

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ О.К. Дідик

“ ____ ” _____ 2025 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Модернізація системи стабілізації температури
теплоносія в камері ескімогенератора»**

**«Modernisation of the system for stabilising the
temperature of the coolant in the chamber of an ice
cream generator »**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи АК-21

спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

_____ Глушак М.О.

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доц, канд.техн.наук

_____ Сербул О.М.

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Призначення системи стабілізації температури теплоносія в трубопроводі ескімогенератора.....	7
1.1 Огляд технології виробництва морозива.....	7
1.2 Формування сумішей морозива.....	7
1.3 Створення структури морозива.....	13
1.4 Контроль якості продукції на молокопереробному підприємстві.....	15
2 Огляд рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови системи.....	17
2.1 Технічний опис ескімогенератора.....	17
2.2 Особливості роботи об'єкта.....	18
2.3 Порядок підготовки до роботи агрегату.....	20
2.4 Опис стандартного обладнання.....	21
2.5 Аналіз роботи схеми регулювання температури.....	23
3 Опис обраних проектних рішень та їх обґрунтування.....	26
3.1 Опис засобів автоматизації лінії Л5-ОЕК.....	26
3.2 Аналіз мікроконтролерів сімейства Atmega.....	30
3.3 Вибір елемента нагрівального.....	34
3.4 Вибір датчика температури.....	39
3.4.1 Температурні перетворювачі опору.....	40
3.4.2 Термопари.....	41
3.4.3 Пірометри.....	42
3.4.4 Кварцові температурні перетворювачі.....	44
3.4.5 Шумові термометри.....	44
3.4.6 ЯКР – термометри.....	45
3.4.7 Дилатометричні перетворювачі температури.....	45
3.4.8 Акустичні датчики температури.....	46
3.4.9 DS-600 – низьковольтні датчики температури.....	46

3.5 Розробка алгоритму роботи системи стабілізації температури теплоносія в трубопроводі ескімогенератора.....	47
4 Експериментальні матеріали та розрахунки, що підтверджують працездатність виробу.....	49
4.1 Вихідні дані для розрахунків.....	49
4.2 Принцип регулювання, будова та принцип дії системи стабілізації температури.....	50
4.3 Функціональна схема системи стабілізації температури.....	51
4.4 Структурна схема системи стабілізації температури.....	52
4.5 Визначення передаточних функцій систем та характеристичного рівняння.....	53
4.6 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи.....	54
4.6.1 Побудова АФЧХ системи.....	54
4.6.2 Побудова ЛАЧХ системи.....	55
4.6.3 Побудова ЛФЧХ системи.....	56
4.7 Побудова дійсної частотної характеристики системи.....	57
4.8 Визначення стійкості системи і запасів стійкості, побудова області стійкості.....	58
4.8.1 Дослідження стійкості системи та визначення запасів стійкості за допомогою критерію Найквіста-Михайлова.....	58
4.8.2 Визначення області стійкості за методом D-розбиття.....	59
4.9 Оцінка якості регулювання системи стабілізації по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	60
4.10 Побудова кривої перехідного процесу системи.....	61
4.11 Визначення показників якості вихідної системи.....	62
4.12 Побудова бажаної ЛАЧХ оптимальної системи.....	62
4.13 Синтез коректуючого пристрою системи за логарифмічними частотними характеристиками.....	64
4.14 Побудова перехідного процесу скорегованої системи та визначення показників якості.....	66

5	Опис робіт, що пов'язані із експлуатацією системи.....	68
5.1	Рекомендації по експлуатації ескімогенератора.....	68
5.2	Особливості монтажу обладнання лінії виготовлення морозива.....	68
	Висновки.....	70
	Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів.....	72
	Список літератури.....	73

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку цивілізації неможливо уявити життя людини без використання автоматизації. Цей процес є ключовим і відзначається як одним із передових напрямків технологічного прогресу. Сьогодні важливою складовою технологічних процесів є створення автоматизованих цехів і заводів, а також швидке впровадження автоматизованих методів та засобів контролю якості та тестування продукції.

