють до розміру 1–11 мм. Одночасно з

формуванням корпусу всередину додають смакові добавки. Корпуси надають форму циліндричних таблеток. Перед вистоюванням їх обробляють кварцевою лампою протягом 10–20 хвилин для бактерицидного ефекту. Вистоювання проводять на повітрі 12–36 годин за температури 14–25°C та відносної вологості повітря не вище 75 %, до досягнення залишкової вологості 11–28 %. Готові цукерки складаються з формованого корпусу з сухофруктів, очищеного ядра горіха та шару глазури.

Цукерки «Маркіза» виготовляють на основі фруктової підварки з додаванням смаженого арахісу та маргарину, покривають шоколадно-молочною глазур'ю. Цукерки «Желейка» – це желейні цукерки зі смаком абрикоса.

Цукерки з фруктово-желейними корпусами виробляють на основі желюючих речовин з додаванням фруктово-ягідних напівфабрикатів, а для деяких видів – ще й алкогольних напоїв. Так, на агарі випускають цукерки «Цитрусові», на агароїді – «Жигулі» та «Малинка», на яблучному пектині – «Ягідка», на цитрусовому пектині – «Рубін», а на желатині – «Сонячна долина». Деякі рецептури містять нетрадиційні інгредієнти: вакуум-сусло для «Сонячної долини» та концентрований виноградний екстракт для «Рубіна». Вологість фруктово-желейних корпусів коливається в межах 18-28 %. На агароїді без фруктово-ягідних добавок виготовляють цукерки «Аркадія», які належать до желейних.

На ринок пропонуються кілька варіантів цукерок «Желейна», які представляють собою м'яке фруктове желе з різними додатками та покриті шоколадною глазур'ю. У більшості видів використовується сироп із сухофруктів із додаванням лимонної кислоти та агар-агару. До складу окремих видів додають ізіум («Желейна з ізіумом»), ядра волоського горіха («Желейна з горіхом») або комбінацію волоських горіхів і ізіуму («Асорті желейна»).

Цукерки «Чарівна ніч» виготовлені на основі желатину з додаванням какао-порошку, рослинного жиру та ароматизаторів («Ірландські вершки»,

«Ром»). Вміст поживних речовин становить: жири – 12 г/100 г, білки – 2 г/100 г, вуглеводи – 75,7 г/100 г.

Місячна соната «Харків'янка» виготовляється на основі желатину з додаванням цукру, патоки, рослинної олії, сухого знежиреного молока, какао-порошку та ароматизатора «Ірисо-вершковий». За харчовими властивостями ці цукерки близькі до «Чарівної ночі».

Цукерки великого розміру «Ріпка» виробляють із білково-збитої желейної маси, до якої додають полуничну начинку.

Запатентовані желейні маси виготовляють із застосуванням комплексу загущувачів — желейного крохмалю та агару. Спочатку желюючий крохмаль змішують із цукром-піском, розчиняють у воді та залишають для повного набухання і клейстеризації. Потім у сироп вводять агар і нагрівають суміш до 108–110°C при постійному перемішуванні. За 2–3 хвилини до завершення додають патоку. Далі масу продовжують уварювати при 114–115°C до досягнення 76–78 % сухих речовин, після чого охолоджують до 80–85°C. Готові вироби відзначаються високою якістю та тривалим терміном придатності.

Розроблено рецептуру фруктово-желейних цукерок на основі очищеного порошку обліпихового шроту, де до 25 % яблучного пюре замінюється цим порошком.

Фруктові та овочеві порошки збагачують кондитерські вироби харчовими волокнами, мінералами, органічними кислотами та вітамінами, одночасно зменшуючи їхню енергетичну цінність і виконуючи роль біологічно активних добавок.

Запатентовано жувальні шипучі цукерки у формі плиток, що складаються з двох шарів тягучих жувальних мас на основі сиропу: один шар містить кислоту, інший — луг. Між ними розташовується ізолюючий прошарок на жировій основі, наприклад, шоколадна глазур. Вологість таких плиток становить близько 15 %. Як жувальний компонент використовують нугу, марципан, фруктові пасти, маршмелоу або подібні маси.

Застосування желатину у виробництві жувальних цукерок ґрунтується на його властивості створювати та стабілізувати піноподібну структуру. Завдяки желатину масу можна насичувати повітрям, оскільки він формує оболонки навколо бульбашок і рівномірно розподіляє їх, що забезпечує м'яку консистенцію продукту. Гідрофільні властивості желатину дозволяють утримувати воду в напівтвердій структурі, запобігаючи виділенню вологи (синерезису) та зберігаючи оптимальну вологість виробу. Крім того, желатин завдяки своїй емульгуючій здатності сприяє рівномірному розподілу жиру в цукровому сиропі. Його кількість у рецептурі може варіюватися від 0,1 до 2 % залежно від бажаної м'якості та жувальних властивостей цукерок. Переважно використовують желатин із низькою желуючою міцністю — 80–180 г за шкалою Блюма.

Цукерки з молочними корпусами виготовляють із суміші цукру-піску, патоки та згущеного молока, до якої для окремих видів додають вершкове масло (Зоряка, Молочні пляшечки), фруктово-ягідні напівфабрикати (Абрикотін, Магнолія), какао-порошок, спирт або вино (Естрадні). Вологість таких корпусів становить 10–16 %. Корпус цукерок Молочні пляшечки має вигляд тягучої молочної маси з тонкою зацукреною скоринкою. Цукерки Зоряка випускають у формі мигдалю, Абрикотін — у вигляді трикутника, а Магнолія — куполоподібної форми.

Для виготовлення цукерок використовують нетрадиційну сировину. Наприклад, цукерки Райдуга створюють на основі знежиреного молока з додаванням ядра горіха, Пейзаж — із яблучною пастою, Осіннє поле — з морквяними цукатами, Вимпел — із набряклим крохмалем, Хуторянка — з арахісом і гарбузовою підваркою, Юлія — з арахісом і морквяним соком, Березовий гай — із порошком яблучним і яечним білком, а Лотос — із яблучно-пектиновою пастою та сухим молочним продуктом.

Оригінальні добавки містяться у складі різних цукерок: у Айвових використовується айвова паста, у Садових — концентрований яблучний сік, у Лілії — бурякова підварка, у Рубіні — концентрований виноградний

екстракт, а в Луцьких — пюре калини. Крім того, до кожного фруктово-желейного корпусу додають смажене ядро ліщини.

Молочні цукерки Кальцимілк збагачені кальцієм і рекомендовані як додаткове джерело цього мінералу. У 100 г продукту міститься 21,6–23,7 г білків, 38,7–40,5 г вуглеводів і приблизно $4,6 \pm 0,7$ г кальцію.

Перспективним методом підвищення якості та подовження терміну зберігання молочних цукерок є введення до їх рецептури поверхнево-активних речовин.

Створено пресовані молочні цукерки, до складу яких входять сухе молоко, лактоза, барвники, ароматизатори, а також комплекс мікроорганізмів — ацидофільних, біфідо- або молочнокислих бактерій у мікрокапсульованій формі.

Запропоновано застосовувати згущене молоко з цукром, у якому 70 % лактози гідролізовано за допомогою ферментного препарату β -галактозидази. Це дозволяє підвищити стабільність маси під час зберігання, хоча показник активності води у зразках поступово збільшується.

Цукерки з лікерними корпусами складаються з тонкої оболонки, утвореної дрібними кристалами цукрози, всередині якої міститься насичений цукровий розчин із додаванням алкогольних напоїв та різних наповнювачів. Такі вироби вирізняються приємним смаком, ароматом і привабливою консистенцією.

Багато сортів цукерок містять фруктово-ягідні напівфабрикати, такі як Абрикосовий лікер, Вишневий лікер і Полуничний лікер. У складі корпусу цукерок Запорожець за Дунаєм використана підварка з чорної смородини, а для Старого замку — сливове пюре. Вміст шоколадної глазури у цукерок Полуничний лікер становить 30 %, у інших видів — 35–37,5 %, а масова частка вологи коливається від 19 до 25 %. Покращений склад корпусу цукерок Місячні без алкоголю на 1 т продукції включає: молоко згущене — 347,4 кг, полуничну підварку — 34,75 кг та яблучну підварку — 25,2 кг.

ТМ Бісквіт-шоколад (Харківчанка) випускає серію шоколадних цукерок Нектарів: Абрикосовий, Вишневий, Полуничний та Чорносмородиновий. Для їх виготовлення використовують шоколад для формування корпусу, а також цукор, патоку, відповідне фруктове пюре, спирт, лимонну кислоту та ароматизатори. Термін зберігання цих цукерок становить 90 діб.

Цукерки Монте Кристо – Вишня в шоколаді мають рідкий лікерний корпус і містять вишню без кісточки.

Цукерки Горобинка – глазуровані шоколадною глазур'ю (22,5–23,5 %), з фруктовим лікерним корпусом, який містить патоку, горобинове пюре, спирт, лимонну кислоту, ароматизатор «Журавлина» та цукор-пісок.

Назви цукерок Кавовий лікер, Медовий лікер та Молочний лікер відображають смакові наповнювачі виробів. У корпус цукерок Шоколадні пляшечки з лікером входить значна кількість коньяку та спирту, тоді як цукерки Мідний вершник містять спирт, коньяк і портвейн.

Баварські кондитери створили білі трюфелі з пивною начинкою, які користуються високим попитом серед споживачів.

Цукерки з кремовими корпусами виготовляють із мас, що утворюються шляхом збивання або змішування шоколадних, пралінових чи помадних мас з жирами та ароматизаторами. Деякі кремові маси мають ніжну, повітряну структуру завдяки рівномірно розподіленим у масі дрібним повітряним бульбашкам. Завдяки збалансованому складу та структурі такі цукерки відзначаються високою енергетичною цінністю, легко засвоюються та належать до десертних виробів вищих сортів.

До складу більшості цукерок входять какао-продукти. Високий вміст какао тертого спостерігається у цукерках Трюфелі, Трюфелі екстра та Весільна. Органолептичні якості цукерок Трюфелі покращує 15 % какао-масла, тоді як у Трюфелі екстра та Весільна для цього використовують 19 % вершкового масла.

Цукерки типу Трюфелі готують із маси, створеної за такою технологією: спочатку рецептурну кількість жиру збивають протягом 3–5 хвилин при температурі 18–22°C, потім додають шоколадну масу з температурою 20–34°C і збивають ще 4–5 хвилин. Після цього вводять ароматизатор та спирт і додатково збивають масу 2–3 хвилини. Для виготовлення можуть використовувати чорний, білий або молочний шоколад.

Високі смакові якості цукерок Костер забезпечуються значною часткою какао-масла та сухих вершків у поєднанні з какао-порошком і кокосовим маслом. Для виготовлення корпусів різних видів цукерок застосовують відповідні креми: для Космічних — шоколадно-молочний, для Вінка Дунаю — вершковий, для Байок Крилова — шоколадно-горіховий, для Салюту — шоколадно-мигдальний із додаванням подрібненого горіха, для Лакомства — молочно-мигдальний із подрібненим мигдалем, а для Наталки-Полтавки та Стріли подільської — помадно-кремову масу. Цукерки Шатер і Трюфелі не глазуровані. Частка шоколадної глазури становить 22 % у Стріли подільської та 35 % у Наталки-Полтавки, Салюту, Весільної та Космічних. Цукерки Стріла формують у фользі, а деякі види додатково обсипають какао сумішшю або какао-порошком.

За аналогією зі Стрілою, ЗАТ «Львівська КФ Світоч» випускає цукерки Стожари у чотирьох варіантах смаку: тропічний коктейль, шампанське, крем-лікер і шоколад.

Цукерки «Подіум» складаються з шару кремової маси та шару подрібненого горіха і зберігаються до 6 місяців. Цукерки «Медео» мають молочно-кремовий корпус і також придатні до споживання протягом 6 місяців.

2 Створення структурної схеми системи автоматичного контролю температури повітря в охолоджувальній шафі

2.1 Структурна схема автоматизованого виробництва відливних глазуrowаних цукерок

Технологія виготовлення відливних глазуrowаних цукерок на потоковій лінії включає етапи варіння, формування та глазуrowання. Основні інгредієнти – фруктове пюре, молочний сироп, патока та цукровий сироп – подаються у визначених пропорціях із проміжних збірників II, III, VII, IX (рис. 2.1) у рецептурний змішувач I. Змішана маса далі транспортується у змієвиковий варильний апарат IV, після уварювання переходить у помадозбивальну машину V, а потім – у темперувальну машину VIII.

Під час керування роботою варильного відділення слід забезпечити точне дозування складових суміші, дотримання необхідних параметрів варіння та підтримання заданих температурних режимів у апараті IV, а також у машинах V і VIII. Окрім того, необхідно передбачити контроль і регулювання рівнів у проміжних збірниках компонентів суміші.

Керування процесом виробництва відливних глазуrowаних цукерок може здійснюватися за допомогою автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП).

АСУТП процесу виробництва відливних глазуrowаних цукерок є розподіленою системою управління середнього рівня, яка включає підсистеми збору та відображення інформації, автоматичного регулювання, дискретно-логічного управління, а також системи протиаварійного захисту та блокувань (рис. 2.1).

До основних елементів системи належать: три контролери КР-300 із повним (100%) резервуванням; автоматизовані робочі місця (АРМ) оператора-технолога, начальника відділення та лабораторії, створені на базі промислових комп'ютерів Pentium I з 20-дюймовими моніторами, що мають

підвищений захист від електромагнітного випромінювання; мережеве обладнання, реалізоване за технологією Ethernet зі швидкістю 10 Мбіт/с і повним резервуванням; архівна станція зі змінними магнітооптичними дисковими об'ємом 640 МБ; сервер баз даних; принтери; програмні пакети Trace Mode; а також конструктивні елементи у вигляді 19-дюймової шафи RITTAL.

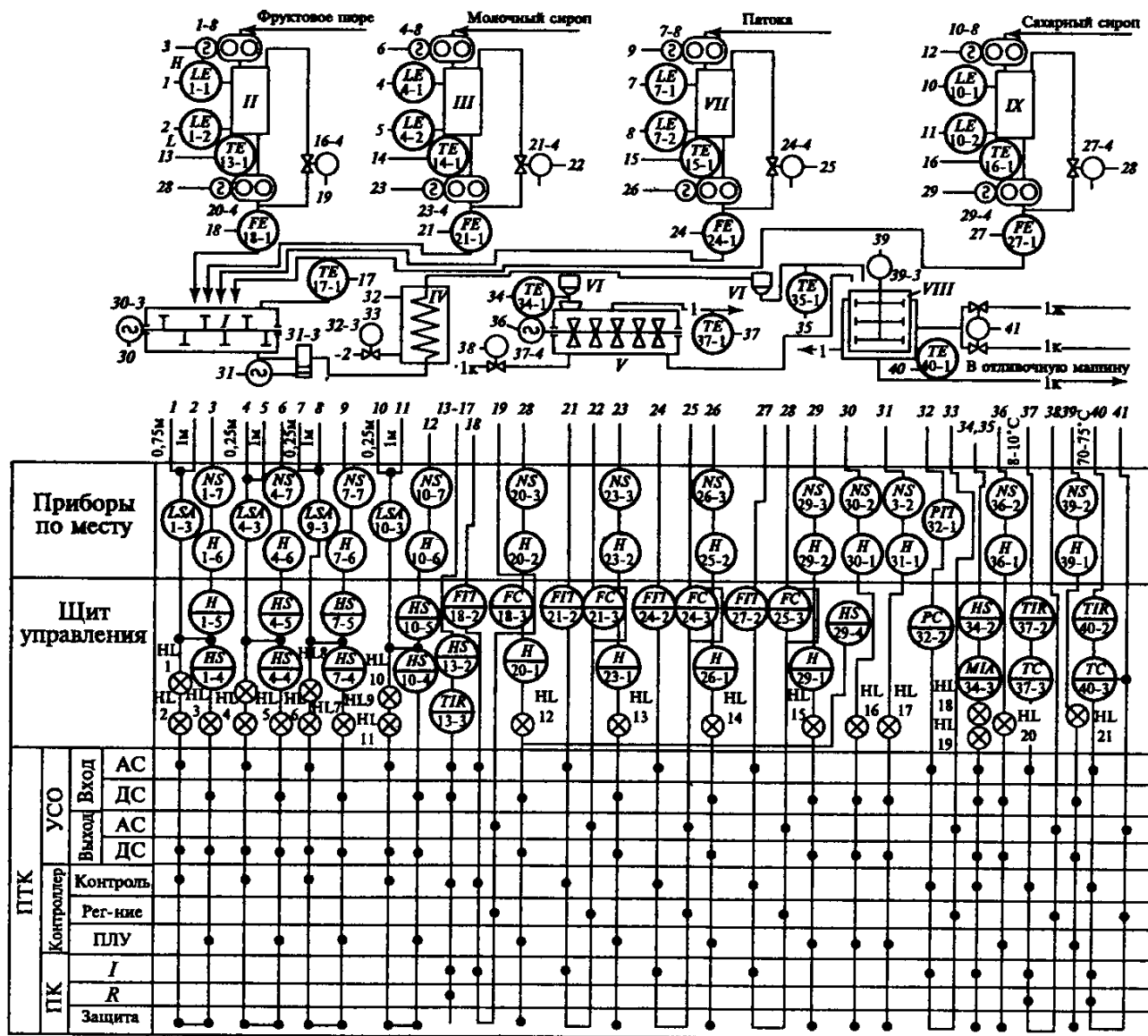


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення системи автоматизації процесу виготовлення відливних глазурованих цукерок.

Інформаційна ємність АСУТП (рис. 2.1) становить 82 сигнали, з яких 41 — вхідні та 41 — вихідні. До них належать: 13 аналогових

контрольованих параметрів (рівень, тиск, температура, витрата), 44 контрольовані дискретні сигнали (включно із запірною арматурою), 12 дискретних керуючих сигналів, 11 контурів регулювання та 11 одиниць запірної арматури. Крім того, система має 100%-е резервування для протиаварійних захистів і блокувань, серед яких: 13 аналогових параметрів, 28 входних і 47 вихідних дискретних сигналів. Управління здійснюється за схемою з «гарячим» резервуванням у трьох комплектах.

Максимальний час опитування датчиків контролером становить: для дискретних входів — 100 мкс, для аналогових — 1 мс. Час реагування системи на аварійні сигнали складає: при обробці на рівні контролера в ланцюгах аварійного захисту — від 20 до 100 мс, а при передачі сигналу на операторські пульти — до 200 мс. Оновлення даних на пульти оператора при наявності 200 динамічних елементів у кадрі відбувається з періодом 0,2–1,0 с, а зміна кадрів — кожні 0,2–1,5 с. Мінімальний час реакції системи на команду оператора становить 0,2 с. Повне перезавантаження системи після вимкнення живлення триває 30 с, а відновлення роботи контролерів — близько 20 с.

Контролер КР-300 має інформаційну потужність, що становить 190 аналогових та 304 дискретні входи/виходи, а також підтримує до 32 контурів регулювання. У даній системі задіяно: 13 аналогових входів і 13 аналогових виходів, 28 дискретних входів і 47 дискретних виходів, а також 11 контурів автоматичного регулювання.

Середній час безвідмовної роботи контролера становить 60 000 годин, а в його дубльованій конфігурації – 120 000 годин.

Дозування компонентів суміші контролюється шляхом стабілізації їх витрат із проміжних збірників у змішувачі І. Фруктове пюре з проміжного збірника ІІ подається насосом, який приводиться в дію електродвигуном, через трубопровід із встановленим електромагнітним витратоміром (18-1) до змішувача І. Сигнал витратоміра, нормований та оброблений АЦП (ADAM-5017), надходить на телемонітор для відображення та через АЦПУ (18-2) –

на регулюючий канал контролера КР-300 (18-3). За допомогою ЦАП (ADAM-5024) і виконавчого механізму (16-4) відбувається регулювання положення органа на лінії перепуску фруктового пюре в проміжний збірник. Аналогічним чином автоматичні регулюючі системи (САР) контролюють дозування молочного сиропу, патоки та цукрового сиропу по контурах 21, 24 і 27 відповідно.

У всіх промислових збірниках передбачено автоматичне підтримання рівня. У першому проміжному збірнику ємнісні датчики рівня (1-1) і (1-2) формують сигнал, який через АЦП (ADAM-5017) подається на програмно-логічний канал контролера КР-300 (1-3). Контролер за допомогою ЦАП (ADAM-5024) керує електродвигуном насоса (1-8), що подає фруктове пюре. Подібне регулювання рівня здійснюється і в інших трьох проміжних збірниках по відповідних контурах 4, 7 і 10. Контроль і регулювання тиску в змієвиковому варильному апараті виконуються манометром із нормованим електричним виходом (32-1) через АЦП (ADAM-5017); сигнал надходить на регулюючий канал КР-300, який за допомогою ЦАП (ADAM-5024) управляє виконавчим механізмом (32-3) клапана подачі пари в апарат.

Температура води в сорочці помадозбивальної машини підтримується позиційною САР, яка включає термоопір ТСМ і АЦП (ADAM-5017) або модуль (ADAM-5013) (37-1). Нормований сигнал подається на монітор і АЦПУ для відображення (37-2) та на логіко-програмний канал контролера КР-300 (37-3), з виходом на ЦАП (ADAM-5024) і регулювальний клапан (37-4), встановлений на трубопроводі холодної води. За аналогічним принципом здійснюється регулювання температури води в сорочці темперувальної машини (контур 40).

Температури в проміжних збірниках вимірюються термоопором ТСМ у поєднанні з АЦП (ADAM-5017) або модулями (ADAM-5013) (13-1, 16-3), а в змішувачі – за допомогою датчика (17-1). Нормовані сигнали через пристрій (13-2) надходять на відображення та реєстрацію за допомогою телемонітора і АЦПУ (13-3). Паралельно здійснюється автоматичний

контроль вологості увареної цукеркової маси за температурою її кипіння (психометричним методом). Для цього в паровідокремлювачах VI встановлені термоопори ТСМ і АЦП (ADAM-5017) або модулі (ADAM-5013) (34-1, 35-1), сигнали з яких через перемикач (34-2) подаються на телемонітор і АЦПУ (34-3) для відображення та реєстрації у відсотках відносної вологості, а також для сигналізації на пульті ПТК і АРМ технолога.

Схема керування варильним відділенням забезпечує запуск і зупинку електродвигунів, машин та апаратів, а також можливість вибору режиму управління через пульт ПТК або АРМ технолога.

Схема системи керування процесами виливки та глазурування цукерок на потоковій лінії наведена на рис. 2.2. Цукеркова маса з темперувальної машини подається насосом у відливальну машину II. Корпуси цукерок із установки прискореної вистійки I, де вони обдуваються холодним повітрям із повітровідокремлювача III, надходять у глазурувальну машину IV, а потім – в охолоджувальну шафу V, де в ролі холодоагенту використовується фреон. Після охолодження готові цукерки направляються на загортання та пакування.

Головним завданням управління цими процесами є підтримка стабільних температурних режимів, контроль рівня у відливальній машині та керування роботою електродвигунів.

Управління цими процесами може здійснюватися через АСУТП, апаратна та програмна складові якої ідентичні тим, що застосовуються для керування варильним відділенням.

АСУТП відділу виливки та глазурування цукерок є розподіленою системою управління малого масштабу, що включає підсистеми збору та відображення даних, автоматичного регулювання, дискретно-логічного керування, а також протиаварійних захистів і блокувань.

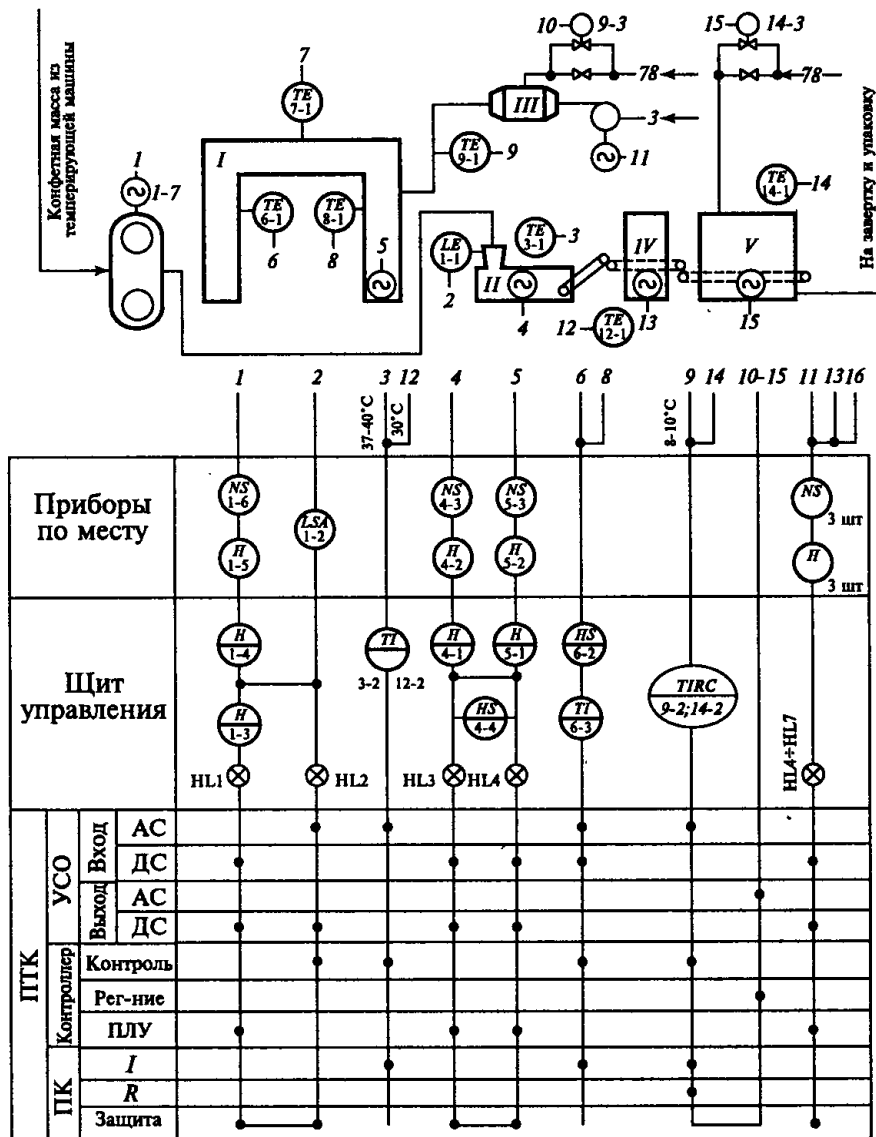


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення автоматизованого процесу виливки та глазурування цукерок.

До складу системи входять: три контролери КР-300 з повним резервуванням; робочі місця оператора-технолога, начальника відділення та лабораторії на базі промислових ЕОМ Pentium I із 20-дюймовими моніторами з посиленням захистом від електромагнітних впливів; мережеве обладнання на основі 10 Мбіт Ethernet з повним резервуванням; архівна станція зі змінними магнітооптичними дисковими ємністю 640 Мбайт; сервер бази даних; принтери; програмні пакети Trace Mode; а також конструктивні елементи — 19-дюймова шафа RITTAL.

Інформаційна ємність АСУТП (рис. 2.2) становить 32 сигнали — 16 вхідних і 16 вихідних. Серед них: контрольовані аналогові параметри (рівень, температура) — 7; контрольовані дискретні сигнали (з урахуванням запірної арматури) — 7; дискретні керуючі сигнали — 6; контури регулювання — 3; запірна арматура — 3. Протиаварійні захисти і блокування (з повним резервуванням) включають 32 сигнали: аналогові параметри — 7, вхідні дискретні — 9, вихідні дискретні — 16. Система керування реалізована з «гарячим» резервуванням у трьох комплектах.

Максимальний інтервал опитування датчиків контролера становить 100 мкс для дискретного входу та 1 мс для аналогового входу. Максимальний час реагування на аварійні сигнали: у ланцюгах аварійного захисту на рівні контролера – 20–100 мс, при передачі сигналів на пульти операторів – 200 мс. Цикл оновлення даних на пульті при 200 динамічних елементах у кадрі – 0,2–1,0 с; цикл перемикання кадрів – 0,2–1,5 с. Мінімальний час реакції на команду оператора становить 0,2 с. Час повного перезапуску системи після відключення живлення – 30 с, контролерів – 20 с.

Інформаційна ємність контролера КР-300 складає 190 аналогових та 304 дискретних входів/виходів, із загальною кількістю контурів регулювання – 32. У використанні задіяно: 7 аналогових входів і 7 аналогових виходів; 9 дискретних входів і 16 дискретних виходів; 3 контури регулювання.

Середній час безвідмовної роботи контролера становить 60 000 годин, а в його дубльованій версії – 120 000 годин.

Рівень цукеркової маси у відливальній машині контролюється за допомогою ємнісного рівнеміра (1-1), сигнал від якого через АЦП (ADAM-5017) надходить на регулюючий канал КР-300, який через ЦАП (ADAM-5024) керує електроприводом насоса (1-7) для подачі маси.

Автоматичне регулювання температури холодного повітря, що подається в установку вистійки корпусів цукерок, здійснюється за допомогою термоопор ТСМ і АЦП (ADAM-5017Н) або модулів (ADAM-

5013) (9-1) – (14-1). Нормовані сигнали надходять на відображення та реєстрацію (телемонітор і АЦПУ) і на логіко-програмний канал КР-300 (9-2) – (14-2), який через ЦАП (ADAM-5024) керує електромагнітними клапанами (9-3) – (14-3) на лінії подачі фреону у повітроохолоджувач. Аналогічним чином здійснюється регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі (контур 14).

Схема керування передбачає контроль температури у відливальній та глазурувальній машинах за допомогою термоопорів TCM і АЦП (ADAM-5017H) або модулів (ADAM-5013) (3-1) – (12-1), сигнали яких подаються на відображення або реєстрацію через телемонітор чи АЦПУ (3-2) – (12-2). Аналогічний контроль здійснюється в установці прискореної вистійки корпусів цукерок за допомогою термоопорів TCM і АЦП (ADAM-5017H) або модулів (ADAM-5013) (6-1) – (8-1), нормовані сигнали яких через пристрій (6-2) надходять на відображення або реєстрацію (телемонітор або АЦПУ) (6-3).

Система керування дозволяє здійснювати керування електродвигунами машин і апаратів як з пульта ПТК, так і з АРМ технолога. Крім того, вона забезпечує можливість вибору режиму роботи — або за допомогою ключів керування на ПТК та АРМ технолога, або за допомогою ручних ключів (1-3) і (4-4).

2.2 Регульований об'єкт

Щоб отримати продукцію з привабливим товарним виглядом, глазуровані вироби за допомогою стрічкового конвеєра направляють в охолоджувальну шафу, де необхідно підтримувати температуру повітря в межах 8–10 °С. Процес охолодження повинен тривати щонайменше 3 хвилини, протягом яких глазур на поверхні виробів повністю кристалізується. Готові вироби мають бути покриті рівномірним шаром глазури з гладкою, блискучою поверхнею без ознак «посивіння».



Рисунок 2.3 – Схематичне зображення охолоджувальної шафи

Охолоджувальна шафа обладнана одним або кількома автоматичними осушувачами повітря (залежно від її довжини), які знижують рівень відносної вологості всередині камери. Це дозволяє уникнути утворення конденсату за несприятливих умов і водночас сприяє підвищенню стійкості глазури під час зберігання виробів.

Охолоджувальний агрегат поділено на кілька регульованих зон охолодження. Температура повітря на вході виробів підтримується на рівні 17–18 °С, у центральній частині знижується до 12–14 °С, а на виході знову підвищується до 16 °С, що запобігає утворенню конденсату на холодній поверхні. Потрапляння вологи на вироби під час виходу з агрегату може спричинити помутніння або «посивіння» глазури.

Для охолодження теплої шоколадної маси процес триває 3–4 хвилини, а для молочно-шоколадної — 5–7 хвилин. Охолоджувальні агрегати виготовляються довжиною від 12 до 60 метрів і більше, складаючись із кількох секцій. Їхня продуктивність залежить від ширини

конвеєрної стрічки, яка може становити 280, 420, 620, 820, 1050, 1300 або 1800 мм.

Для охолодження жирової глазури використовують агрегати, у яких поєднано два типи теплообміну: обдування виробів охолодженим повітрям зверху та контактне охолодження знизу, коли конвеєрна стрічка рухається по плитах, охолоджених повітрям. Залежно від довжини агрегат поділяється на дві, чотири або шість зон.

Холодне повітря рухається поперечно до напрямку руху транспортера. Його температуру та швидкість можна регулювати. Для оптимальної роботи слід підтримувати температуру повітря в межах 8–10 °С, а швидкість потоку — близько 2–3 м/с.

Охолодження повітря здійснюється у ребристому фреоновому випарнику, який з'єднаний із конденсатором. Компресор разом із випарником розташовані в нижній частині охолоджувальної шафи.

Час охолодження виробів, покритих жировою глазур'ю, залежить від температури самих виробів та типу глазури. Зазвичай він становить 2,5–3,5 хвилини для глазури з какао-порошком і 3–4 хвилини для звичайної жирової глазури.

Електродвигун транспортера керується безступінчато через систему електричного сервоуправління за допомогою кнопки на пульті глазурувальної машини. Проміжні вали станції, що приводять стрічку в рух, працюють механічно та оснащені електрообігрівними шкребками для очищення. Також серійно випускаються пневматичні та фотоелектричні пристрої для регулювання положення конвеєрних стрічок, які забезпечують рівномірний і точний рух транспортерної стрічки протягом тривалої експлуатації.

Отже, глазурування корпусів цукерок є заключним етапом у технологічному процесі їх виробництва. За правильного використання глазурувальних агрегатів і дотримання оптимальних параметрів, готові

цукерки мають рівну, блискучу глазур та добре зберігають свої властивості під час тривалого зберігання.

Підвищення якості глазурованих цукерок забезпечується використанням сучасних ефективних технологій темперування мас та комбінованих методів охолодження.

Що стосується динамічних характеристик охолоджувальної шафи як об'єкта регулювання (ОР), її можна представити як аперіодичну ланку першого порядку. Вхідним параметром ОР є температура охолоджувального повітря $t_{по}$, що надходить від холодильної установки, а вихідним – температура повітря всередині шафи $t_{пш}$. Варто також зазначити, що на об'єкт регулювання впливають зовнішні збурення ψ , пов'язані з різними чинниками, зокрема з цукерками, що надходять у шафу. Для проведення розрахунків прийнята така структура об'єкта регулювання (рис. 2.4).

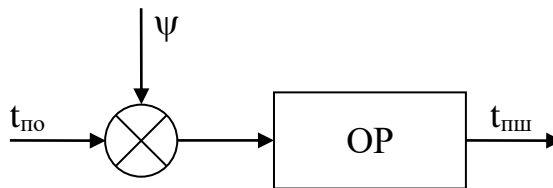


Рисунок 2.4 – Структура об'єкта регулювання

Передаточна функція даного об'єкта регулювання визначається наступним чином:

$$W_{OP} = \frac{K_{OP}}{T_{OP}p + 1}, \quad (2.1)$$

де $K_{OP} = 1$, $T_{OP} = 4$ с.

Спектральну щільність збурень, що впливають на об'єкт регулювання, можна подати у вигляді:

$$S_{\psi\psi} = \frac{1}{T_{\psi}^2 p^2 + 2\zeta_{\psi} T_{\psi} p + 1}, \quad (2.2)$$

де $T_{\psi} = 3$ с, $\zeta_{\psi} = 0,3$.

2.3 Підбір виконавчого пристрою

У системі кондиціонування повітря найбільше енергії витрачається на охолодження проточного повітря порівняно з іншими методами його обробки.

У холодильній установці передбачено регулювання температури кипіння в межах 275...280 К та температури конденсації — 303...309 К. Схема досліджуваної установки наведена на рис. 2.5.

Типова холодильна установка розглядається як технічна система, для аналізу якої використовується підхід на основі термодинамічного потенціалу процесів перетворення енергії. Для оцінки енергоефективності обладнання застосовується узагальнений показник — ексергетичний коефіцієнт корисної дії (η_e).

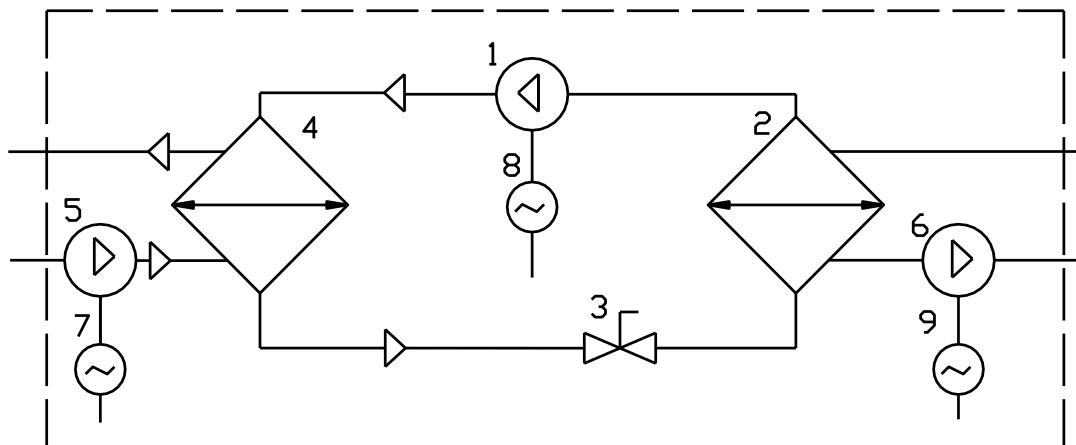


Рисунок 2.5 – Схема одноступеневої холодильної установки

- 1 – компресор;
- 2 – випарник;
- 3 – пристрій для дроселювання;
- 4 – конденсатор;
- 5 – насос для охолоджувальної води;
- 6 – насос розсолу;
- 7, 9 – електродвигуни насосів;
- 8 – електродвигун компресора.

Використання ексергетичного аналізу дає змогу визначити енергетично оптимальний режим роботи автоматизованої холодильної установки шляхом техніко-термодинамічного порівняння різних варіантів та подальшої термодинамічної оптимізації режимів її функціонування.

Під час термодинамічного аналізу застосовувався статичний підхід, при якому на кожному етапі систему розглядали як таку, що перебуває у стаціонарному стані.

Ексергетичні втрати в холодильній установці зумовлені кількома факторами. Основними причинами, що впливають на ефективність η , є: необоротні теплообміни між холодоагентом та робочим середовищем у випарнику, а також між холодоагентом і навколишнім середовищем підвищеного потенціалу в конденсаторі; стиск перегрітої пари холодоагенту в компресорі за необоротним поліотропним процесом замість оборотного стиску пари, характерного для ідеальної установки.

Підвищити ефективність η можна за допомогою гнучкої системи керування агрегатами холодильної установки, що враховує її конструктивно-технологічні особливості, зокрема термодинамічний цикл досліджуваної установки. Зокрема, чим меншим є процес стиску, тим вищий його КПД, а скорочення тривалості охолодження перегрітого газу до стану насичення також сприяє підвищенню КПД.