Впровадження сучасних засобів автоматизації передбачає створення універсальних, надійних та довговічних пристроїв, які допомагають людині вирішувати різноманітні завдання. Для виробництва з високою точністю важливим є досягнення високої точності позиціонування робочого органу. Мехатронна система, як і будь-яка інша, складається з електромеханічної системи, яка включає в себе електрорухові та перетворювальні пристрої, систему управління, механічну передачу та робочий орган. Останній призначений для забезпечення руху робочого органу та управління цим рухом відповідно до заданого алгоритму за допомогою мікроелектронних обчислювальних систем або мікроконтролерів.

У цьому проекті розглядається перспективне підприємство з переробки молока, яке активно працює над впровадженням технологій для виробництва продукції з продовженим терміном придатності до реалізації. Цей процес вимагає додаткових фінансових вкладень, проте його реалізація дозволить значно розширити ринок збуту та збільшити обсяг виробництва.

На підприємстві використовуються автоматичні регулятори та дозатори для процесів, таких як пастеризація, фасування молока і інші. На жаль, ці обладнання застаріле і потребує оновлення, що суттєво впливає на вартість виробництва та конкурентоспроможність продукції.

Цей проект спрямований на покращення якості виробленої продукції за допомогою впровадження нових систем автоматизації, які забезпечують більш точну реакцію на зміни контрольованих параметрів.

Проект для конкретної частини виробничого процесу морозива спрямований на зниження витрат на виробництво за рахунок зменшення кількості бракованих виробів, а також на зменшення фізичного навантаження на робітників. На сучасному етапі автоматизації технологічних процесів широко використовується впровадження обчислювальної техніки в системи управління. Це відбувається з метою вирішення завдань автоматизації основного технологічного обладнання, аналізу, контролю і управління технологічними процесами. Високий рівень автоматизації є важливим чинником для досягнення підвищення продуктивності праці і покращення якості продукції.

Також важливою є проблематика монтажу, налагодження та експлуатації обладнання. Ефективна та безперебійна робота приладів і систем автоматики залежить як від технічного рівня проектів, так і від якості монтажу та кваліфікованої експлуатації цих приладів і систем.

Незважаючи на багатий історичний шлях та інтенсивний розвиток галузі протягом багатьох років, основні зміни відбувались переважно у технологіях виготовлення морозива та способах його приготування. Починаючи від епохи введення морозильників, їх конструкція в основному залишалася незмінною. Навіть за використанням досягнень електроніки і механіки, які дозволили зробити їх компактнішими та ефективнішими, основний принцип їхньої роботи залишався непохитним. Звичайна процедура заморожування включає точне дозування інгредієнтів, переміщення їх у морозильник, обробку в ньому і витягання замороженого продукту. Навіть при дуже точному програмованому управлінні морозильниками, характеристики продукту можуть трошки відрізнятися в різні дні.

Мета магістерської роботи полягає в автоматизації процесу регулювання температури теплоносія в камері ескімогенератора ОГЕ. Це досягається шляхом розробки системи стабілізації температури теплоносія в зазначеній камері, що сприятиме підвищенню продуктивності обладнання та отриманню якіснішого продукту шляхом виключення ручного регулювання деяких параметрів роботи агрегатів. Під час виконання проекту використовувалися матеріали, що стосуються устаткування та технологічних процесів, реалізованих на ВАТ "Ласка".

1 ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ ТЕПЛОНОСІЯ В ТРУБОПРОВОДІ ЕСКІМОГЕНЕРАТОРА

1.1 Огляд технології виробництва морозива

Апроксимаційно можна розділити технологічний процес виготовлення морозива на дві фази: перший етап включає приготування морозивної суміші, що охоплює операції зі складання суміші, фільтрацію, пастеризацію, гомогенізацію та дозрівання; другий етап охоплює безпосереднє формування структури морозива, яка кінцево визначається під час наступної холодильної обробки (операції цього етапу включають заморожування сумішей, фасування та твердіння морозива). Зазначений технологічний процес виготовлення морозива подано на комбінованій схемі, яка представлена на ілюстрації 01.00.

1.2 Формування сумішей морозива

Після отримання сировини відповідно до обраного рецепту (див. ілюстрацію 02.01) розраховується необхідна кількість різної сировини для виготовлення заданої партії морозива, відповідно до узагальненої схеми (див. ілюстрацію 02.02). Відібрана сировина, яка відповідає встановленим нормативно-технічним вимогам, точно зважується, забезпечуючи стандартний склад продукту. Перед змішуванням компоненти готуються відповідним чином. Для змішування сировинних компонентів при виготовленні морозива застосовуються сироварні ванни (Д7-ОСА-1, П-663, СВ-1000, СВ-2000, ВС-2500), ванни для тривалої пастеризації (ВДП-300, ВДП-600, ВДП-1000), вершкові дозрівальні ванни (ВСГМ-400, ВСГМ-800, ВСГМ-1200) та інше обладнання.

Вершкова дозрівальна ванна (див. рис. 1.1) - це ємність з мішалкою і приводним механізмом, виготовлена з нержавіючої сталі і вбудована в спеціальну оболонку, відому як сорочка. Мішалка вершкової дозрівальної ванни

складається з нержавіючих труб, які закріплені на кінцях в колекторах. Продукт надходить у ванну, і мішалка, діючи від приводу, виконує коливальний рух, що призводить до рівномірного перемішування. Теплоносій подається до відведень мішалки, і через поверхню мішалки відбувається підігрівання суміші до потрібної температури.

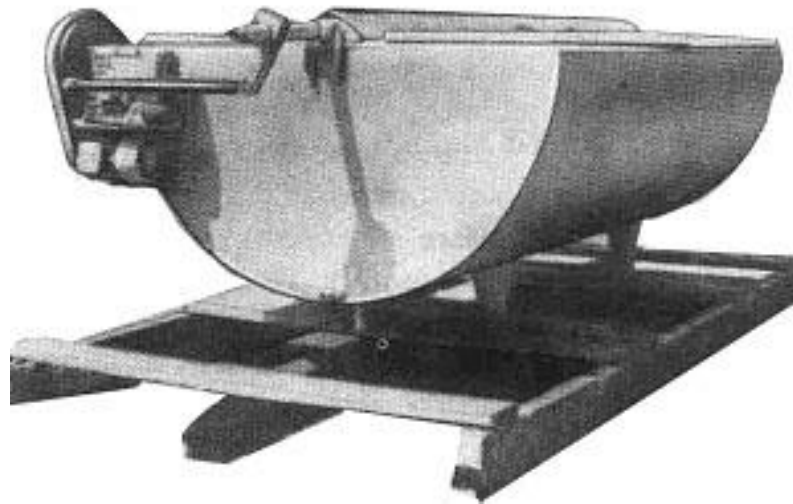


Рисунок 1.1 – Вершкодозривальна ванна ВСГМ.

Для вилучення нерозчинених грудочок та можливих механічних домішок, таких як сировина (сухе молоко, стабілізатори і т. д.), суміш проходить фільтрацію після змішування компонентів та після пастеризації. Для цієї операції використовують різні типи фільтрів, такі як дискові, плоскі, пластинчасті, циліндричні тощо. Зазвичай для фільтрування суміші використовується фільтр А1-ОШФ, що складається з двох взаємозамінних камер, які працюють послідовно. При засміченні однієї камери її включають для очищення, тоді як іншу камеру вводять у роботу.

Пастеризація суміші необхідна для усунення хвороботворних мікроорганізмів та зменшення загального вмісту мікрофлори. Окрім того, пастеризація не лише гарантує необхідний санітарний стан готового продукту, але також сприяє ефективному змішуванню та розчиненню компонентів, створює оптимальні умови для гомогенізації. Процес пастеризації здійснюється

у безперервних системах, таких як автоматизовані пластинчасті пастеризаційно-охолоджувальні установки, трубчасті пастеризатори та пастеризатори з витіснювальним барабаном, а також у системах періодичної дії, таких як ванни з змієвикою мішалкою, ванни тривалої пастеризації, пароварочні котли і інші. Пастеризацію проводять при температурі 85 °С з утримкою 50-60 с або без утримки при температурі 92-95 °С. Високі температурні режими обгрунтовані тим, що суміші для морозива містять підвищену кількість сухих речовин, які, збільшуючи в'язкість суміші, виявляють захисну дію на мікроорганізми. У виробництві морозива особливо популярними стали установки пластинчастої пастеризації А1-ОКВ 1,2 і А1-ОКВ 2,5 (див. рис. 1.2).