Передатна функція холодильної установки характеризується як аперіодичні ланки першого порядку з певними коефіцієнтами передачі та постійними часу (Т).

$$W_{BM} = W_1 \cdot W_2, \quad (2.3)$$

$$\text{де } W_1 = \frac{K_1}{T_1 p + 1}, K_1 = 0.516, T_1 = 1 \text{ с}; \quad (2.4)$$

$$W_2 = \frac{K_2}{T_2 p + 1}, K_2 = -2,9 \text{ }^\circ\text{C/B}, T_2 = 6,2 \text{ с}. \quad (2.5)$$

2.4 Підбір датчика

У системах автоматичного керування технологічними процесами (АСУТП) для вимірювання температури повітря застосовують термоперетворювачі опору (ТС). Вони призначені для визначення температури твердих тіл, рідин, газів та сипучих матеріалів і здатні працювати як з нейтральними, так і з агресивними середовищами. Термоперетворювачі опору виготовляють із чутливими елементами з платини (ТСП) або міді (ТСМ).

Характеристики термоперетворювачів опору наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Позначення номінальної статичної характеристики, діапазон вимірюваних температур та середовище вимірювання.

Модифікація ТС	Умовне позначення НСХ	Діапазон вимірюваних температур, °С	Середовище вимірювання
ТС-1088,	50П	-50...+500	Рідкі та газоподібні середовища, тверді тіла. Для ТС-1288 додатково сипучі середовища та повітря вантажних вагонів
ТС-1088А,	Pt100	-50...+600	
ТС1288,	100П	-50...+350	
ТС-1288А	50М, 100М	-50...+200	
ТС-1088Э,	46П, 50П	-50...+500	
ТС1288Э	Pt100, Pt500	-50...+600	
	100П	-50...+350	
	50М, 53М, 100М	-50...+200	
ТС-1388,	50П	-50...+500	Вимірювання температури малогабаритних підшипників та поверхні твердих тіл
ТС-1388А	100П, Pt100, Pt500	-50...+350	
	50М, 100М	-50...+200	
ТС-0295	50П	-50...+200	Вимірювання температури при гарячій і холодній
	100П, Pt100		

	50М, 100М		переробці харчових продуктів
ТС-1187Exd	46П, 50П	-50...+350	Вимірювання температури рідких та газоподібних середовищ у вибухонебезпечних зонах
	100П, Pt100		
	50М, 53М, 100М	-50...+200	

ТС є пристроєм, що реагує на температуру, і складається з чутливого елемента в захисній оболонці, внутрішніх з'єднувальних проводів та зовнішніх виводів, які забезпечують підключення до електричних вимірювальних приладів.

У досліджуваній АСУТП для виробництва глазурованих цукерок у охолоджувальній шафі для вимірювання температури застосовується термоперетворювач опору ТСМ-0295/1. Розглянемо його характеристики більш детально (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Ключові технічні характеристики ТСМ-0295/1.

Параметри	Значення
НСХ	50П, 100П, 50М, 100М, Pt100
Діапазон вимірювання	-50...+200 °С; -50...+180 °С
Клас допуску	А; В; С
Кількість чутливих елементів	1;2
Схема підключення	1; 2; 3; 4; 5
Довжина монтажною частини	100, 140, 160, 200 мм
Показник теплової інерції	6 с
Умовний тиск	0,4 Па
Матеріал захисного чохла	Цільна труба 12Х18Н10Т
Кліматичні умови	Група виконання ДЗ: -50...+50 °С
Степінь захисту	IP54
Середній наробіток на відмову	15000 годин

Середній строк служби	6 років
Міжповірочний інтервал	2 роки

Згідно з табл. 2.2 застосовуються п'ять варіантів схем підключення датчика (рис. 2.6).

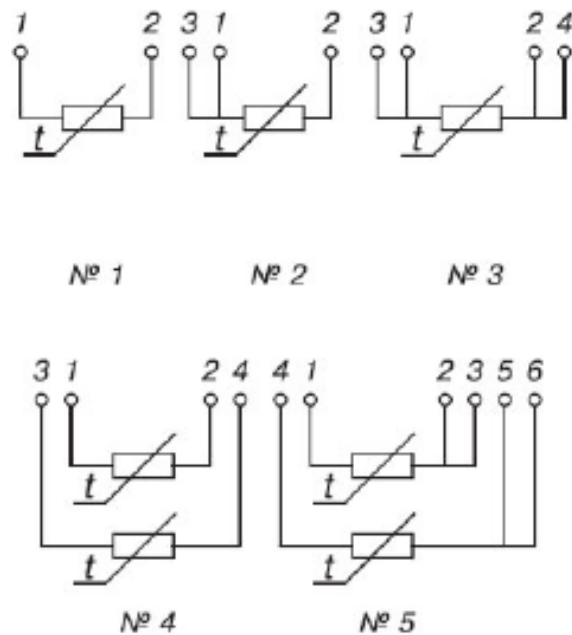


Рисунок 2.6 – Схеми підключення датчику TCM-0295/1

На рисунку 2.7 показано зовнішній вигляд термоперетворювача опору TCM-0295/1.

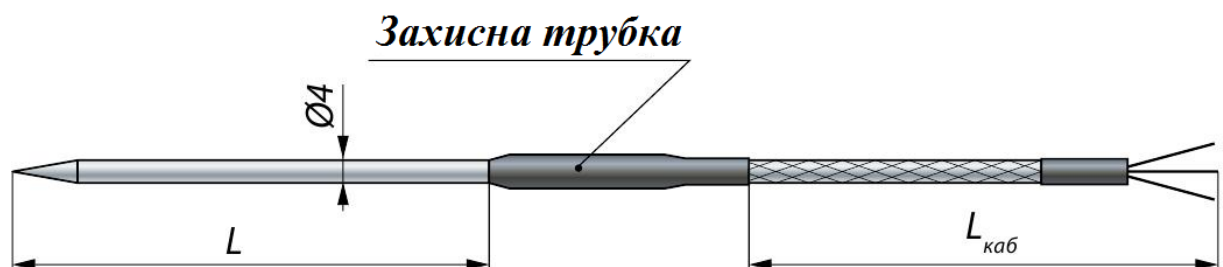


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд термоперетворювача опору TCM-0295/1

Передавальна функція температурного датчика, який є аперіодичною ланкою першого порядку, має наступний вигляд.

$$W_{дг}(p) = \frac{K_{дг}}{T_{дг}p + 1}, \quad (2.6)$$

де $K_{дг} = 1$, $T_{дг} = 6$ с.

2.5 Блок-схема системи автоматичного керування

На основі аналізу елементів системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі для виробництва глазурованих цукерок можна побудувати структурну схему цієї системи (рис. 2.8).

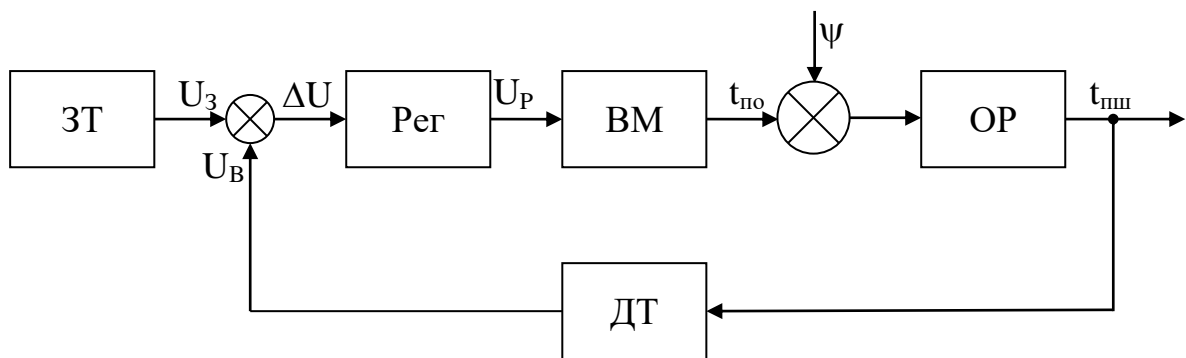


Рисунок 2.8 – Блок-схема САР для регулювання температури карамельної суміші в змішувачі.

Об'єктом регулювання (ОР) у цій схемі виступає охолоджувальна шафа, температуру повітря в якій необхідно підтримувати на заданому рівні. Температура об'єкта регулювання $t_{пш}$ вимірюється датчиком (ДТ), сигнал з якого у вигляді напруги U_B порівнюється зі значенням U_3 програмного задавача температури (ПЗТ). Відхилення ΔU від програмної температури надходить на регулятор (Рег), який відповідно до закону регулювання формує керуючий сигнал U_P для виконавчого механізму (ВМ). Виконавчим механізмом є холодильна установка, що подає охолоджене повітря необхідної температури $t_{по}$ в охолоджувальну шафу. Під час роботи системи на об'єкт регулювання впливають зовнішні збурення ψ .

3 Розробка системи автоматичного керування

3.1 Аналіз стійкості системи автоматичного керування

Оскільки елементи структурної схеми САР з'єднані послідовно, для визначення передатної функції розімкненої системи слід перемножити передатні функції всіх її складових [3, 4]:

$$\begin{aligned} W_{PO3}(p) &= W_{BM}(p) \cdot W_{OP}(p) \cdot W_D(p) = \\ &= \frac{K_1 K_2 K_{OP} K_D}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_{OP} p + 1)(T_D p + 1)}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Для спрощення запису введемо наступні умовні позначення:

$$K = K_1 K_2 K_{OP} K_D. \quad (3.2)$$

У такому випадку передатна функція розімкненої системи набуде вигляду:

$$W_{PO3}(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_{OP} p + 1)(T_D p + 1)}. \quad (3.3)$$

Передатна функція замкнутої системи, з урахуванням того, що $W_{33}(p) = 1$, визначається за формулою:

$$\begin{aligned} W_3(p) &= \frac{W_{PO3}(p)}{1 + W_{PO3}(p)} = \\ &= \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_{OP} p + 1)(T_D p + 1) + K}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Характеристичне рівняння записується у вигляді:

$$(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_{OP} p + 1)(T_D p + 1) + K = 0. \quad (3.5)$$

Підставимо значення параметрів елементів системи у характеристичне рівняння.

$$148,8 p^4 + 234,8 p^3 + 102,2 p^2 + 17,2 p + 2,5 = 0. \quad (3.6)$$

Аналіз стійкості системи за допомогою критерію Гурвіца.

Критерій стійкості Гурвіца (алгебраїчний) дозволяє оцінити стійкість системи автоматичного регулювання високого порядку, проте його застосування залишається відносно простим лише для рівнянь до п'ятого порядку, оскільки для вищих порядків обчислення стають значно складнішими.

Відповідно до цього критерію умови стійкості формулюються таким чином.

Всі корені характеристичного рівняння матимуть від'ємні дійсні частини за умови, що при додатних коефіцієнтах головний визначник Гурвіца та його діагональні мінори будуть більші за нуль.

Підставивши значення коефіцієнтів і сталих часу, отримаємо:

$$\Delta = \begin{pmatrix} 234,8 & 17,2 & 0 & 0 \\ 148,8 & 102,2 & 2,5 & 0 \\ 0 & 234,8 & 17,2 & 0 \\ 0 & 148,8 & 102,2 & 2,5 \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

$$\Delta = 5,77 \cdot 10^5$$

$$\Delta_3 = 2,31 \cdot 10^5$$

$$\Delta_2 = 2,14 \cdot 10^4$$

Оскільки головний визначник Гурвіца, його діагональні мінори та коефіцієнти мають додатні значення, можна зробити висновок, що система є стійкою за критерієм стійкості Гурвіца.

Для оцінки стійкості та визначення запасів стійкості побудуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої системи в середовищі MATLAB. Отримані графіки наведені на рис. 3.1.

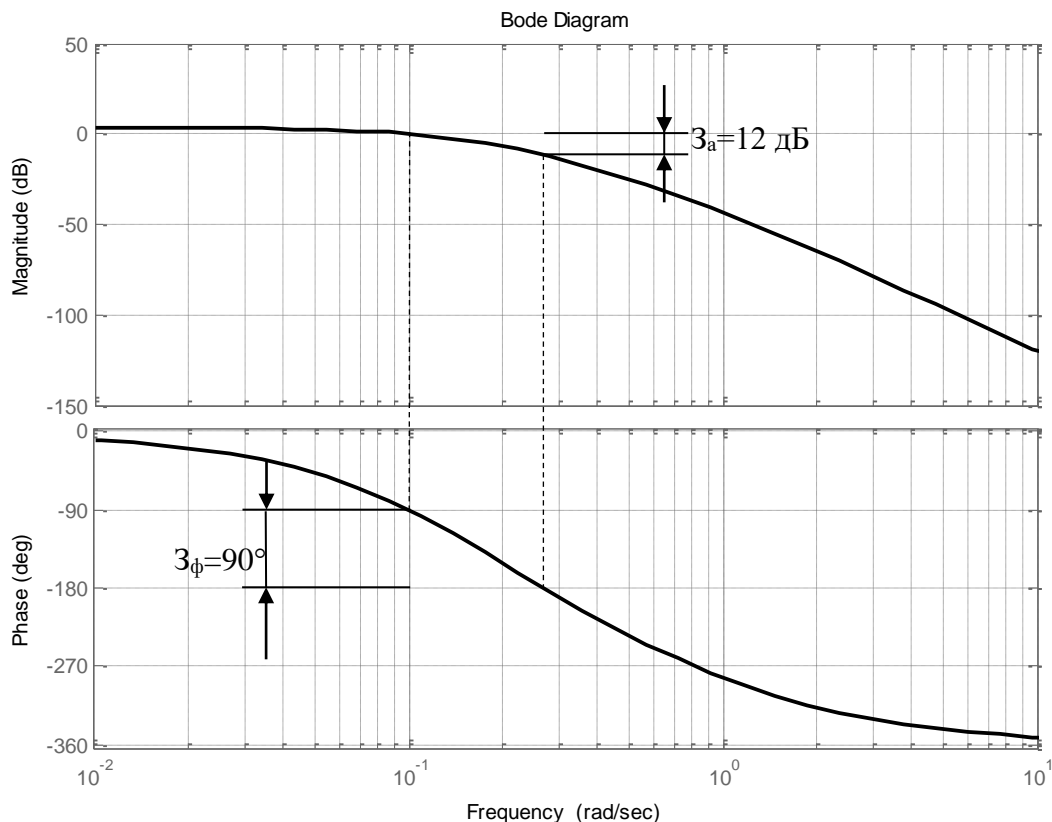


Рисунок 3.1 – ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненої системи.

З побудови на рис. 3.1 можна визначити: частоту зрізу $\omega_3 = 0,1 \text{ c}^{-1}$, що дозволяє розрахувати час регулювання при жорстких умовах $t_p = \frac{2\pi}{\omega_3} = 62,8$ системи; запас стійкості за амплітудою $Z_a \approx 12$ дБ; запас стійкості за фазою $Z_\phi \approx 90^\circ$.

3.2 Проектування системи автоматичного керування

Метою синтезу системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі є визначення структури та параметрів оптимального регулятора, здатного підтримувати температуру відповідно до заданого програмного сигналу.

Згідно з роботою [17], задача синтезу системи стабілізації за випадкових впливів формується наступним чином. Маємо задану структурну схему системи (рис. 3.2), на входи якої надходять вектори центрованих стаціонарних випадкових процесів ψ_0 та φ_0 . При цьому припускається, що динаміка взаємозв'язку між входом та виходом об'єкта керування відома і описується системою звичайних диференціальних рівнянь

$$P_0 x_0 = M_0 u + \psi_0, \quad (3.8)$$

де x_0 – n -вимірний вектор вихідних параметрів об'єкта;

u – m -вимірний вектор керуючих сигналів;

P_0 – поліноміальна матриця розміром $n \times n$, залежна від оператора диференціювання s , причому поліном-детермінант цієї матриці має лише стійкі корені.

M_0 – поліноміальна матриця розміром $n \times m$

ψ_0 – n -вимірний вектор стаціонарних випадкових збурень має нульове математичне очікування та дробово-раціональну матрицю спектральних щільностей $S_{\psi_0\psi_0}$. Вектор вихідних координат об'єкта керування вимірюється повністю за допомогою системи неідеальних датчиків, динаміка яких описується матрицею передаточних функцій K_0 , а похибки вимірювань представлені вектором φ_0 стаціонарних центрованих випадкових процесів із відомою матрицею спектральних щільностей $S_{\varphi_0\varphi_0}$.

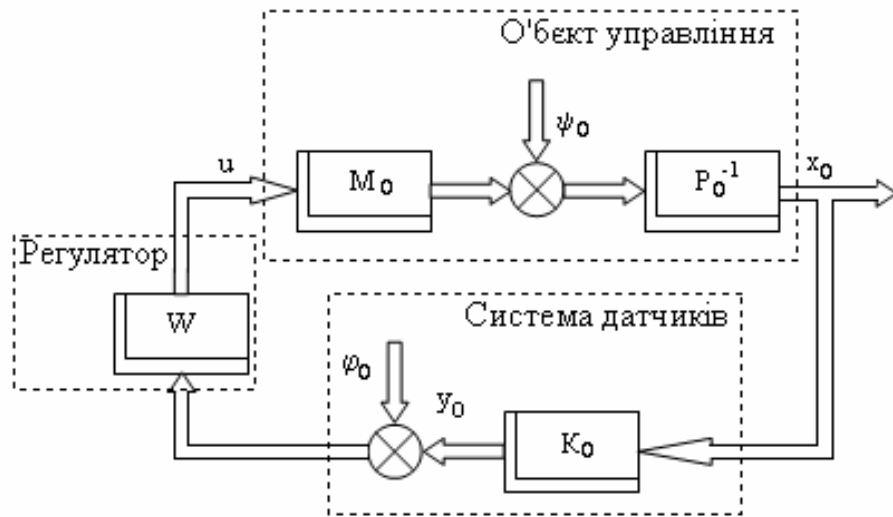


Рисунок 3.2 – Блок-схема багатовимірної системи стабілізації.

Потрібно визначити структуру та параметри матриці передаточних функцій регулятора W таким чином, щоб замкнена система «об'єкт-регулятор» була стійкою та забезпечувала мінімальне значення наступного функціоналу якості.

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(S'_{x_0x_0} R + S'_{uu} C) ds, \quad (3.9)$$

де j – уявна одиниця,

tr – оператор, що позначає слід матриці;

$S_{x_0x_0}$ – матриця спектральної щільності коливань вихідних координат системи розміром $n \times n$

“/” – оператор транспонування матриці;

R – додатньо визначена поліноміальна матриця ваг розміром $n \times n$;

S_{uu} – матриця спектральної щільності коливань вектора керуючих сигналів системи розміром $m \times m$;

C – невід'ємно визначена поліноміальна матриця ваг розміром $m \times m$;

$s = j\omega$ – фаза комплексного числа.

У роботі [17] показано, що для стійкого об'єкта керування матриця передаточних функцій оптимального регулятора W , яка задовольняє умови

поставленої задачі синтезу, визначається як добуток двох матриць передаточних функцій

$$W = F_u^\psi (F_x^\psi)^{-1}, \quad (3.10)$$

де

F_u^ψ – фізично реалізована матриця передаточних функцій замкненої системи «об’єкт-регулятор» від вектору збурень ψ_0 до вектору керуючих сигналів u , яка забезпечує мінімум критерію якості (3.9);

F_x^ψ - матриця передаточних функцій замкненої системи «об’єкт-регулятор» від вектора збурень ψ_0 до вектора вихідних координат x , визначена за рівнянням зв’язку, вперше обґрунтованим у роботі [17], у формі

$$F_x^\psi = P^{-1}(MF_u^\psi + E_n), \quad (3.11)$$

де

P – поліноміальна матриця розміром $n \times n$, що описує динаміку розширеного об’єкта керування (з урахуванням системи датчиків)

$$P = K_{10} P_0 K_0^{-1}; \quad (3.12)$$

M – поліноміальна матриця розміром $n \times m$, що визначає чутливість розширеного об’єкта до змін керуючих сигналів

$$M = K_{10} M_0, \quad (3.13)$$

K_{10} – результат видалення полюсів у лівій півплощині або MFD-розкладання лівої частини добутку матриць $P_0 K_0^{-1}$;

«-1» у верхньому індексі позначає обернену матрицю.

Фізично реалізована та стійка матриця передаточних функцій F_u^ψ за базовим методом синтезу [17] визначається як

$$F_u^\psi = -\Gamma^{-1}(N_0 + N_+)D^{-1}, \quad (3.14)$$

де

Γ – дробово-раціональна та стійка разом зі своєю оберненою матриця розміром $m \times m$, отримана в результаті вінеровської правобічної факторизації наступної суми матриць

$$\Gamma = \left[M_* P_*^{-1} K_0^{-1} \begin{pmatrix} E_n \\ O_n \end{pmatrix} R(E_n \quad O_n) K_0^{-1} P^{-1} M + C \right]^+, \quad (3.15)$$

де верхній індекс «+» позначає операцію правобічної факторизації, E_n – одинична матриця розміром $n \times n$, O_n – нульова матриця розміром $n \times n$, а індекс «*» означає ермітове спряження матриці.

D - дробово-раціональна та стійка разом зі своєю оберненою матриця розміром $n \times n$, отримана в результаті лівобічної вінеровської факторизації наступного добутку матриць

$$D = \left[(E_n \quad P) S'_{\xi\xi} \begin{pmatrix} E_n \\ P_* \end{pmatrix} \right]^+, \quad (3.16)$$

де верхній індекс «+» позначає операцію лівобічної факторизації, а $S'_{\xi\xi}$ – транспонована матриця спектральних щільностей вектора ξ , що формується з векторів ψ_0 та φ_0 (рис. 3.2), таким чином, що

$$\xi = \begin{bmatrix} \psi_0' K'_{10} & \varphi_0' \end{bmatrix}; \quad (3.17)$$

$N_0 + N_+$ - дробово-раціональна матриця зі стійкими полюсами, отримана в результаті вінеровської сепарації (розщеплення) добутку матриць

$$N = \tilde{A}_*^{-1} M_* P_*^{-1} K_0^{-1} \begin{pmatrix} E_n \\ O_n \end{pmatrix} R(E_n \quad O_n) K_0^{-1} [P^{-1}(E_n \quad P) - (O_n \quad E_n)] S'_{\xi\xi} \begin{pmatrix} E_n \\ P_* \end{pmatrix} D_*^{-1}. \quad (3.18)$$

Отже, відповідно до розглянутого алгоритму (3.10)–(3.18) для

визначення структури та параметрів оптимального регулятора слід виконати такі кроки:

Обрати вагові коефіцієнти R та C ;

Знайти вираз для $\Gamma^*\Gamma$ та провести його факторизацію;

Обчислити вираз для DD^* та здійснити його факторизацію;

Розрахувати вираз для N та виконати його сепарацію;

Визначити передаточну функцію ;

За рівнянням зв'язку знайти передаточну функцію ;

Використовуючи отримані та , розрахувати передаточну функцію регулятора за рівнянням (3.17).

Для прийняття рішення щодо подальшого застосування отриманих результатів потрібно провести аналіз якості роботи системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі з оптимальним регулятором.

Відповідно до структурної схеми системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі (рис. 2.8), система складається з об'єкта регулювання, датчика температури, регулятора та виконавчого механізму. На основі аналізу літературних джерел та технічних характеристик цих елементів можна визначити їхні передаточні функції:

$$W_{OP}(s) = \frac{K_{OP}}{T_{OP}s + 1}; \quad (3.19)$$

$$W_D(s) = \frac{K_D}{T_Ds + 1}; \quad (3.20)$$

$$W_{BM}(s) = \frac{K_1}{T_1s + 1} \frac{K_2}{T_2s + 1}. \quad (3.21)$$

Що стосується збурень, які впливають на об'єкт регулювання, їхня природа та джерела виникнення настільки різноманітні, що узагальнений

ефект можна описати як стаціонарний випадковий процес із нульовим математичним сподіванням та певною спектральною щільністю:

$$S_{\psi\psi} = \frac{1}{T_{\psi}^2 p^2 + 2\zeta_{\psi} T_{\psi} p + 1}. \quad (3.22)$$

Що стосується похибки вимірювань φ_0 , її спектральну щільність будемо розглядати як «білий» шум:

$$S_{\varphi_0\varphi_0}(s) = \frac{\sigma_{\varphi_0}^2}{\pi}. \quad (3.23)$$

Для використання алгоритму синтезу регулятора (3.10)–(3.18) потрібно виконати структурні перетворення системи (рис. 2.8) до вигляду, показаного на рис. 3.2. Це передбачає визначення поліномів $M_0(s)$, $P_0(s)$ та $K_0(s)$, а також розрахунок спектральної щільності $S_{\psi_0}(s)$ для нової структурної схеми.

Задаємо необхідні параметри для виразів (3.19)–(3.23) та виконуємо обчислення вихідних даних, необхідних для синтезу регулятора.

$$M_0(s) = 0.06 \quad (3.24)$$

$$P_0(s) = (s + 1)(s + 0.25)(s + 0.1613) \quad (3.25)$$

$$K_0(s) = \frac{0.1667}{(s + 0.1667)} \quad (3.26)$$

$$S_{\psi_0\psi_0}(s) = \left| \frac{0.4444 (s + 1)(s + 0.1613)}{(s^2 + 0.3333s + 0.1111)} \right|^2 \quad (3.27)$$

$$S_{\varphi_0\varphi_0}(s) = 0.079577 \quad (3.28)$$

Далі визначаємо поліноми $M(s)$ та $P(s)$ за виразами (3.12) та (3.13), при цьому після видалення полюсів у лівій півплощині отримано $K_{10} = 0,1667$.

$$M(s) = 0.01 \quad (3.29)$$

$$P(s) = (s + 1)(s + 0.25)(s + 0.1613)(s + 0.1667) \quad (3.30)$$

Для використання алгоритму синтезу регулятора встановимо вагові коефіцієнти функціоналу якості

$$R = 1; \quad C = 1. \quad (3.31)$$

Підставлення вихідних даних з виразів (3.27), (3.28) та (3.30) у формули (3.16) і (3.17) та подальша факторизація отриманого результату дозволили визначити наступне значення D :

$$D = \frac{0.028209 (s + 1) (s + 0.1613) (s^2 + 2.336s + 1.604) (s^2 + 0.9669s + 1.637)}{(s^2 + 0.2s + 0.1111)} \quad (3.32)$$

Наступним кроком алгоритму синтезу є визначення дробово-раціональної функції Γ шляхом факторизації правої частини виразу (3.15).

$$\Gamma = \frac{(s + 1.002) (s^2 + 0.4784s + 0.07215)}{(s + 1) (s + 0.25) (s + 0.1613)} \quad (3.33)$$

Підготовка дробово-раціональної матриці N для сепарації та її виконання за алгоритмом (3.18) з використанням даних, визначених виразами (3.26)–(3.33), дозволили отримати наступний результат

$$N_0 + N_+ = \frac{1.1407 (s^2 + 0.4784s + 0.07215)}{(s + 0.25) (s^2 + 0.2s + 0.1111)} \quad (3.34)$$

Використання формули (3.14) з даними, наведеними у виразах (3.32)–(3.34), дозволило визначити варійовану матрицю передаточних функцій оптимальної системи від вектора зовнішніх збурень ψ_0 до керуючого сигналу u

$$F_u^\psi = \frac{40.4381}{(s + 1.002) (s^2 + 2.336s + 1.604) (s^2 + 0.9669s + 1.637)} \quad (3.35)$$

Отриманий результат (3.35) разом із виразами P та M , заданими рівняннями (3.29) та (3.30), дозволили визначити передаточну функцію оптимальної системи стабілізації від вектора збурень ψ_0 до вектора вихідних координат x_0 на основі рівняння зв'язку (3.11) у вигляді

$$F_x^\psi = \frac{(s^2 + 2.8s + 2.285) (s^2 + 0.9593s + 1.789)}{(s + 1.002)(s + 0.25)(s + 0.1667)(s + 0.1613)(s^2 + 2.336s + 1.604)(s^2 + 0.9669s + 1.637)} \quad (3.36)$$

Отримані вирази F_u^ψ та F_x^ψ дозволили розрахувати передаточну функцію оптимального регулятора W , яка забезпечує стійкість системи та мінімізує критерій якості (3.9) згідно з алгоритмом (3.10).

$$W = \frac{40.4381 (s + 0.25)(s + 0.1667)(s + 0.1613)}{(s^2 + 2.8s + 2.285) (s^2 + 0.9593s + 1.789)} \quad (3.30)$$

Частотна характеристика регулятора наведена на рис. 3.3.

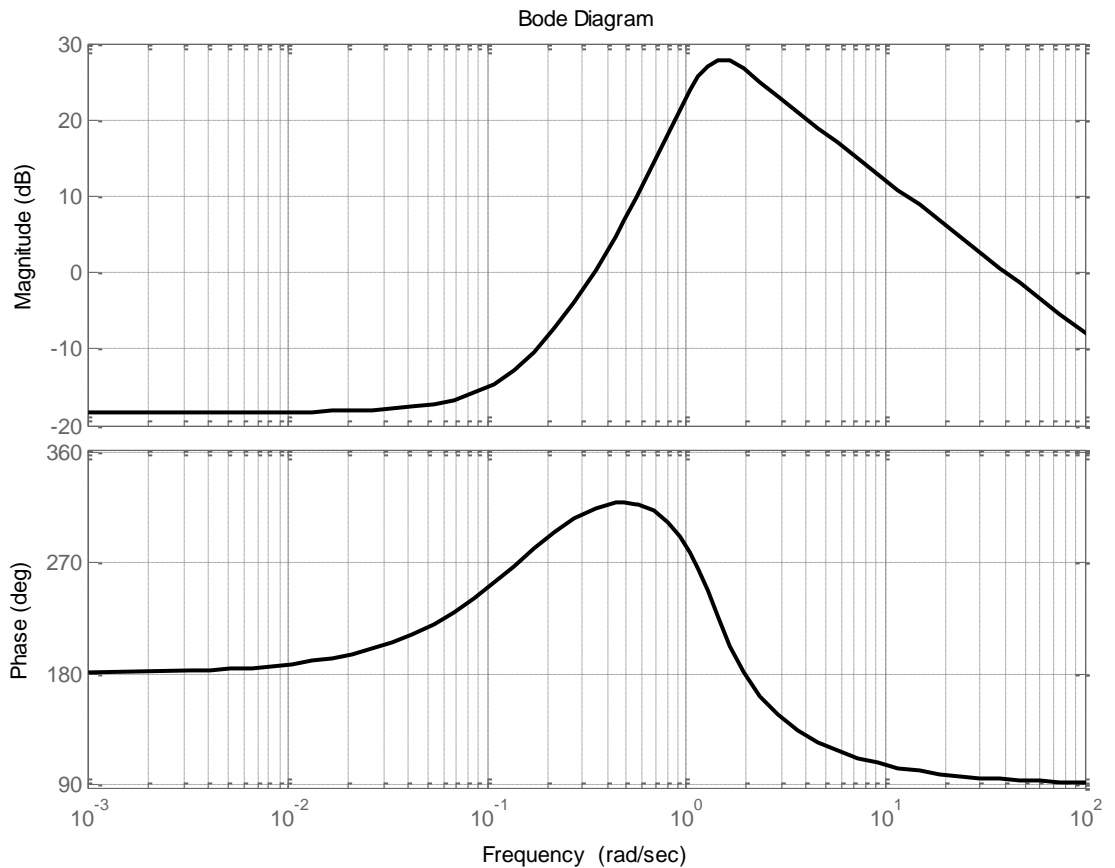


Рисунок 3.3 – Частотна характеристика оптимального регулятора

Отже, задача синтезу оптимального регулятора для системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі повністю виконана.

3.3 Моделювання роботи системи автоматичного керування температури повітря в охолоджувальній шафі.

Для підтвердження працездатності системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі та оцінки якості регулювання, розрахованого за допомогою синтезованого регулятора, застосовано метод імітаційного моделювання. У середовищі MATLAB з

використанням пакету Simulink була створена модель системи відповідно до структурної схеми, наведеної на рисунку 2.8.

Елементи системи автоматичного регулювання задавалися за допомогою блоку «Transfer Fcn» розділу Continuous бібліотеки Simulink. У цьому блоці передаточні функції елементів системи задаються через коефіцієнти поліномів чисельника та знаменника (рис. 3.4).

Таким чином були визначені блоки регулятора, виконавчого механізму, об'єкта регулювання та датчика температури.

Для задання збурюючого впливу використовувався блок «Band-Limited White Noise» розділу Sources бібліотеки Simulink (рис. 3.5). Цей блок генерує випадковий сигнал з нормальним розподілом амплітуд та рівномірною амплітудно-частотною характеристикою — «білий шум». У блоці задаються такі параметри: Noise power — потужність збурення щодо смуги частот сигналу; Sample time — час між відліками сигналу шуму, тобто час дискретизації; Seed — початкове значення генератора випадкових чисел.

Отже, цей блок генерує нормально розподілений випадковий сигнал, який використовується для формування сигналу з заданою спектральною щільністю (3.22). Щоб отримати такий сигнал, «білий шум» пропускають через формуючий фільтр, що формує сигнал із потрібною спектральною щільністю. Передаточна функція цього формуючого фільтру визначається з виразу спектральної щільності і матиме наступний вигляд:

$$F_{\psi_0}(s) = \frac{0.4444 (s + 1) (s + 0.1613)}{(s^2 + 0.3333s + 0.1111)} \quad (3.31)$$

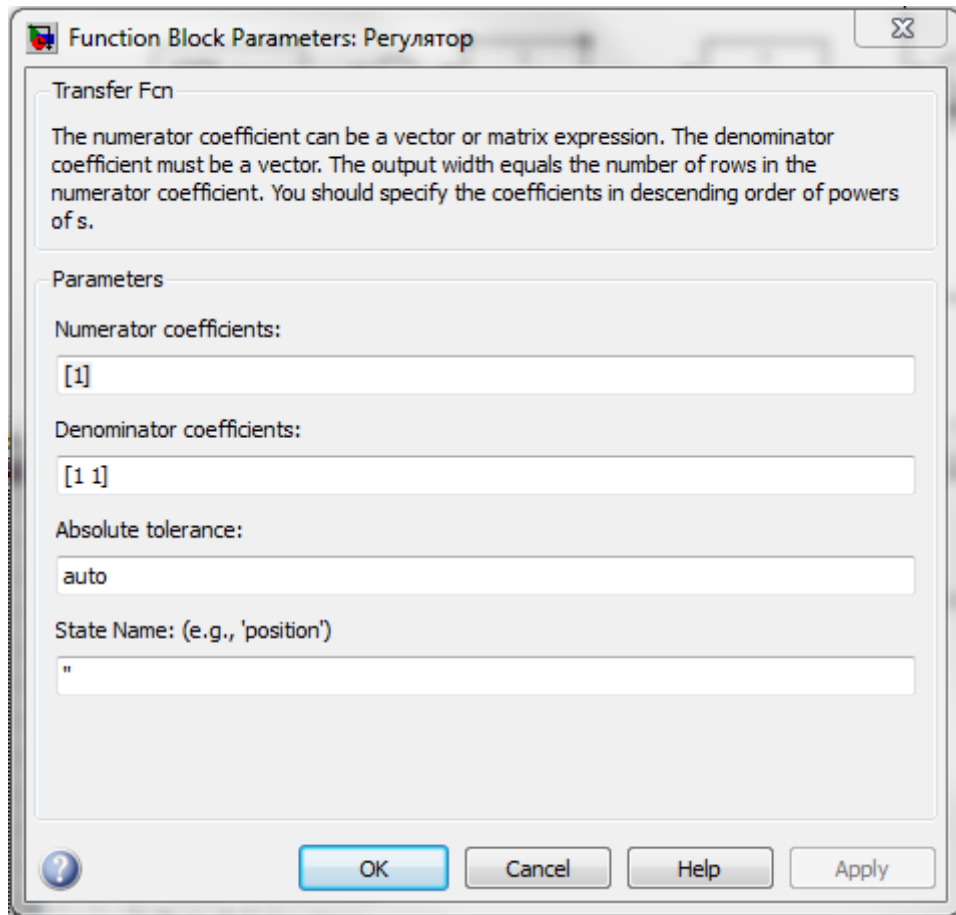


Рисунок 3.4 – Налаштування параметрів блоку «Transfer Fcn»

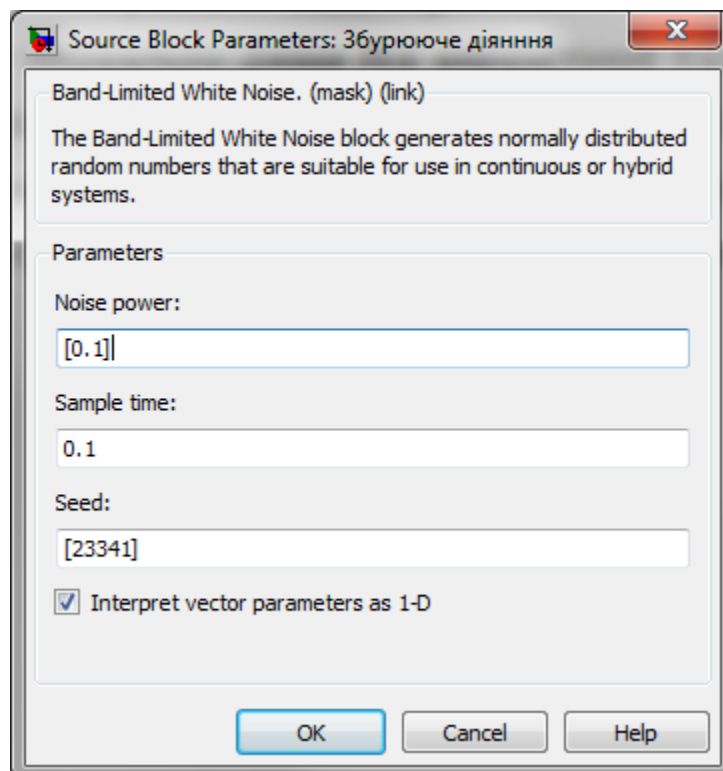


Рисунок 3.5 – Налаштування параметрів блоку «Band-Limited White Noise»

Для спостереження поточного значення температури та збурюючого впливу використано блок «Scope» розділу Sinks бібліотеки Simulink (рис. 3.6).

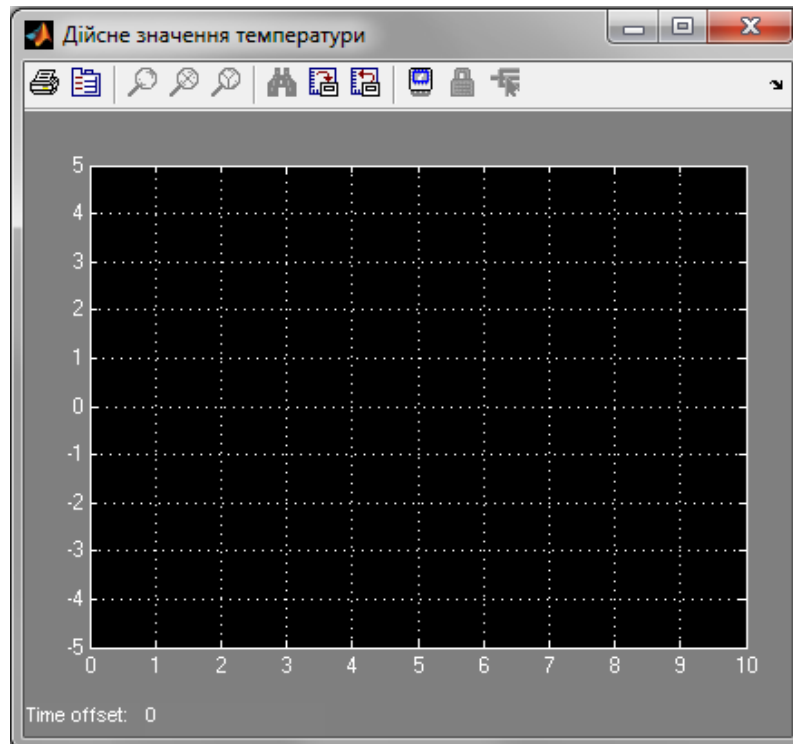


Рисунок 3.5 – Блок «Scope»

В результаті побудови була отримана модель системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі (рис. 3.7).