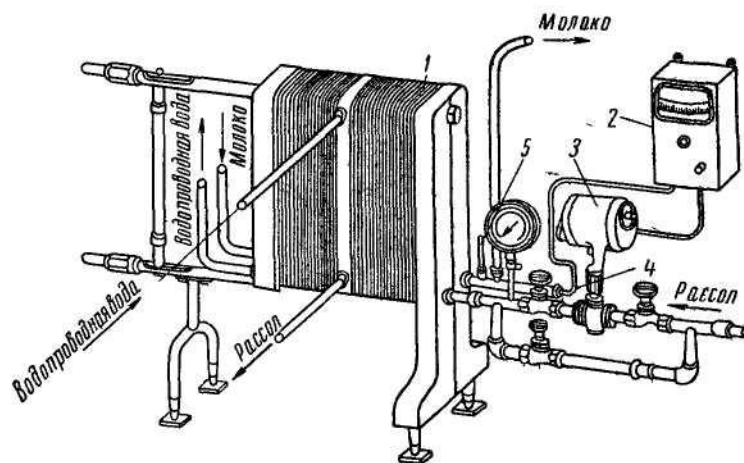


Рисунок 1.2 – Пластинчатий охолоджувач А1-ОКВ 2,5:
1 – пластинчатий охолоджувач; 2 – шафа управління; 3 – виконавчий механізм; 4 – термометр опору; 5 – ртутний термометр.

Після проходження процесів пастеризації та фільтрації суміші, проводиться її гомогенізація для роздроблення жирових кульок. Це виконується з метою зменшення відстоювання цих кульок при зберіганні і підбиття (укрупнення) під час фризювання сумішей, що в результаті поліпшує структуру морозива. У молоці жир має форму жирових кульок з діаметром від 1 до 10 мкм. Процес гомогенізації спрямований на роздроблення цих жирових кульок до менших розмірів, приблизно 1-2 мкм. У виробництві морозива застосовують гомогенізатори одноступеневого типу, наприклад, ОГБ-5М (див.

рис. 1.3), або двоступеневого стискування, такі як К5-ОГА-1,2, А1-ОГМ. Ці гомогенізатори є насосами високого тиску, обладнаними спеціальними головками для гомогенізації.

Ефективність гомогенізації визначається розмірами жирових кульок і кількістю жирових скупчень. Збиття суміші помітно погіршується у випадку,

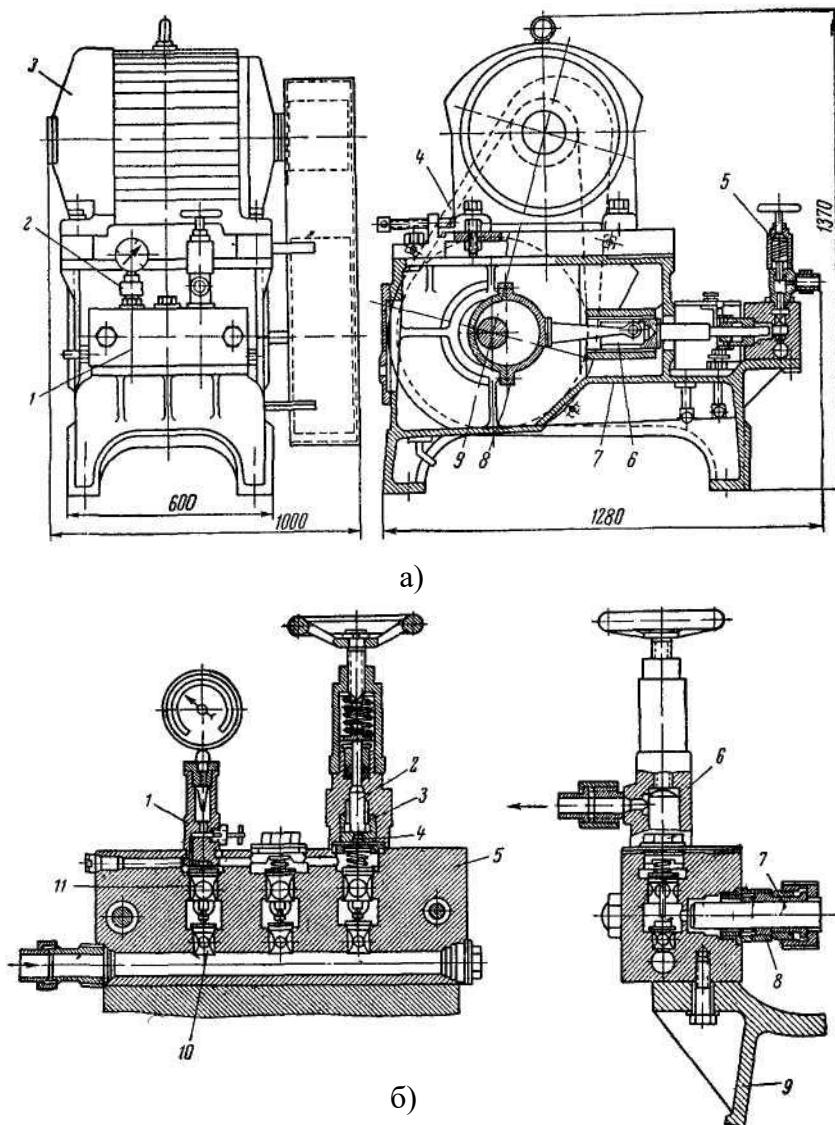


Рисунок 1.3 – Гомогенізатор ОГБ-5М:

- а - загальний вигляд: 1 - блок циліндрів; 2 - манометрична голівка; 3 - електродвигун;
 4 - клиноремінна передача; 5- гомогенізуюча голівка; 6 - повзун; 7 - станина;
 8 - бугель з шатуном; 9 - блок ексцентриків;
 б -блок циліндрів: 1 - манометрична голівка; 2 - гомогенізуючий клапан; 3 - кільце розпилювача; 4 - сідло клапана; 5 - блок циліндрів; 6-корпус; 7 - плунжер; 8 - сальник;
 9 - станина; 10 – всмоктуючий клапан; 11 - нагнітальні клапан.

коли після гомогенізації навіть 1% жиру присутній у вигляді великих кульок. Таким чином, гомогенізація сприяє підвищенню ступеня збиття суміші, поліпшує консистенцію готового морозива і надає йому ніжну текстуру. Процес гомогенізації здійснюється при температурі, близькій до температури пастеризації суміші, щоб уникнути подальшого забруднення.

Після проведення гомогенізації, суміш охолоджують до температури від 2 до 6 °С. Це досягається за допомогою автоматизованих пластинчатих пастеризаційно-охолоджувальних установок, охолоджувачів із пластинчастими і кожухотрубними елементами, охолоджувачів із системою зрошення відкритого та закритого типу, а також застосуванням ванн для вершкодозрівання та іншого спеціалізованого обладнання.

Охолоджену суміш переключають до спеціальних теплоізольованих вертикальних та горизонтальних резервуарів для короткострокового зберігання. Цей етап зберігання є обов'язковим лише для сумішей морозива, які готуються з використанням желатину (стабілізатора). У таких випадках суміші повинні бути витримані при температурі, що не перевищує 6 °С, протягом періоду від 4 до 12 годин, що сприяє збільшенню в'язкості, відомого як "процес старіння суміші". Вертикальні резервуари, такі як РМВЦ-2 і РМВЦ-6 з циліндричним корпусом і лопатевими мішалками, використовуються для цього типу зберігання. Також відомі горизонтальні резервуари, такі як РМГЦ-6 і РМГЦ-10, що застосовуються аналогічно до вертикальних резервуарів. Після цього суміші подаються на процес фризеравання.

У сучасний час процес приготування суміші морозива розподіляється між двома технологіями: порційною та технологією приготування суміші в потоці. Порційна технологія широко використовується на малих і середніх підприємствах, де продуктивність лінії коливається від 100 до 1250 кг/год готової суміші. Ця технологія передбачає складання суміші морозива з основних компонентів, таких як рідка фаза, сухі речовини та жирова фаза, в ємнісних теплообмінних апаратах місткостей, з одночасним проведенням етапів створення

дисперсної емульсії та пастеризації суміші. Для реалізації цієї технології використовують ванни тривалої пастеризації, універсальні резервуари з паровою сорочкою і мішалкою відповідного типу. Технологія приготування суміші в потоці передбачає, що всі компоненти суміші морозива готуються до внесення в ємності для змішування за допомогою спеціалізованого обладнання, і їх подача відбувається безперервно і в більшості випадків повністю автоматизовано.