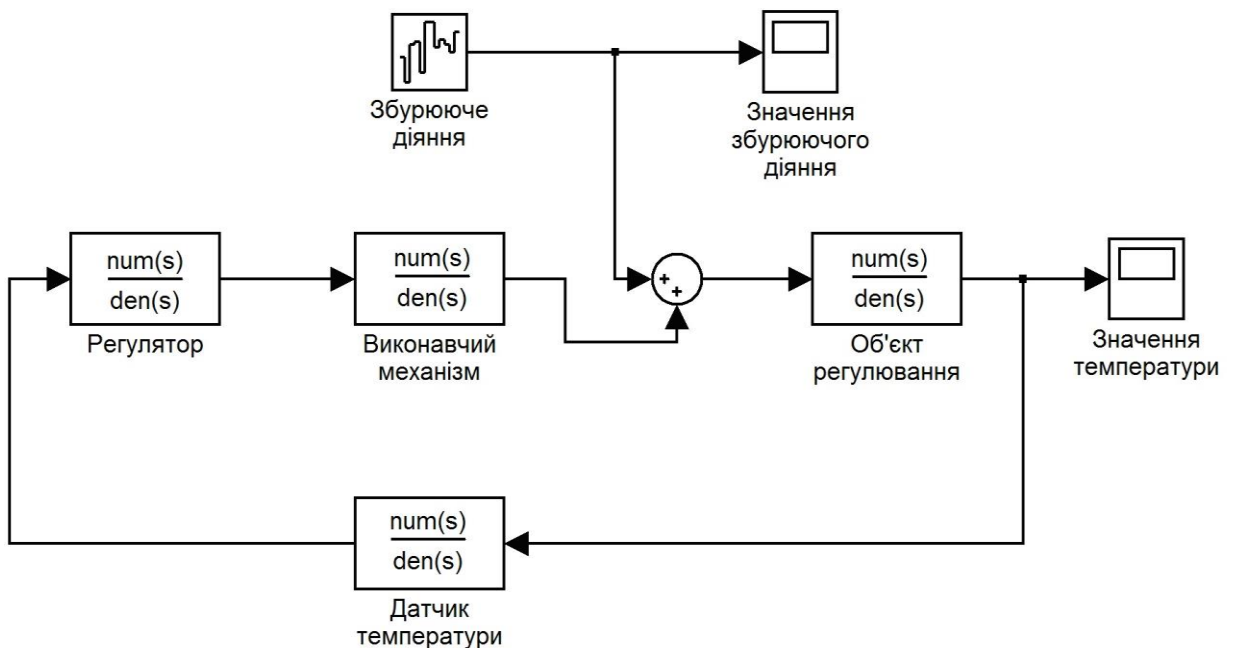


Рисунок 3.7 – Модель системи автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі

Моделювання виконувалося протягом 100 с. В результаті отримано графіки зміни збурюючого впливу (рис. 3.8) та відхилення температури повітря в охолоджувальній шафі від заданого значення (рис. 3.9).

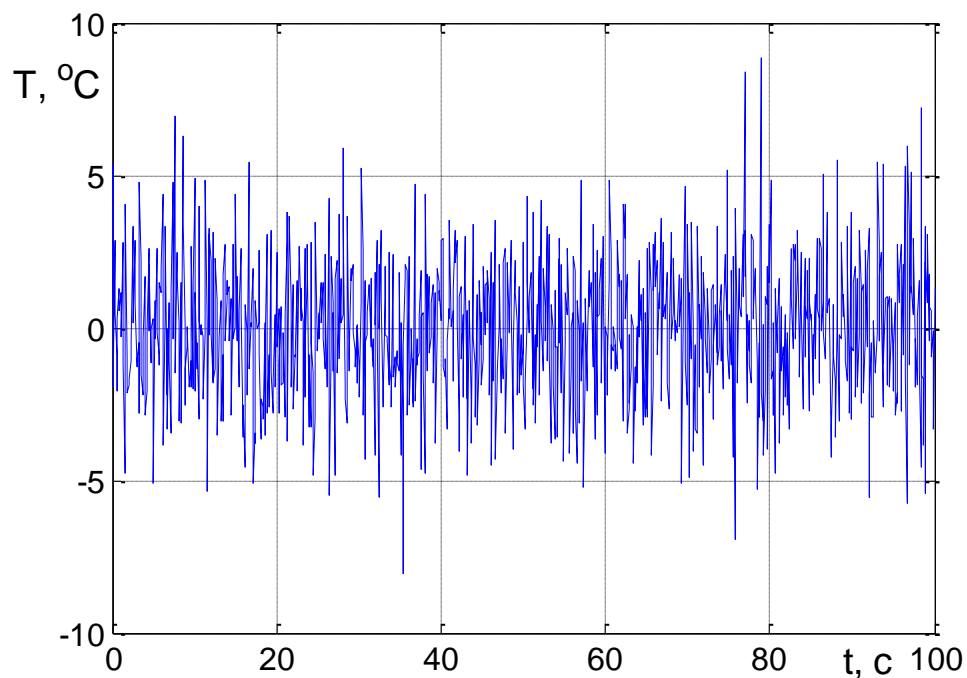


Рисунок 3.8 – Графік динаміки збурюючого впливу

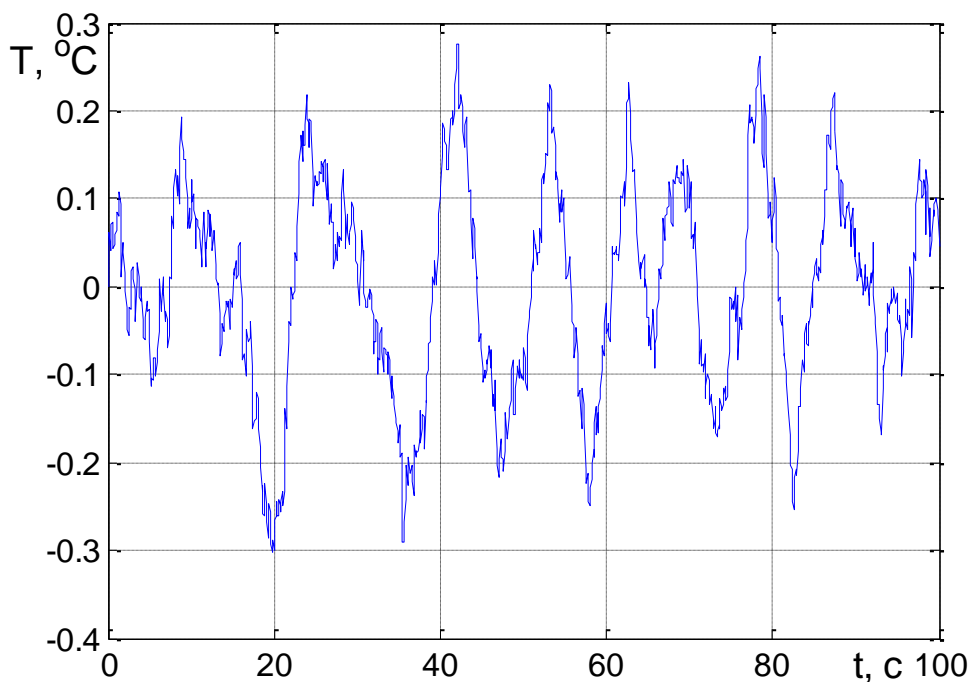


Рисунок 3.9 – Графік відхилення температури повітря в охолоджувальній шафі від заданого значення

Як видно з графіків, значення температури повітря в охолоджувальній шафі утримується в межах $\pm 0,3$ °С, тоді як збурюючий вплив змінювався в широкому діапазоні понад ± 5 °С. Аналіз статистичних даних за цими графіками показав:

-для збурюючого впливу:

середнє значення — $0,02$ °С;

середньоквадратичне відхилення — $2,26$ °С;

-для температури повітря:

середнє значення — $0,002$ °С;

середньоквадратичне відхилення — $0,12$ °С.

Отже, система автоматичного регулювання температури повітря в охолоджувальній шафі дозволила зменшити середньоквадратичне відхилення майже в 18 разів.

4 Практичне впровадження системи автоматичного регулювання

4.1 Встановлення періоду дискретизації

Перетворення неперервних сигналів у дискретні здійснюється за допомогою дискретного елемента системи, на виході якого формується послідовність імпульсів. Таким елементом може бути ключ К, який замикається через кожний період квантування T .

Вибір оптимального періоду квантування T є однією з ключових задач щодо ефективного використання машинного часу при реалізації систем цифрового керування. Зменшення T підвищує точність керування та завантаження мікроЕОМ, проте призводить до неекономного витрачання машинного часу. Навпаки, збільшення T знижує якість керування системою. Тому виникає необхідність знаходження компромісного рішення для задоволення цих суперечливих $\Theta(t)$ вимог. Вибір T залежно від спектра неперервної функції здійснюється на основі теореми Котельникова.

Теорема Котельникова. Функція часу $\Theta(t)$, яка не має гармонічних складових з частотами, вищими за частоту ω_{\max} , повністю визначається своїми значеннями у моменти часу nT , що відрізняються один від одного на періоди T

$$T = \frac{\pi}{\omega_{\max}} \quad (4.1)$$

Тобто частота квантування повинна обиратися відповідно до умови $\omega \geq \omega_{\max}$. У такому випадку дискретна решіткова функція точно відтворюватиме неперервну функцію

$$\Theta(t) = \Theta \left[n \cdot \frac{\pi}{\omega_{\max}} \right] \quad (4.2)$$

та при її квантуванні не відбуватиметься втрата інформації.

Максимальну частоту ω_{\max} у спектрі вихідного сигналу $\beta(j\omega)$ за амплітудно-частотною характеристикою замкненого контуру цифрового керування можна визначити за допомогою критерію Джури. Якщо на вхід регулятора подавати гармонічний одиничний сигнал $\alpha(t) = \sin \omega t$, то вихідний сигнал замкненого контуру можна представити у вигляді функції, тобто

$$\beta(j\omega) = \frac{W_p(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}{1 + W_p(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}. \quad (4.3)$$

З цього можна визначити частоту ω_{\max} , при якій $|\beta(j\omega)|$ набуває незначного значення, оскільки замкнена система згладжує високочастотні складові сигналу. Значення Θ_{om} визначає необхідну точність, яку слід забезпечити на виході системи.

Використовуючи вихідні дані, визначаємо оптимальний період квантування сигналів у цифровій системі.

Для цього обчислюємо добуток передаточних функцій елементів системи автоматичного регулювання, розташованих у гілці від програмного сигналу до вихідного сигналу

$$W_{np} = W_P W_{BM} W_{OP} = \frac{2.4 (s + 0.1667)}{(s^2 + 2.8s + 2.285) (s^2 + 0.9593s + 1.789) (s + 1)} \quad (4.4)$$

У гілці зворотного зв'язку розташований датчик температури зі своєю передаточною функцією

$$W_{зз} = W_{ДТ} = \frac{0.1667}{(s + 0.1667)} \quad (4.5)$$

При цьому необхідно забезпечити точність керування об'єктом у сталому режимі $\Theta_{om} = 0.1$

Частотна передаточна функція замкнутої системи задається наступним виразом:

$$\beta(j\omega) = \frac{W_{np}(j\omega) \cdot W_{зз}(j\omega)}{1 + W_{np}(j\omega) \cdot W_{зз}(j\omega)} = \Theta \quad (4.6)$$

Підставивши вирази (4.4) та (4.5) у (4.6), отримаємо наступне

$$\frac{0.4}{(j\omega + 1) (-\omega^2 + 2.8j\omega + 2.285) (-\omega^2 + 0.9593j\omega + 1.789) + 0.4} = 0.1 \quad (4.7)$$

Вирішуючи це рівняння, визначаємо частоту $\omega_{max} = 1.91$

Оптимальний обчислений період квантування сигналів.

$$T_{роз} = \frac{\pi}{\omega_{max}} = \frac{\pi}{1.91} = 1.65c \quad (4.8)$$

Приймаємо $T < T_{роз}$ $T = 0.1c$

Ми обираємо цей період дискретизації, оскільки для нас пріоритетом є досягнення максимальної точності системи.

4.2 Обчислення Z-перетворення передаточної функції регулятора.

Для впровадження мікропроцесорної системи регулювання потрібно виконати Z-перетворення передаточної функції регулятора, отриманої в результаті синтезу в розділі 3.2.

$$W = \frac{40.4381 (s + 0.25)(s + 0.1667)(s + 0.1613)}{(s^2 + 2.8s + 2.285) (s^2 + 0.9593s + 1.789)} \quad (4.9)$$

Розкладемо передаточну функцію регулятора на елементарні дроби:

$$W = \frac{54.73s + 49.63}{(s^2 + 2.8s + 2.285)} - \frac{14.29s + 38.73}{(s^2 + 0.9593s + 1.789)}. \quad (4.10)$$

Тепер здійснимо Z-перетворення за допомогою середовища MATLAB при заданому часі дискретизації $T_0 = 0.1$ с.

$$W_P(z) = \frac{4.982 z - 4.55}{z^2 - 1.736 z + 0.7558} + \frac{-1.546 z + 1.177}{z^2 - 1.891 z + 0.9085}. \quad (4.11)$$

$$W_P(z) = \frac{4.982 z^{-1} - 4.55z^{-2}}{1 - 1.736 z^{-1} + 0.7558z^{-2}} + \frac{-1.546 z^{-1} + 1.177z^{-2}}{1 - 1.891 z^{-1} + 0.9085z^{-2}} \quad (4.12)$$

За отриманою дискретною передаточною функцією регулятора формуємо відповідні різницеві рівняння.

$$u[n] = u_1[n] + u_2[n];$$

$$u_1[n] = 4.982 x[n-1] - 4.55 x[n-2] + 1.736u_1[n-1] - 0.7558 u_1[n-2];$$

$$u_2[n] = - 1.546 x[n-1] + 1.177 x[n-2] + 1.891 u_2[n-1] - 0.9085 u_2[n-2];$$

Схема програмної реалізації наведена на рисунку 4.1.

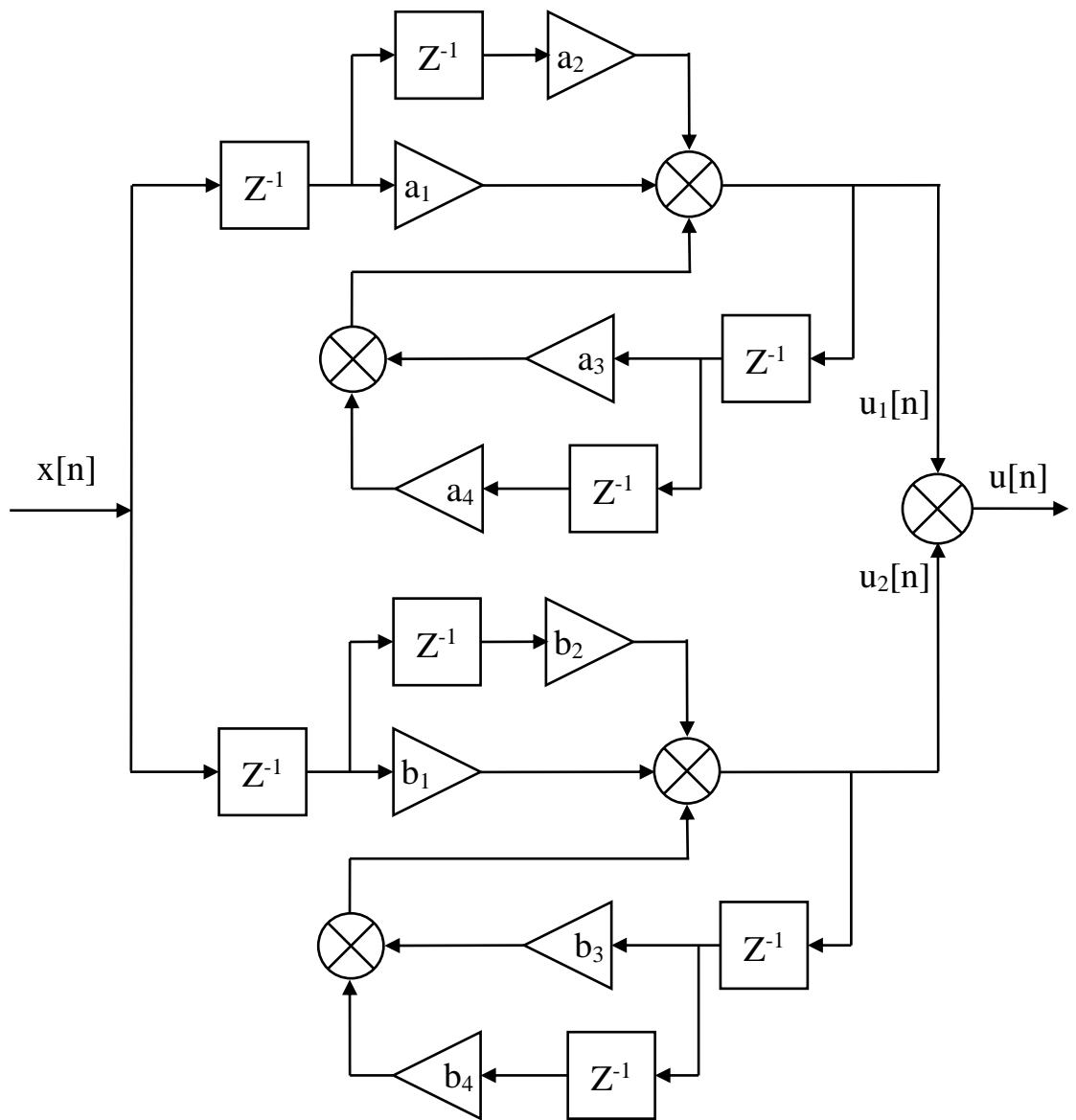


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритму програмної реалізації регулятора.

При цьому коефіцієнти мають такі значення:

$$a_1 = 4.982; a_2 = -4.55; a_3 = 1.736; a_4 = -0.7558;$$

$$b_1 = -1.546; b_2 = 1.177; b_3 = 1.891; b_4 = -0.9085.$$

На основі отриманої схеми програмної реалізації слід побудувати регулятор із застосуванням мікропроцесора.

4.3 Характеристика принципової схеми регулятора

Цифровий регулятор температури повітря в охолоджувальній шафі апаратно реалізований на мікроконтролері PIC16F873, який забезпечує

повний процес керування: формування інтерфейсу, аналого-цифрове перетворення та виконання необхідних математичних операцій. Мікроконтролер PIC16F873 належить до сімейства КМОП мікроконтролерів і відзначається наявністю внутрішньої пам'яті програм $1\text{K} \times 14$ біт EEPROM, 8-бітових даних та 64 байт EEPROM для зберігання даних. Мікроконтролери цього сімейства вирізняються низькою вартістю та високою продуктивністю.