Персонал, що обслуговує, переважно відповідає за розташування компонентів. Технологія використовується у виробничих лініях, де продуктивність становить 500, 1250, 2500 л/год готового продукту і визначається ефективністю плунжерного гомогенізатора, що є складовою частиною обладнання. Для комплектації використовуються основні компоненти, такі як ємності для змішування, фільтри, пастеризаційно-охолоджувальні установки, гомогенізатори, маслоплавильники, шнекові дозатори безперервної дії, а також пластинчаті нагрівачі водної фази в потоці.

На підприємствах з виробництва морозива найчастіше суміш готують у безперервному технологічному потоці, використовуючи агрегатовані комплектні установки. Такі комплектні установки виготовляються відомими фірмами, такими як "Марк" і "Каттабрига" (Італія), а також "Тетра Пак Хойер" (Італія). Наприклад, фірма "Марк" пропонує установки "Миксмарк" (див. рис. 1.4) різних типорозмірів з продуктивністю від 150 до 2000 літрів суміші за годину.

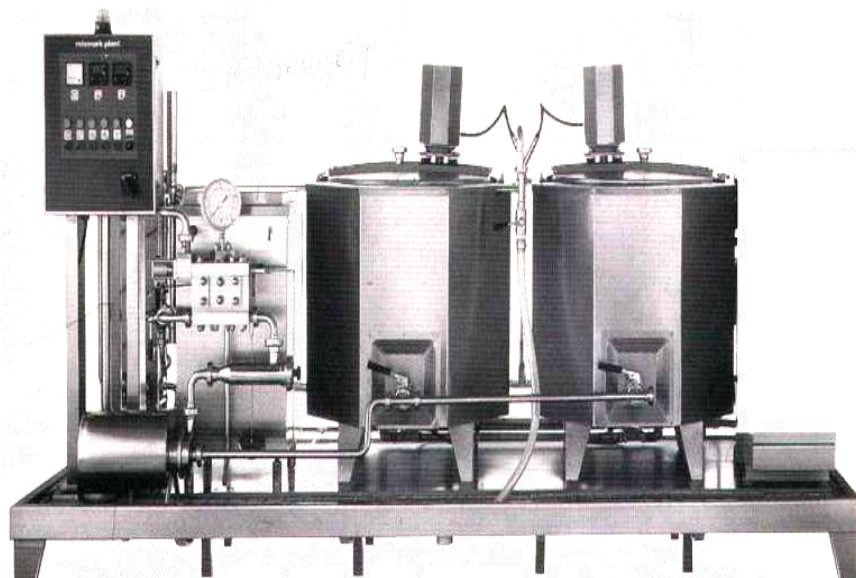


Рисунок 1.4 – Агрегатована комплектна установка "Миксмарк"

1.3 Створення структури морозива

У процесі заморожування суміші настають зміни у її структурі. Поза кристалізацією води відбувається внесення повітря в суміш, що призводить до утворення піни. На рисунку 1.5 наведено схематичне зображення структури морозива. Кристали льоду утворюють суспензію у водному розчині з середнім розміром часток 40 мкм. У цьому незамороженому розчині концентровані водорозчинні компоненти, такі як цукор, солі та білки. Бульбашки повітря мають діаметр від 40 до 100 мкм і рівномірно розподілені в багатокомпонентній суміші. Поверхня бульбашок частково покрита жиром. Об'ємний вміст повітря в морозиві, або збитість, досягає 50%.

Розмір кристалів льоду визнається надійним об'єктивним показником при оцінці органолептичних властивостей морозива.

Після процесу фризювання, морозиво негайно піддається подальшому заморожуванню, так званому гартуванню. Цю операцію слід проводити якнайшвидше, щоб уникнути значного збільшення розміру кристалів льоду в морозиві. Спеціальні порожні скляночки, схожі на стопки, вставляються в пластину з отворами. Механізм відділення скляночок по одній опускає їх в отвори конвеєра. Потім конвеєр підводить скляночки до дозатора, який одночасно заповнює морозивом вісім стаканчиків (див. рис. 1.6).