Мікроконтролери цього сімейства оснащені високоефективною системою команд, що включає 35 інструкцій. Всі команди мають довжину одного слова (14 біт) і виконуються за один цикл (400 нс при частоті 10 МГц), за винятком команд переходу, які потребують двох циклів (800 нс). PIC16F873 підтримує переривання від чотирьох джерел та має восьмирівневий апаратний стек. Висока швидкість виконання команд забезпечується використанням двох шин у Гарвардській архітектурі замість традиційної одношинної архітектури фон-Неймана. Гарвардська архітектура базується на наборі регістрів із розділеними шинами та окремим адресним простором для команд і даних. Кожен регістр фізично реалізований і включає програмні об'єкти, такі як порти вводу/виводу, комірки пам'яті та таймери. Використання цієї архітектури дозволяє досягти високої швидкості виконання бітових, байтових і регістрових операцій, а також забезпечує конвеєрне виконання інструкцій, коли одночасно виконується поточна команда та зчитується наступна.

Периферійні пристрої включають восьмибітний таймер/лічильник з восьмибітним програмованим переддільником (що фактично утворює шістнадцятибітний таймер) та тринадцять двонаправлених ліній вводу/виводу.

Пристрій включає датчик температури, встановлений на об'єкті керування, який перетворює температуру в електричну напругу; логічні, керуючі та сигнальні модулі; блок індикації та клавіатуру, а також джерела живлення.

Логічний пристрій перетворює напругу, що надходить від датчика температури, і за допомогою логічних операцій за заданим алгоритмом формує сигнали для керуючого та сигнального блоків, а також для індикаційного вузла та клавіатури.

Імена виводів мікросхеми та їхні функціональні призначення наведені в таблиці 4.1.

Структура мікроконтролера включає: пам'ять програм EEPROM, регістр команд, восьмирівневий стек, мультиплексор адреси, програмний лічильник, декодер команд, три таймери TMR0, TMR1, TMR2, регістри спеціальних функцій FSR та STATUS, модуль аналого-цифрового перетворювача, арифметично-логічний пристрій (АЛП), акумулятор W, сторожовий таймер WDT, таймер запуску генератора PWRT, порти вводу/виводу A, B, C та мультиплексор.

Цей мікропроцесор оснащений двома типами пам'яті: програмною та даних. Кожен тип має окрему шину, що дозволяє організувати послідовний доступ до обох пам'ятей протягом одного машинного циклу. PIC16F873 містить тринадцятибітний програмний лічильник, здатний адресувати $8\text{ к} \times 14$ пам'яті програм, при цьому вектор скиду розташований за адресою 000H, а вектор переривань – за 0004H. Пам'ять даних поділена на банки, які включають регістри загального призначення (GPR) та регістри спеціальних функцій (FSR). Біти RP1 (STATUS<6>) і RP0 використовуються для вибору банку. Кожен банк має розмір 128 байт: регістри спеціальних функцій розташовані внизу банку, а над ними – регістри загального призначення, виконані як статична ОЗУ. Усі банки містять регістри спеціальних функцій.

Таблиця 4.1 – Позначення виводів мікросхеми та їхні функціональні призначення

Назва виводу	Призначення виводу
OSC1/CLKIN	Кварцовий резонатор/вхід зовнішнього генератора
OSC2/CLKOUT	Кварцовий резонатор/вихідCLOCKOUT в режимі RC,

	¼ частоти OCS1
MCLR/V _{PP}	Вхід зовнішнього скиду (активний низький) /вхід напруги програмування
	Двонаправлений порт А
RA0/AN0	Вивід RA0/аналоговий вхід 0
RA1/AN1	Вивід RA1/аналоговий вхід 1
RA2/AN2/V _{REF-}	Вивід RA2/ аналоговий вхід 2/ опорна напруга низького рівня
RA3/AN3/V _{REF+}	Вивід RA3/ аналоговий вхід 3/ опорна напруга високого рівня
RA4/TOSC1	Вивід RA4/ вхід синхронізації модуля нульового таймера, вихід з відкритим стоком
RA5/SS/AN4	Вивід RA5/аналоговий вхід 4/ керування виходом послідовного порту
	Двонаправлений порт В
RB0/INT	Вивід RB0/ вхід зовнішнього переривання
RB1	Вивід RB1
RB2	Вивід RB2
RB3	Вивід RB3
RB4	Вивід RB4/переривання від зміни на контакті
RB5	Вивід RB5/ переривання від зміни на контакті
RB6/PGC	Вивід RB6/ переривання від зміни на контакті
RB7/PGD	Вивід RB7/ переривання від зміни на контакті
RC0/TIOSO/TICK1	Вивід RC0/вихід кварцового резонатора або вхід зовнішнього генератора таймера 1
RC1/TIOSO/CCP2	Вивід RC1/вхід кварцового резонатора таймера 1 або вхід модуля CAPTURE/ вихід COMPARE2/ PWM2
RC2/CCP1	Вивід RC2/вхід CCP1 в режимі порівняння і ШІМ
RC3/SCK/SCL	Вивід RC3/вхід/вихід синхронізації SSP
RC4/SDI/SDA	Вивід RC4/вхід (режим SPI) або вихід (режим I2C) даних модуля SSP
RC5/SD0	Вивід RC5/вихід (режим SPI) даних SSP
RC6/TX/CK	Вивід RC6/ вихід передавача (асинхронний режим) або синхронізація (синхронний режим) USART
RC7/RX/DT	Вивід RC7/ вхід приймача (асинхронний режим) або дані(синхронний режим) USART

Окрім того, частина регістрів спеціальних функцій одного банку може дублюватися в інших банках, що полегшує програмування та забезпечує швидкий доступ до цих регістрів.

Сторожовий таймер призначений для запобігання критичним наслідкам у разі випадкових збоїв програми. Він також може

застосовуватися в задачах, пов'язаних з відліком часу. Принцип його роботи полягає в регулярному скиданні таймера програмою або зовнішнім впливом до закінчення встановленого часу, щоб уникнути перезавантаження процесора. Якщо програма працює коректно, команда скиду таймера виконується регулярно, що запобігає непередбаченому скиду процесора.

Регістри спеціальних функцій — це регістри, які використовуються центральним процесором та периферійними модулями для керування виконанням необхідних операцій. Вони реалізовані як статична пам'ять. Ці регістри поділяються на два типи: ті, що належать безпосередньо центральному процесору, та периферійні. Регістр STATUS містить інформацію про стан арифметично-логічного пристрою, а також біти вибору банку регістрів пам'яті даних. Він може адресуватися будь-якою командою так само, як і звичайні регістри.

Якщо регістр STATUS використовується як адресат команди, що змінює біти z , dc , c , то безпосередній запис у ці біти неможливий — вони встановлюються автоматично відповідно до результату виконаної операції. Крім того, результат операції з регістром STATUS може відрізнятися від початкового значення операнду.

Розглянемо принцип роботи регулятора. Перетворювач опору в напругу виконаний на мікросхемі LM324AN. Він включає генератор стабільного струму (ГСС) на операційному підсилювачі DA1.1, компенсатор лінії зв'язку на DA1.2, масштабний підсилювач сигналу (МПС) на DA1.3 та формувач віртуальної землі (ФВЗ) на DA1.4.

Генератор стабільного струму формує вимірюваний струм, який проходить через датчик і створює падіння напруги, пропорційне його опору. Вибір величини струму здійснюється з урахуванням таких факторів: оскільки перетворювач опору в напругу в цілому є підсилювачем постійного струму (ППС), для зменшення впливу дрейфу напруги зміщення операційного підсилювача на результат вимірювання струм слід вибирати максимально можливим. Проте величина струму обмежується типом

чутливого елемента та навантажувальною здатністю операційного підсилювача.

У якості бази для генератора стабільного струму використано пристрій, який є підсилювачем постійного струму з додатним і від'ємним зворотним зв'язком. Напряга, створена струмом генератора на датчику, надходить на компенсатор лінії зв'язку, який виконаний як інвертуючий підсилювач.

Необхідно враховувати, що провідники ліній зв'язку повинні мати однаковий переріз і бути виготовленими з одного матеріалу. Також важливо, щоб опори резисторів R9 та R13 були однаковими. Значення опору для резистора визначають шляхом поділу опору резистора R9 або R13 на два.

Резистор R11 служить для підтягування неінвертуючого входу DA1.2 до нуля у випадку обриву лінії зв'язку. Його опір має бути в 1000 разів більшим за опір датчика при максимальному положенні вала.

Напряга з виходу компенсатора лінії зв'язку подається на масштабний підсилювач сигналів DA1.3. Він виконаний за класичною схемою неінвертуючого підсилювача і підсилює сигнал до рівня, необхідного для коректної роботи вбудованого в ПІС-контролер аналого-цифрового перетворювача. Резистор R21 призначений для запобігання перенавантаженню входу АЦП під час переходу операційного підсилювача в режим насичення, коли його вихідна напруга досягає максимуму

$$U_{КТЗ} = U_{жив} - 1,5В$$

Апаратна частина інтерфейсу користувача включає шістнадцять кнопок:

- „0–9, *” – для введення числових значень;
- „Coef” – для переходу в режим введення коефіцієнтів різницевого рівняння;
- „Set” – для переходу в режим зміни параметрів;
- „Options” – для переходу в режим налаштувань системи.

Для зменшення кількості ліній і спрощення конструкції використовується динамічна індикація. Для її реалізації застосовуються регістр зсуву та дешифратор. Принцип роботи полягає в наступному: спочатку на дешифратор подається код 1111, внаслідок чого на всіх його виходах встановлюється логічна одиниця, і жоден розряд індикатора не світиться.

Далі в регістр заноситься код потрібного символу, після чого на дешифратор подається код, що відповідає обраному розряду індикатора.

Паралельно з оновленням даних індикатора здійснюється сканування клавіатури, що складається з шістнадцяти кнопок, розділених на дві групи по вісім. Спільні виводи кнопок кожної групи підключені до виводів RB6 та RB7 мікроконтролера. При натисканні будь-якої кнопки на один із входів подається логічний нуль з відповідного виходу дешифратора, що дозволяє визначити її код. Час перевірки стану кнопки не перевищує декількох мікросекунд.

Перемикання катодів індикаторів здійснюється за допомогою транзисторів VT1–VT4. Для подачі сигналу у разі виходу з ладу датчика температури використовується активний п'єзоелектричний випромінювач, який включає підсилювач і генератор сигналу з фіксованою частотою. Такий випромінювач не створює надмірного навантаження на порт мікроконтролера і забезпечує достатньо гучний звук.

Аналоговий сигнал керування порошковою муфтою формується за допомогою вбудованого в мікроконтролер модулятора ширини імпульсу. Мікроконтролер PIC16F873 оснащений двома виходами модулятора ширини імпульсу – RC1 і RC2. Модулятор генерує серію імпульсів з фіксованою частотою та періодом, а форма сигналу визначається зміною ширини кожного імпульсу. У даному випадку широтно-імпульсна модуляція забезпечує формування сигналу з програмованою частотою та коефіцієнтом заповнення.

Послідовність налаштування режиму широтно-імпульсного модулятора:

1. Задати період роботи модулятора;
2. Встановити ширину імпульсу;
3. Налаштувати контакти RC1 і RC2 як вихідні;
4. Встановити коефіцієнт попереднього дільника;
5. Перевести модуль CCP у режим широтно-імпульсного модулятора.

Для отримання вихідної напруги, пропорційної середньому часу перебування сигналу на високому рівні, використано низькочастотний фільтр. Щоб підсилити цю напругу до значення, необхідного для формування керуючого сигналу для транзисторних перетворювачів частоти, застосовані буферні підсилювачі DA9 та DA10.

Джерело живлення складається з трансформатора, випрямляючого моста, мікросхемних стабілізаторів та фільтруючих конденсаторів. Прецизійний термокомпенсований стабілізатор формує еталонну напругу, яка подається на вивід мікроконтролера, генератор стабільного струму та формувач віртуальної землі.

Ініціалізація мікроконтролера відбувається при подачі живлення через зовнішній сигнал на вхід MCLR. Після увімкнення мікроконтролер виконує підпрограми для налаштування портів A, B і C. Контакти порту A RA1 та RA3 налаштовуються як входи, а RA4 і RA5 — як виходи для організації зв'язку з персональним комп'ютером шляхом встановлення відповідних розрядів у регістрі TRISA. Контакти портів B і C налаштовуються як виходи за допомогою запису відповідних комбінацій у регістри TRISB та TRISC.

Порт A є двонаправленим портом вводу/виводу шириною шість бітів. При опитуванні стану його виводів відбувається зчитування безпосередньо їх стану, тоді як запис у порт оновлює значення регістру-засувки. Вивід RA4 суміщений із виводом таймера TMR0 (RA4/T0CK1). На вході контакт RA4/T0CK1 має тригер Шмідта, а на виході — відкритий сток транзистора.

Інші виводи порту оснащені вхідними буферами TTL та повними КМОП вихідними драйверами. Після запису даних у регістр порту вони автоматично з'являються на відповідних контактах I/O, звідки можна зчитувати їх стан. Усі операції запису виконуються за схемою «читання-модифікація-запис»: спочатку дані зчитуються з контактів порту, потім змінюються і записуються назад у регістр даних порту.

Порт В є восьмибітним двонаправленим портом вводу/виводу. Якщо встановити біти регістру TRISB у «1», відповідні виводи переходять у режим високого імпедансу, а запис «0» відкриває вихідні драйвери на вибраних контактах. Кожен вивід порту В має слабе внутрішнє підтягування через внутрішні ключі. Їх активація здійснюється записом «0» у розряд RBPU (OPTION_REG<7>), а при налаштуванні контакту як виходу ключі вимикаються автоматично.

Порт С — восьмибітний двонаправлений порт вводу/виводу. Кожен його розряд можна окремо налаштувати як вхід або вихід за допомогою регістру TRISC. Контакти порту С суміщені з функціями периферійних пристроїв, а на входах встановлені буфери з тригерами Шмідта.

З клавіатури у пам'ять мікроконтролера вводяться значення коефіцієнтів різницевого рівняння.

Регулювання температури розпочинається після отримання сигналу від системи дозування про завершення завантаження шоколадної маси у темперуючий циліндр. При цьому на виводі RA4 порту А встановлюється «1», а на RA5 — «0». Одночасно змінюється стан контакту RB7: сигнал RB7 = «1» означає завершення завантаження, а RB7 = «0» — що процес ще триває. Програма постійно опитує стан RB7. Коли на RB7 з'являється логічна одиниця, запускається таймер Timer0, який контролює тривалість операцій охолодження та нагрівання.

Модуль таймера 0 є таймером/лічильником і має такі функції:

- восьмирозрядний таймер/лічильник;
- можливість читання та запису значень лічильника;

- восьмирозрядний програмований попередній лічильник;
- вибір між зовнішньою та внутрішньою синхронізацією;
- генерація переривання при переповненні, тобто при переході від FFH до 00H;
- вибір фронту сигналу при зовнішній синхронізації.

Час усього технологічного циклу контролюється таймером Timer1. Якщо на клавіатурі натиснуто будь-яку клавішу, виникає сигнал переривання через зміну стану на виводах порту В, після чого виконується підпрограма обробки натискання. Окрім цього виду переривання, мікроконтролер підтримує ще 14 джерел переривань.

Регістр контролю переривань (INTCON) містить біти для керування загальними та локальними перериваннями. Біт загального переривання GIE (INTCON<7>) дозволяє всі немасковані переривання, якщо вони були попередньо активовані. Коли біт GIE встановлений, а також активні ознаки та маски переривань, переривання відбувається негайно. Локальні переривання можна заборонити, встановлюючи відповідні біти в регістрах.

Повернення з переривання здійснюється командою RETFIE, яка одночасно відновлює біт GIE для дозволу наступних переривань.

Регістр INTCON містить прапорці, які відповідають за переривання від входів RB0/INT порту В та за завершення циклу таймера TMR0. Прапорці периферійних переривань зберігаються в регістрах спеціальних функцій PIR1 та PIR2, а біти для дозволу цих переривань — у регістрах PIE1 і PIE2.

На початку переривання біт GIE скидається, що забороняє будь-які подальші переривання. Адреса повернення зберігається у стеку, а програмний лічильник встановлюється на адресу 0004H. У підпрограмі обробки переривань джерело визначається шляхом опитування відповідних прапорців. Прапорець переривання повинен бути скинутий перед наступним перериванням.

При зовнішньому перериванні, наприклад, на виході INT порту В, тривалість сигналу переривання становить 3–4 командні цикли.

Після цього формуються керуючі дії, і починається опитування датчика. Сигнал від датчика проходить через перетворювач опору в напругу, масштабний підсилювач та формувач віртуальної землі і надходить на вбудований у контролер аналого-цифровий перетворювач. Мікроконтролер оснащений восьмирозрядним модулем АЦП.

Після завершення перетворення пристрій видає цифровий результат, що відповідає аналоговому сигналу, шляхом послідовної апроксимації. Результат представлений у вигляді десятибітної цифрової комбінації. Модуль аналого-цифрового перетворювача використовує еталонні напруги високого та низького рівня.

Модуль аналого-цифрового перетворювача здатний працювати навіть у режимі „SLEEP” процесора. Для цього лічильник повинен живитися від RC-генератора. У роботі з АЦП задіяні чотири регістри:

- регістри результату ADRESH та ADRESL;
- регістри управління ADCON1 та ADCON0.

Керування модулем аналого-цифрового перетворювача виконується за допомогою регістру ADCON0. Регістром ADCON1 налаштовується конфігурація виводів порту, які можуть функціонувати як аналогові входи.

Регістри ADRESH і ADRESL зберігають десятибітний результат аналого-цифрового перетворення. Після завершення перетворення результат завантажується у цю регістрову пару, при цьому біт GO/DONE (ADCON0<2>) скидається, а прапорець переривання від АЦП (ADIF) встановлюється. Перед початком перетворення потрібно вибрати канал, на якому буде виконуватися АЦП. Канали аналогових входів повинні мати відповідні налаштування бітів регістру TRISA.

Порядок програмування модуля АЦП:

1. Налаштувати аналогові входи та джерело сигналу (ADCON1).
 - Вибрати канал для перетворення (ADCON0).

- Встановити джерело синхронізації (ADCON0).
 - Запустити модуль АЦП (ADCON0).
2. Налаштувати переривання від АЦП за потреби:
 - Скинути біт ADIF.
 - Встановити біт ADIE.
 - Встановити біт GIE.
 3. Витримати час для роботи пристрою вибірки/зберігання.
 4. Для початку перетворення встановити біти GO/DONE (ADCON0).
 5. Після завершення часу перетворення скинути біт GO/DONE або дочекатися переривання від АЦП.
 6. Результат перетворення знаходиться в регістрах ADRESH і ADRESL; за необхідності слід скинути біт ADIF.

Скидання біту GO/DONE під час перетворення призводить до переривання поточної операції. У цьому випадку вміст регістрів результату не оновлюється, тому ADRESH і ADRESL зберігають значення останнього завершеного перетворення (або останнє записане значення). Якщо в регістрову пару ADRESH і ADRESL ще не записаний результат АЦП, її можна використовувати як регістри загального призначення.

Час виконання перетворення для одного біту позначається як T_{AD} . Для десятибітного перетворення необхідно мінімум 12 T_{AD} . Щоб АЦП працював коректно, T_{AD} має становити 1,16 μ s.

Регістри ADCON1 і TRIS відповідають за налаштування виводів для аналого-цифрового перетворення. Виводи, визначені як аналогові, повинні мати відповідні біти регістру TRIS встановлені в режим введення. При скиданні біту в TRIS рівень сигналу на виводі змінюється на протилежний.