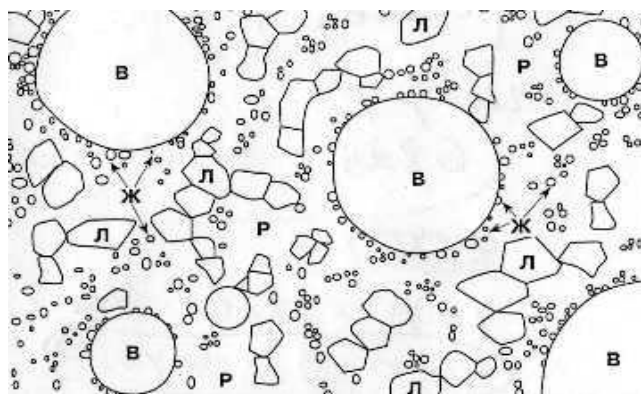


Рисунок 1.5 – Схематичне зображення структури морозива:
В – бульбашки повітря, Л – кристали льоду, Р – не заморожений розчин,
Ж – жирові глобули, зважені в розчині.



Рисунок 1.6 – Дозатор наповнення морозивом вафельних стаканчиків

З використанням пневмопристроїв кришки накладають на стаканчики з морозивом. Після цього морозиво подається в скороморозильний апарат, який є частиною поточкових ліній. Там воно гартується протягом 20 хвилин при температурі від -25 до -37 °C (див. рис. 1.7).

При використанні спеціальних пристроїв для обертання люльки вивантажується морозиво. Стаканчики опускаються на стрічку конвеєра, яка транспортує їх до зони упаковки. Затверділе морозиво відправляють в камеру для зберігання.