Для забезпечення точності перетворення необхідно повністю зарядити конденсатор зберігання C_{HOLD} напругою вхідного сигналу. Час перетворення одного розряду дорівнює T_{AD} , а повне восьмирозрядне перетворення виконується за 9,5 T_{AD} .

Висновки

1. Проаналізовано технологічний процес виробництва глазурованих цукерок, де ключовим етапом, що впливає на якість, є охолодження. Визначено динамічні характеристики об'єкта регулювання - охолоджувальної шафи та представлено його у вигляді аперіодичної ланки першого порядку.
2. Розроблено структурну схему системи автоматичного регулювання (САР) температури повітря в охолоджувальній шафі. На основі аналізу підбрано ключові елементи системи: датчик температури (ТСМ-0295/1) та виконавчий механізм (холодильна установка), для яких визначено відповідні передаточні функції.
3. Здійснено синтез оптимального регулятора на основі методів сучасної теорії управління з метою мінімізації інтегрального критерію якості та забезпечення стійкості системи. В результаті розрахунків отримано передаточну функцію оптимального регулятора.
4. Проведено імітаційне моделювання розробленої САР у середовищі MATLAB/Simulink для оцінки якості регулювання. Результати підтвердили високу ефективність системи: вона здатна підтримувати відхилення температури в шафі в межах $\pm 0,3$ °С та зменшує середньоквадратичне відхилення помилки майже у 18 разів порівняно зі збуреннями.
5. Розроблено проект практичної реалізації цифрового регулятора. Для цього визначено оптимальний період дискретизації ($T = 0,1$ с), виконано Z-перетворення передаточної функції регулятора та запропоновано принципову схему пристрою на базі мікроконтролера PIC16F873.

Список літератури

1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., – К.: Либідь, 2007. - 656 с.
2. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підручник/ Ладанюк А.П.,Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. – К.: Аграрна освіта, 2001 – 224 с.
3. Аналіз та синтез систем автоматичного керування в MATLAB. Навчальний посібник/ О.Г. Гурко, І.Ф.Єрмоєнко. – Харків: ХНАДУ, 2011. - 286 с.
4. А.П. Ладанюк Теорія автоматичного керування технологічних об'єктів: Навч. посіб. / А.П. Ладанюк, К.С. Архангельська, Л.О. Власенко – К.: НУХТ, 2014. – 274 с.
5. Автоматизація виробничих процесів: навч. посіб. / Б. М. Гончаренко, С. І. Осадчий, Л. Г. Віхрова [та ін.]. - Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2016. - 352 с.
6. Блохін Л.М., Буриченко М.Ю. Статистична динаміка систем управління: Підручник. – К.: НАУ, 2003. – 208 с.
7. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Бріцький О.І. Теорія автоматичного управління. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.
8. Технології конструювання сучасних конкурентоспроможних комплексів керування стохастичним рухом об'єктів : монографія / Л. М. Блохін та ін., Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2023. 292 с.
9. Ткаченко Р. Ю. Теоретичні та прикладні аспекти розробки комп'ютерних систем //Технології проектування і розробки інформаційних систем, 2018 – С. 234.
- 10.Åström K.J., Hägglund T. Advanced PID control. – ISA (The Instrumentation, System, and Automation Society) , 2006. — 460 p.
- 11.Matlab Documentation.[Електронний ресурс]. - Режим доступу: - <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/control>.
- 12.Simulink Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink>.

13. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. Львів : Афіша, 2005. 350 с.
14. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці : навч. посіб. 3-є вид., стереотипн. Львів : «Новий Світ – 2000». 2006. 232 с.
15. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.
16. Конституція України. Київ : Андронум, 2020. 60 с.
17. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 21.10.2024).
18. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 03.11.2024).
19. Про систему громадського здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#n840> (дата звернення 03.11.2024).
20. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 29.10.2024).
21. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14> (дата звернення 24.10.2024).
22. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 17.11.2024).
23. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 07.10.2024).
24. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. Київ :

Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

25. Вікіпедія. Вільна енциклопедія : веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 31.09.2024).
26. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.
27. Іванов В. Г., Дзюндзюк Б. В., Олександров Ю. М. Охорона праці в електроустановках : навч. посіб. / за ред. В. Г. Іванова. Київ : Око, 1994. 226 с.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Законодавчі та нормативні акти України з охорони праці

Поліпшення умов праці є одним з резервів зростання її продуктивності й економічної ефективності виробництва, а також подальшого розвитку самої людини.

В умовах науково-технічного прогресу в усіх галузях економіки, широкого впровадження сучасних засобів автоматизації виробничих процесів, а також нових форм організації праці, особливого значення набуває комплексне поняття «охорона праці».

Охорона праці (ОП) – система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [13, 14].

Правовою основою законодавства України щодо ОП є Конституція України; Закони України: «Про охорону праці», «Основи законодавства України про охорону здоров'я», «Про систему громадського здоров'я», «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування»; Кодекс цивільного захисту України (КЦЗ); Кодекс законів про працю України (КЗпП) [13, 14, 15].

Спеціальними юридичними документами в галузі ОП є Нормативно-правові акти з ОП (НПАОП), Державні стандарти України (ДСТУ), Державні будівельні норми (ДБН), різноманітні санітарні норми і правила, норми технічного проектування та інші нормативні акти, виходячи із сфери їх дії [13, 14, 15].

В ст. 43 Конституції України записано: «Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає», «Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну

плату, не нижчу від визначеної законом» [13, 16].

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України) [16]. Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, оплачуваної щорічної відпустки, встановленням і скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв.

У тексті ст. 46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості [13, 14, 15, 16].

Верховна Рада України 14.10.1992 р. прийняла Закон України «Про охорону праці». Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян про охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює, за участю відповідних державних органів, відносини між власником підприємства, установи, організації, або уповноваженим ним органом, і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації ОП в Україні. Його дія поширюється на всі підприємства, установи і організації, незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах [17]. Особливою рисою цього Закону України є високий рівень прав та гарантій працюючим. Вперше в історії держави робітникам було надано право відмовлення від роботи, у випадку існування на виробництві загрози для їхнього здоров'я та життя. Розширено права робітників у соціальних гарантіях відшкодування збитків у випадку пошкодження їх здоров'я на виробництві. Передбачається нова система фінансування ОП, формування системи страхування від нещасних випадків та профзахворювань, посилюється централізація планування. За державою закріплено функції нагляду та управління ОП [13, 14, 17].

У відповідності до ст. 49. Закону України «Про охорону праці» [17], за порушення законодавчих та інших нормативних актів з ОП, створення перешкод для діяльності посадових осіб органів державного нагляду за ОП і представників

професійних спілок винні притягаються до дисциплінарної, адміністративної та кримінальної відповідальності, згідно із законодавством.

Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» [18], від 19.11.1992 р., визначає правові, організаційні, економічні та соціальні засади охорони здоров'я в Україні, регулює суспільні відносини у цій галузі, з метою забезпечення гармонійного розвитку фізичних і духовних сил, високої працездатності і довголітнього активного життя громадян, усунення факторів, що шкідливо впливають на їх здоров'я, попередження і зниження захворюваності, інвалідності та смертності, поліпшення спадковості.

Закон України «Про систему громадського здоров'я» [19], від 06.09.2022 р., передбачає розробку й реалізацію адміністрацією підприємств санітарних та протиепідемічних заходів; здійснення лабораторного контролю за дотриманням вимог санітарних норм стосовно рівнів шкідливих факторів виробничого середовища; формування органів та установ державної санепідеміологічної служби при надзвичайних подіях або ситуаціях, що становлять небезпеку для здоров'я населення; відшкодування, в установленому порядку, працівникам та іншим громадянам збитків, яких завдано їх здоров'ю, в результаті порушення санітарного законодавства.

Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [20], від 08.02.1995 р., був прийнятий для регламентації заходів з ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи і запобігання подібним ситуаціям в майбутньому. Він охоплює всі сфери використання радіоактивних матеріалів та технологій, чи, навіть, просто контактування з ними. Закон встановлює пріоритет безпеки людини та навколишнього природного середовища, права і обов'язки громадян у сфері використання ядерної енергії, регулює діяльність, пов'язану з використанням ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання, встановлює також правові основи міжнародних зобов'язань України щодо використання ядерної енергії.

Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» [21] забезпечує право громадян на соціальний захист, яке

проголошується Конституцією України, зокрема в разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності. Окрім того, він створює правове поле, фінансові й організаційні механізми для успішного розв'язання триєдиного завдання: запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням, відновлення здоров'я та працездатності потерпілих на виробництві, компенсації потерпілим матеріальних збитків, внаслідок ушкодження здоров'я.

Страховання від нещасного випадку є самостійним видом загальнообов'язкового державного соціального страхування, за допомогою якого здійснюється соціальний захист, охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності. Основними принципами соціального страхування від нещасного випадку є наступні [13, 14, 21]:

- обов'язковий порядок страхування працівників, а також учнів та студентів навчальних закладів;
- сплату страхових внесків тільки роботодавцями;
- своєчасне та повне відшкодування шкоди потерпілим;
- надання державних гарантій застрахованим у реалізації їх прав тощо.

Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною державної діяльності щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства і навколишнього природного середовища. Основним юридичним документом, що регламентує вимоги щодо пожежної безпеки є, на сьогодні, КЦЗ [22]. Він з'явився як результат злиття кількох розрізнених Законів України, що діяли раніше, і визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення цивільного захисту на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі, незалежно від виду їх діяльності та форм власності. КЦЗ також регулює відносини, пов'язані із захистом населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, реагуванням на них, функціонуванням єдиної державної системи цивільного захисту, та визначає повноваження органів державної влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, органів місцевого самоврядування, права та обов'язки громадян України, іноземців та осіб без громадянства,

підприємств, установ та організацій, незалежно від форми власності.

КЗпП України [23] регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню на цій основі матеріального і культурного рівня життя трудящих, зміцненню трудової дисципліни і поступовому перетворенню праці на благо суспільства в першу життєву потребу кожної працездатної людини.

У КЗпП, зокрема, зазначені наступні положення [13, 14, 23]: забороняється залучати до надурочних робіт вагітних жінок і жінок, які мають дітей віком до трьох років (ст. 176), а також осіб молодших 18 років (ст. 192); забороняється застосовувати працю жінок на важких роботах і роботах із шкідливими або небезпечними умовами праці (ст. 174). В ст. 153 КЗпП зазначено про обов'язок роботодавця створювати безпечні та нешкідливі умови праці [13, 14, 23].

НПАОП до початку 2003 року носили назву Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП), – це правила, норми, положення, стандарти, інструкції та інші документи, обов'язкові до виконання [13, 14]. Законодавством передбачено, що, залежно від сфери дії, НПАОП можуть бути міжгалузевими і галузевими.

Велика частина правового поля регламентується такими нормативно-технічними актами, як ДСТУ. ДСТУ, як Національні стандарти, поступово, починаючи з 1992 р., замінили у всіх сферах стандарти колишнього СРСР (Міждержавні стандарти ГОСТ) [13, 14, 15].

Будь-які будови і споруди мають узгоджуватися з Державними будівельними нормами – ДБН – нормативними актами технічного характеру, що встановлюють обов'язкові вимоги до об'єкта нормування у будівництві. Об'єктами нормування у будівництві є: планування та забудова території, об'єкт будівництва, містобудування та архітектури і його складові частини, склад і зміст документації об'єктів будівництва, містобудування та архітектури тощо [13, 14].

Складовою частиною права в галузі гігієни праці є постанови та положення (норми) затверджені Міністерством охорони здоров'я України (наприклад, «Положення про медичний огляд працівників певних категорій», «Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх»), Державні санітарні правила і норми стосовно окремих факторів виробничого середовища, певних технологічних процесів і конкретних виробництв (ДСанПіН, ДСНП, ДСН, ДСП) [13, 14].

Серед норм, затверджених МОЗ України можна виділити: Граничні норми підймання і переміщення важких речей жінками; Граничні норми підймання і переміщення важких речей неповнолітніми; Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх; Положення про медичний огляд працівників певних категорій.

Доповнюють право у в галузі пожежної безпеки «Правила пожежної безпеки в Україні», постанови Верховної Ради України, укази і розпорядження Президента України, декрети, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України, рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, прийняті в межах їх компетенції [13, 14, 15]].

Оскільки електроенергія використовується практично у всіх технологічних процесах і галузях національної економіки, на виробництвах і в побуті всі громадяни мають керуватися діючими Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [24] та Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС) [25]. ПУЕ визначають будову, принципи улаштування, особливі вимоги до окремих систем, їх елементів, вузлів і комунікацій електроустановок; встановлюють вимоги до електроустановок загального призначення змінного струму напругою до 750 кВ та постійного струму напругою до 1,5 кВ. ПТЕЕС встановлюють основні організаційні й технічні вимоги до експлуатації електроустановок та електрообладнання напругою до 150 кВ включно.

Виходячи із специфіки і особливих умов на своїх підприємствах, власники можуть розробляти, на основі діючих НПАОП, і впроваджувати нормативні акти з ОП, що діють в межах об'єкта господарювання (підприємства). Такі нормативні акти можуть відхилитися від НПАОП лише у бік покращення умов для працюючого [13]. Серед типових нормативних актів підприємства з ОП можна виділити [13, 14]:

- Положення про систему управління ОП на підприємстві;
- Положення про службу ОП підприємства;
- Положення про комісію з питань ОП підприємства;
- Загальнооб'єктові та цехові інструкції щодо заходів пожежної безпеки;
- Порядок атестації робочих місць щодо їхньої відповідності нормативним актам з питань ОП;
- Інструкції з ОП для працюючих за професіями і видами робіт;
- Перелік робіт з підвищеною небезпекою;
- Наказ про організацію безкоштовної видачі працівникам певних категорій лікувально-профілактичного харчування;
- Наказ про порядок забезпечення працівників підприємства спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Цей перелік може змінюватись і доповнюватись, залежно від специфіки кожного конкретного підприємства.

Держава виступає гарантом створення безпечних і нешкідливих умов роботи для працівників підприємств, установ, організацій всіх форм власності.

А.2 Шкідливі та небезпечні фактори виробництва в процесі експлуатації системи автоматичного керування виробництвом глазуrowаних цукерок

На здоров'я людини, її життєдіяльність і життєздатність великий вплив мають небезпечні та шкідливі фактори.

Небезпека – це наслідок такої дії певних факторів на людину, яка при їх невідповідності фізіологічним характеристикам людини зумовлює феномен самої небезпеки [13, 14, 15].

Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності працівника [13, 14, 15].

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може привести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника [13, 14, 15].

Здоров'я – стан фізичного, душевного і соціального благополуччя, а не тільки відсутність хвороб і фізичних дефектів [13].

Дія окремих несприятливих факторів виробничого середовища може призвести до виробничої травми – порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок впливу виробничих факторів [13, 14, 15].

До визначаючих ознак небезпечних і шкідливих факторів відносяться: можливість безпосередньої негативної дії на організм людини; ускладнення нормального функціонування органів людини; можливість порушення нормального стану елементів виробничого процесу, в результаті якого можуть виникнути аварії, вибухи, пожежі, травми [13, 14].

Конкретні умови діяльності істотно впливають на психічні та життєво важливі функції людини. Якщо вплив факторів (з врахуванням їх взаємодії) в конкретних умовах діяльності такий, при якому забезпечується нормальне здійснення психічних та життєво важливих функцій організму, не виникає високого напруження компенсаторних систем організму і вдало виконується задана трудова діяльність, то такі умови можуть бути визначені як *сприятливі*, або *комфортні*, а в найкращих умовах – як *оптимальні*. Коли в силу дії факторів виникає високе напруження компенсаторних систем організму, то такі умови визначаються як *несприятливі*, або *дискомфортні*, а при вираженому несприятливому ефекті – як *екстремальні* [13].

Залежно від кількісної характеристики (рівня, концентрації тощо) і

тривалості впливу, шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за своїм походженням та природою дії прийнято поділяти на такі групи:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

Аналіз виробничого травматизму та профзахворюваності дозволяє виявити причини і визначити закономірність їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики останніх. Оцінка умов праці проводиться на підставі Гігієнічної класифікації умов праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [14].

Розглянемо більш докладно шкідливості та небезпеки, які можуть впливати на обслуговуючий персонал у процесі експлуатації системи автоматичного керування виробництвом глазурованих цукерок.

Так суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює *мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях*, що визначається діючою на організм людини сукупністю температури, вологості, руху повітря та теплового випромінювання нагрітих поверхонь. Мікроклімат виробничих приміщень, в основному впливає на тепловий стан організму людини та її теплообмін з навколишнім середовищем. Параметри мікроклімату справляють безпосередній вплив на самопочуття людини та її працездатність. Зниження температури призводить до зростання тепловіддачі шляхом конвекції та випромінювання і може зумовити переохолодження організму. Підвищення швидкості руху повітря погіршує самопочуття, оскільки сприяє підсиленню конвективного теплообміну та процесу тепловіддачі та випаровуванні поту. При підвищенні температури повітря мають місце зворотні явища. Встановлено, що при температурі повітря понад 30°C працездатність людини починає падати [13, 14, 15]. За такої високої температури та вологості практично все

тепло, що виділяється, віддається у навколишнє середовище при випаровуванні поту. Недостатня вологість призводить до інтенсивного випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та розтріскування, забруднення хвороботворними мікробами. Вода та солі, котрі виносяться з організму з потом, повинні заміщуватись, оскільки їх втрата призводить до згущення крові та порушення діяльності серцево-судинної системи. Тривалий вплив високої температури, у поєднанні зі значною вологістю, може призвести до накопичення теплоти в організмі і до гіпертермії. За зниженої температури, значної рухомості та вологості повітря виникає переохолодження організму (гіпотермія).

Машини, що рухаються, механізми, обертові та інші пересувні елементи устаткування створюють *можливість механічного травмування працівників*.

До шкідливих виробничих факторів під час експлуатації системи автоматичного керування виробництвом глазурованих цукерок належать також *шум та вібрація*.

Шумом є різні звуки, що заважають нормальній діяльності людини і викликають неприємні відчуття. Шум виникає при механічних коливаннях в твердих, рідких і газоподібних середовищах. Звук являє собою коливальний рух пружного середовища, який сприймається людським органом слуху. Підвищення звукового тиску негативно впливає на орган слуху. Об'єктивно дія шуму проявляється у вигляді підвищення кров'яного тиску, прискореного пульсу і дихання, зниження слуху, послаблення уваги, деякі порушення координації руху, зниження працездатності. Суб'єктивно дії шуму можуть виражатися у вигляді головного болю, запаморочення, безсоння, загальної слабкості. Комплекс змін, які виникають в організмі під впливом шуму, останнім часом розглядається медиками як «шумова хвороба» [13, 14, 15].

Вібрація серед всіх видів механічних впливів для технічних об'єктів найбільш небезпечна. Знакозмінні напруження, викликані вібрацією, сприяють накопиченню пошкоджень в матеріалах, появі тріщин та руйнуванню. Найчастіше і досить швидко руйнування об'єкта настає при вібраційних впливах за умов резонансу. Вібрації виникають при роботі машин та механізмів, які

мають неврівноважені та незбалансовані частини, що обертаються чи здійснюють зворотно-поступальний рух. Загальна вібрація викликає струс всього організму, а місцева залучає до коливального руху окремі частини тіла. Коливання робочих місць із зазначеними резонансними частотами дуже небезпечні, оскільки можуть викликати навіть механічні пошкодження і розрив цих органів. Систематична дія загальних вібрацій в резонансній або біля резонансній частоті може стати причиною виникнення професійного захворювання – «вібраційної хвороби» [13, 14, 15].

Вплив пилу та шкідливих речовин, що знаходяться в повітрі робочої зони на організм людини. Шкідливими вважаються речовини, що при контакті з організмом людини за умов порушення вимог безпеки можуть призвести до виробничої травми, професійного захворювання або розладів у стані здоров'я [13, 14, 15].

До біологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать *патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, мікроскопічні гриби та ін.) і продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини, комахи, тварини).*

Для створення нормальних умов виробничої діяльності, за показниками, зазначеними у двох попередніх абзацах, необхідно забезпечити чистоту повітря [13, 14, 15].

Вплив на організм людини електромагнітних полів пов'язаний з частковим поглинанням їх енергії тканинами тіла, що викликає тепловий ефект. Найбільшому впливу піддаються головний та спинний мозок та очі [13].

Пожежо- та вибухонебезпечність. При недостатній увазі до особливостей виробничого обладнання та технологічного процесу, а також неправильному зберіганні горючих та вибухонебезпечних речовин вони можуть стати джерелом пожежі або вибуху.

Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори – це *фізичні і нервово-психічні перевантаження* різної природи, *монотонність праці, негативні взаємовідносини* між членами трудового колективу [13].

Недостатнє освітлення викликає передчасну втому, притупляє увагу працюючого, знижує продуктивність праці, погіршує якісні показники та може стати причиною нещасного випадку.

Серед факторів зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, світло займає одне з перших місць [13, 14, 15]. Під час здійснення будь-якої трудової діяльності втомлюваність очей, в основному, залежить від напруженості процесів, що супроводжують зорове сприйняття. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань, наприклад, таких як робоча міопія (короткозорість), спазм акомодатції.

Дія електричного струму на організм людини своєрідна та несе різнобічний характер [13, 14, 15]. Всі види дії електричного струму на організм людини можна об'єднати в два основних: *електричні травми* та *електричні удари*.

Також не слід забувати про *можливість ураження устаткування і персоналу природною електрикою* – блискавкою, яка виникає в періоди підвищеної грозової активності (цьому може сприяти наявність високих виробничих споруд) [13, 14, 15].

А.3 Заходи з усунення чи зменшення впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів в процесі експлуатації системи автоматичного керування виробництвом глазурованих цукерок

Заходи щодо попередження нещасних випадків передбачають роботу з монтажу, технічного обслуговування і ремонту устаткування, в суворій відповідності з вимогами правил і інструкцій із техніки безпеки. Виробнича санітарія передбачає комплекс організаційних, гігієнічних і санітарно-технічних заходів, що запобігають впливові шкідливих виробничих факторів на працюючих.

Параметри мікрокліматичних умов та складу повітря в виробничих

приміщеннях підтримуються за допомогою кондиціонування. При виконанні робіт операторського типу в кабінетах, пультах і постах керування технологічними процесами, в залах обчислювальної техніки та інших приміщеннях повинні дотримуватися оптимальні умови мікроклімату:

- температура – 22...24°C;
- відносна вологість – 40...60 %;
- швидкість руху повітря – $\leq 0,1$ м/с.

Це відповідає вимогам Державних санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Для запобігання механічному травматизму від рухомих частин обладнання та нагрітих елементів конструкцій застосовуються різноманітні капоти, екрани, огороження, що унеможливають безпосередній контакт устаткування із частинами тіла працівника. Для того, щоб запобігти виникненню небезпеки при раптовому вимкненні джерел енергії всі робочі органи, а також пристрої, які використовуються для захоплення, затискування та підймання заготовок, деталей виробів, тощо, повинні оснащуватись спеціальними захисними пристосуваннями. Причому необхідно унеможливити самовільне вмикання робочих органів при відновленні подачі енергії.

Для зниження рівня шумів і вібрацій застосовується раціональне планування приміщення, при якому джерело шуму або ізольоване звукопоглинальними кожухами і капотами, або відокремлене від працівників пересувними звукопоглинальними перегородками. Крім того стіни приміщень обладнуються звукопоглинальним личкуванням. електродвигуни та інше вібруюче обладнання має бути встановлене на гумових або пружинних підкладках-амортизаторах; з'єднання вентиляторів і повітропроводів на гнучких вставках.

Заходи по оптимізації складу повітря робочої зони. Одним з основних заходів боротьби із запиленістю та загазованістю повітря в виробничих приміщеннях, а також *найбільш дієвим заходом боротьби із хімічними та біологічними впливами* на працівників являється забезпечення належного обміну

повітря. Загальнообмінна вентиляція повинна розроблятися таким чином, щоби виключалася можливість надходження повітря із приміщення з більшими пилоутвореннями в приміщення з меншим виділенням пилю. Має здійснюватись постійний моніторинг і контроль за вмістом шкідливих речовин в повітрі робочої зони. За необхідності мають застосовуватись засоби індивідуального захисту. Періодично і регулярно мають проводитись заходи з дератизації, дезінсекції, дезінфекції.

Для захисту персоналу від впливу електромагнітних полів використовують різноманітні способи та засоби: зменшують напруженість та густину потоку електромагнітного випромінювання; екранують робочі місця; віддаляють робочі місця від джерела електромагнітного поля; раціонально розміщують в робочому приміщенні обладнання, що випромінює електромагнітну енергію; встановлюють раціональні режими роботи обладнання та обслуговуючого персоналу; застосовують засоби попереджувальної сигналізації й засоби індивідуального захисту.

Пожежо- та вибухобезпека. Протипожежна профілактика передбачає заходи по попередженню та ліквідації пожеж, включаючи обмеження сфери розповсюдження вогню та забезпечення успішної евакуації людей та майна із приміщень, які горять.

Всі виробничі приміщення обладнуються протипожежними щитами, засобами пожежогасіння планами евакуації, інструкціями та знаками безпеки. При розробці планів ліквідації аварій має бути зроблений розрахунок і прийнятий режим вентиляції, що сприяє, у випадку виникнення пожежі, запобіганню перекидання вентиляційного струменя і поширенню газоподібних продуктів горіння, зниженню активності пожежі, створенню сприятливих умов для його гасіння й попередження вибухів горючих газів.

Улаштування на території підприємства складів для зберігання горючих та вибухонебезпечних речовин виконуються із суворим дотриманням протипожежних вимог.

Регулярно повинні проводитись інструктажі з протипожежної безпеки і

об'єктові тренування з евакуації та уміння використовувати засоби пожежогасіння.

Найбільш дієвим способом *захисту від психофізіологічних небезпечних і шкідливих впливів* на працівника є правильна організація його робочого часу та місця роботи. Мають бути раціонально сплановані робочі зміни та час відпочинку, надаватись технологічні та гігієнічні перерви, створюватись позитивний моральний клімат у трудовому колективі.

Щоб уникнути негативних реакцій на монотонність праці, необхідно при прийнятті на роботу проводити співбесіду та відповідне тестування, аби пересвідчитись у спроможності працівника здійснювати монотонну роботу протягом усього робочого часу.

Заходи по раціональному розрахунку освітлення. Для запобігання шкідливих результатів недостатнього освітлення необхідна наявність раціонального освітлення приміщень та робочих місць. При проектуванні природного та штучного освітлення в виробничих і допоміжних будівлях та приміщеннях, а також штучного освітлення на території підприємства необхідно враховувати вимоги будівельних норм та правила по проектуванню природного та штучного освітлення, а також вимоги галузевих норм проектування освітлення, розроблених та затверджених у відповідності із встановленим порядком.

Заходи із захисту від враження електричним струмом та природною електрикою. Заходи по захисту від електротравматизму забезпечують: недоступність струмопровідних частин для випадкового дотику; понижені напруги та струми; наявність систем захисного заземлення та захисного занулення установок; автоматичне відключення; індивідуальний захист та інше. Обладнання має бути оснащене засобами сигналізації про порушення нормального режиму роботи, а, у необхідних випадках (аваріях, небезпечних пошкодженнях, режимах близьких до небезпечних), – засобами автоматичної зупинки, гальмування та від'єднання від джерела енергії. Підлоги у виробничих приміщеннях мають бути вкриті струмонепровідним покриттям. Обов'язково

мають бути дотримані терміни огляду та виміру опору заземлюючих пристроїв. Для запобігання враженням промислових об'єктів, споруд, устаткування та персоналу природною електрикою (блискавкою) обов'язково має бути побудована система стрижневого або тросового блискавкозахисту. Всі працівники мають пройти навчання та перевірку знань з правил електробезпеки.

Розрахуємо систему захисного заземлення для електрообладнання дільниці із виготовлення глазурованих цукерок.

А.4 Розрахунок системи захисного заземлення для електрообладнання дільниці із виготовлення глазурованих цукерок

Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання з землею металевих частин устаткування, що не проводять струм, але можуть попасти під напругу. Якщо при цьому частини устаткування не мають контакту з землею, дотик до них так само небезпечний, як і дотик до фази

Головне призначення захисного заземлення – понизити потенціал на корпусі електричного устаткування до безпечної величини.

Згідно з вимогами ПУЕ [24], промислове устаткування підлягає захисному заземленню:

- у помешканнях із підвищеною небезпекою та у зовнішніх установках заземлення є обов'язковим при номінальній напрузі електроустановки вище 42 В змінного і 110 В постійного струму;
- у помешканнях без підвищеної небезпеки заземлення є обов'язковим при напрузі 380 В і вище змінного та 440 В і вище постійного струму;
- у вибухонебезпечних приміщеннях заземлення виконується незалежно від значення напруги.

Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювачів – провідників (електродів), які сполучених між собою і знаходяться у безпосередньому контакті з землею і заземлюючих провідників, які з'єднують

частини електричної установки з заземлювачем.

Заземлюючий пристрій складається з заземлювача і з'єднувальної стрічки. Розрізняють заземлювачі штучні, призначені винятково для цілей заземлення, і природні (металеві конструкції, які знаходяться в землі, комунікації іншого призначення). У якості штучних заземлювачів використовують: сталеві труби діаметром 35...50 мм; кутову сталь (40×40...60×60 мм) з товщиною стінок не менше 3,5 мм (для зварювання) і довжиною 2,5...3,0 м; пруткову сталь діаметром не менше 10 мм (довжиною до 10 м); сталеві шини перетином не менше 100 мм². Вертикальні заземлювачі з'єднують у контур стрічкою зі сталі перетином не менше 4×12 мм або круглого перетину діаметром не менше 6 мм за допомогою зварювання [13, 14, 15].

У якості природних заземлювачів можна використовувати:

- металеві конструкції й арматуру залізобетонних конструкцій будинків та споруд, які мають з'єднання з землею;
- прокладені в землі водопровідні труби і свинцеві оболонки кабелів;
- обсадні труби артезіанських колодязів та свердловин.

При цьому забороняється використовувати в якості природних заземлювачів трубопроводи з пожежо- та вибухонебезпечними рідинами і газами, алюмінієві оболонки кабелів і алюмінієвих провідників.

В залежності від місця розміщення заземлювачі щодо заземленого устаткування розрізняють два типи улаштування: виносне і контурне заземлення. Відповідно і заземлювачі бувають двох типів: виносні й контурні.

Перевагою виносного пристрою є можливість вибору місця розміщення електродів заземлювача з найменшим опором ґрунту (сире, глинисте, у низинах тощо). Тут заземлені корпуса знаходяться поза нулем розтікання, тобто виносне заземлення захищає тільки за рахунок малого опору заземлення.

Контурний пристрій характеризується тим, що електроди його розміщаються по контуру (периметру) ділянки, на якій знаходиться устаткування, а також усередині цієї площадки. Тут будь-яка точка поверхні ґрунту всередині контуру має значний потенціал. Внаслідок цього різниця

потенціалів між точками, що знаходяться усередині контуру, мала і коефіцієнт доторку α набагато менше одиниці. Струм крізь людину, яка торкається корпусу, менше, ніж при виносному заземленні.

Іноді при виконанні контурного заземлення усередині контуру прокладають горизонтальні стрічки, які додатково вирівнюють потенціали всередині контуру (заземлювач у вигляді сітки). Всередині приміщень вирівнювання потенціалу відбувається природним шляхом, за рахунок наявності металевих конструкцій, трубопроводів, кабелів і подібних їм провідних предметів, пов'язаних із розгалуженою мережею заземлення. Щоб зменшити напругу кроку за межами контуру, уздовж проходів і проїздів, у ґрунт закладають спеціальні шини.

У спорудах прокладають магістраль заземлення (усередині споруди уздовж стін), до якої приєднують паралельно заземляючи проводи від корпусів електроустаткування, яке підлягає заземленню (послідовне вмикання заземлюючого устаткування не припускається). При цьому приєднання заземлюючої магістралі до заземлювача (штучного або природного) виконується в двох місцях. З'єднання заземлюючих провідників між собою, а також із заземлювачами і заземленими конструкціями виконуються, як правило, зварюванням, а з корпусами апаратів та іншого устаткування - зварюванням або за допомогою болтів.

Для зв'язку вертикальних електродів і в якості самостійного горизонтального електрода застосовується сталеві стрічка перетином 4×12 мм. Для установки вертикальних заземлювачів попередньо риють траншею глибиною $0,7 \dots 0,8$ м, після чого забивають труби або кутки за допомогою механізмів. Верхні кінці занурених у землю вертикальних електродів з'єднують сталеві стрічкою за допомогою зварювання. У таких же траншеях прокладають горизонтальні електроди на ребро для кращого контакту з землею. Відповідно до вимог ПУЕ [24], для установок напругою до 1000 В з встановленою потужністю понад 100 кВт допустимий опір заземлюючого контуру $R_{нрпн}$ повинен бути не більше 4 Ом.

Початкові дані для розрахунку

1. Об'єкт, що захищається – електрообладнання дільниці із виготовлення глазуrowаних цукерок.

2. Напруга мережі – ~400 В.

3. Виконання мережі – з глухозаземленою нейтраллю.

4. Тип заземлювального пристрою – вертикальний.

5. Розміри вертикальних заземлювачів: довжина $l_B = 3$ м, сталеві труби діаметром $d = 0,04$ м.

6. Відношення відстані між трубами до їхньої довжини

$$\frac{L_B}{l_B} = 1.$$

7. Розміри горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки): довжина $L_G = L_{з.с.}$ – згідно з розрахунком, м; ширина стрічки $b_C = 0,04$ м.

8. Глибина закладання вертикальних заземлювачів:

– вертикальних:

$$h_B = 0,8 \text{ м};$$

– горизонтальних:

$$h_G = 0,8 \text{ м}.$$

9. Тип ґрунту – чорнозем ($\rho_{табл} = 200$ Ом·м, за табл. 7.2 [15]).

10. Кліматична зона – II.

Оскільки до заземлюючого пристрою приєднані корпуси обладнання напругою до 1000 В, його припустимий опір повинен задовольняти умові $R_{прип.} \leq 4$ Ом.

Заземлювач складається з вертикальних електродів (стержнів) довжиною 3 м, які занурюють (забивають) в ґрунт у спеціально підготовлену навколо захисної території траншею (Рис. А.1). Вертикальні заземлювачі з'єднують за периметром сталевією стрічкою шириною $b_C = 0,04$ м. Прокладають магістраль

заземлення до якої приєднують заземлюючі дроти. Магістраль з'єднують із заземлювачем не менше ніж в двох місцях.

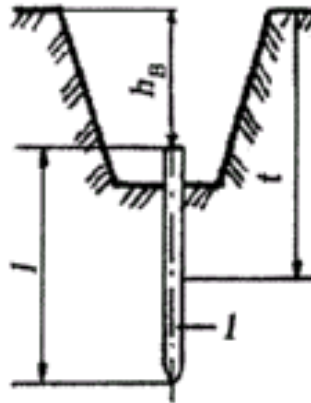


Рисунок 6.1 – Встановлення стержневого заземлювача у траншею:

$$l = 3 \text{ м}, d = 40 \text{ мм}, h_B = 0,8 \text{ м}$$

Розрахунок

1. Визначаємо $K_{C.B.}$ – коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів для даної кліматичної зони II.

За табл. 7.4 [15], приймаємо $K_{C.B.} = 1,5$.

2. Визначаємо $K_{C.Г.}$ – коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача для даної кліматичної зони II.

За табл. 7.4 [15], приймаємо $K_{C.Г.} = 3,5$.

3. Визначаємо розрахунковий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів:

$$\rho_{розр.B} = \rho_{чорнозем} \cdot K_{C.B.} = 200 \cdot 1,5 = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

4. Визначаємо розрахунковий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів:

$$\rho_{розрГ} = \rho_{табл} \cdot K_{C.Г.} = 200 \cdot 3,5 = 700 \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

5. Визначаємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_B + \frac{l_B}{2} = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3 \text{ м.}$$

6. Визначаємо опір розтіканню струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_{розр.В}}{L_B} \cdot \left(\lg \frac{2L_B}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + L_B}{4t - L_B} \right) =$$

$$= 0,366 \cdot \frac{300}{3} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,04} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 132 \text{ Ом.}$$

7. Знаходимо кількість вертикальних заземлювачів, без врахування коефіцієнта використання $\eta_{В.В.}$ (тобто $\eta_{В.В.} = 1$):

$$n_{Т.В.} = \frac{R}{R_{Д.} \cdot \eta_{В.В.}} = \frac{132}{4 \cdot 1} \approx 33 \text{ шт.}$$

8. Визначимо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, при розташуванні їх, згідно з початковими даними, за чотирикутним контуром, при кількості заземлювачів $n_{Т.В.} = 33$ шт. та при відношенні

$$\frac{L_B}{l_B} = 1.$$

За табл. 7.5 [15], приймаємо $\eta_{В.В.} = 0,43$.

9. Визначаємо необхідну кількість вертикальних однакових заземлювачів, з врахуванням коефіцієнта використання:

$$n_{Н.В.} = \frac{R_B}{R_{Д.} \cdot \eta_{В.В.}} = \frac{132}{4 \cdot 0,43} \approx 76 \text{ шт.}$$

10. Визначаємо розрахунковий опір розтіканню струму у вертикальних заземлювачах, при $n_{Н.В.} = 76$ шт., без врахування з'єднувальної стрічки:

$$R_{розр.В} = \frac{R_B}{n_{Н.В.} \cdot \eta_{В.В.}} = \frac{132}{76 \cdot 0,43} = 4 \text{ Ом.}$$

11. Визначимо відстань між вертикальними заземлювачами, за відношенням

$$\frac{L_B}{l_B} = 1.$$

Звідси одержуємо:

$$L_B = 1 \cdot l_B = 1 \cdot 3 = 3.$$

12. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки – горизонтального заземлювача:

$$L_{з.с.} = 1,05 \cdot L_B \cdot (n_{H.B.} - 1) = 1,05 \cdot 3 \cdot (76 - 1) = 236,25 \text{ м.}$$

13. Визначаємо опір розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці):

$$R_{Г.з.с.} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{розрГ}}{L_{з.с.}} \cdot \lg \frac{2L_{з.с.}^2}{h_3 b_c} = 0,366 \cdot \frac{700}{236,25} \cdot \lg \frac{2 \cdot 236,25^2}{0,8 \cdot 0,04} = 7,06 \text{ Ом.}$$

14. Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача.

За табл. 7.6 [15], $\eta_{В.Г.} = 0,38$.

15. Визначаємо розрахунковий опір розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці), з врахуванням $\eta_{В.Г.} = 0,38$:

$$R_{розрГ} = \frac{R_{Г.з.с.}}{\eta_{В.Г.}} = \frac{7,06}{0,38} = 18,57 \text{ Ом.}$$

16. Визначаємо розрахунковий теоретичний опір розтіканню струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах:

$$R_{розрВ.Г.} = \frac{R_{розрВ} \cdot R_{розрГ}}{R_{розрВ} + R_{розрГ}} = \frac{4 \cdot 18,57}{4 + 18,57} = 3,29 \text{ Ом.}$$

Оскільки виконується умова

$$R_{розрВ.Г.} < R_{нрп.}, \text{ або відповідно } 3,29 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом,}$$

значить заземлення розраховане вірно.