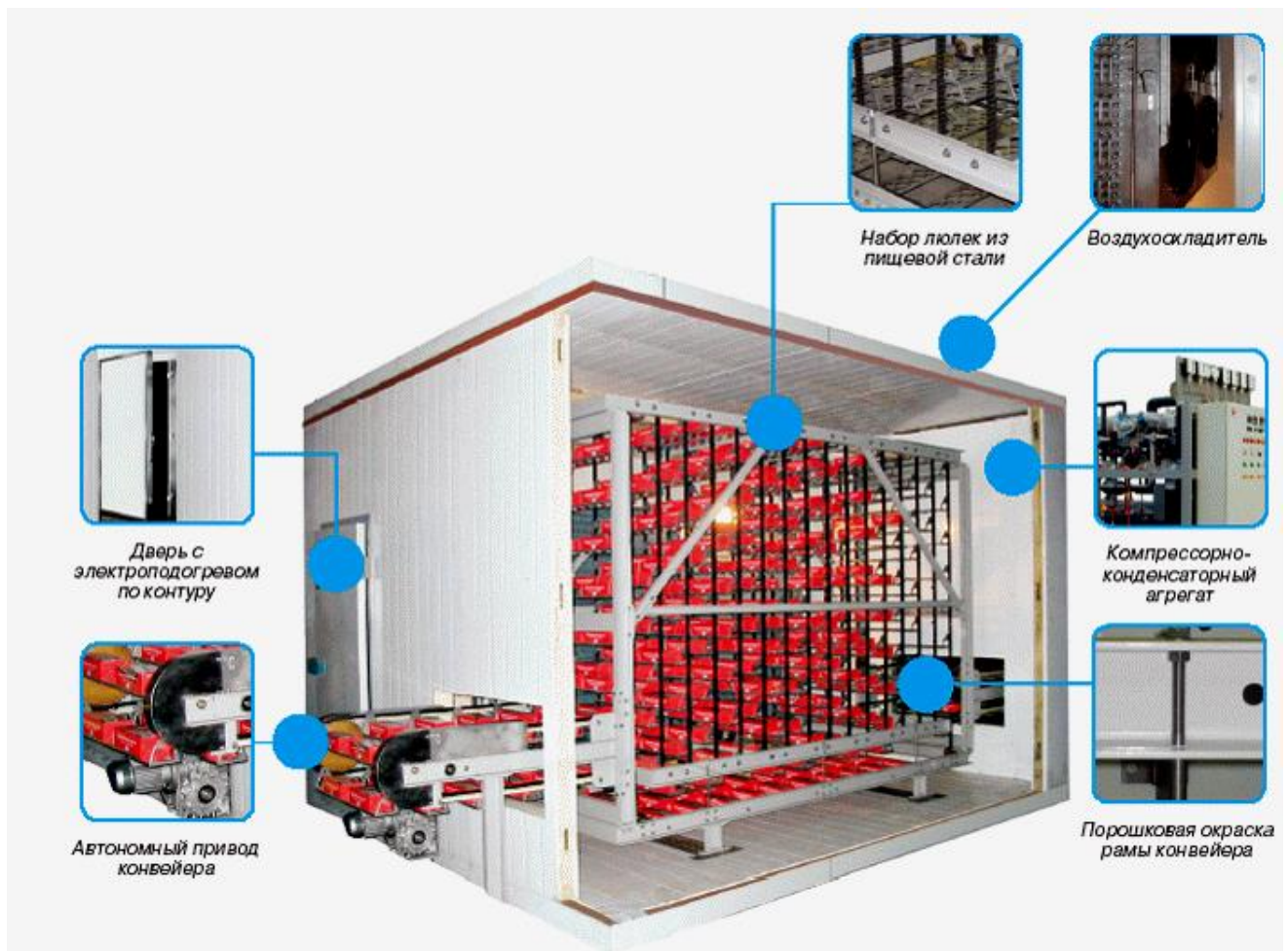


Рисунок 1.7 – Гартівний тунель фірми "Простір Л"

1.4 Контроль якості продукції на молокопереробному підприємстві

В умовах переходу до ринкової економіки, серед численних викликів, пов'язаних з забезпеченням виживання та подальшого стабільного розвитку підприємств і організацій, ключовим і вирішальним є питання якості продукції, праці та послуг. Якість визначається як сукупність властивостей та характеристик продукту, що дозволяють йому задовольняти визначені чи передбачувані потреби. Розуміння якості у споживача є змінним - він придбає товар, враховуючи його потреби, новизну, модність, рекламу, а також враховуючи його економічність та надійність. Уява про якість зазнає змін, залежить від рівня інформації про продукт. Управління якістю продукції на ВАТ "Ласка" ґрунтується на міжнародних, національних та внутрішніх стандартах та вимогах підприємства.

Державні стандарти представляють собою обов'язкові норми для виробників, оскільки державна стандартизація є засобом захисту інтересів суспільства та окремих споживачів і охоплює всі рівні управління. Таким чином, вони прямо впливають на безпеку продукції з точки зору довкілля, життя та здоров'я споживачів. "Ласка" встановлює партнерські відносини з постачальниками, які постачають високоякісну сировину для виробництва морозива, таку як молоко з власних обласних господарств, цукор з Хмельницької області, масло з Полтави. Таким чином, "Ласка" віддає перевагу українським виробникам. Використання якісної та натуральної сировини гарантує високу якість морозива під брендом "Ласка". Компанія завжди працює з традиційними для українського споживача тваринними жирами і дотримується всіх вимог технічної документації та стандартів якості.

Оцінку якості сировини, основних матеріалів, технологічного процесу і готової продукції на підприємстві "Фірма Ласка" виконують відділ контролю якості (лабораторія) та майстри відповідних ділянок. Система контролю якості на підприємстві включає в себе підрозділи, що відповідають за випробування на надійність, контроль матеріалів та дослідні зразки продукції. Важливою складовою цієї системи є також контроль закуплених виробів, вхідний контроль на

всіх етапах виробництва та технологічних переходах, а також операційний і остаточний контроль готової продукції.

Функції контролю включають у себе наступне:

1. Забезпечення метрології виробництва, що передбачає розробку, перевірку та належну експлуатацію засобів вимірювань, електричних, комп'ютерних пристроїв, а також контроль їхнього стану.

2. Контроль якості сировини, яка поступає та зберігається, а також тари, допоміжних та пакувальних матеріалів.

3. Контроль якості готової продукції, включаючи тару, упаковку, маркування та правила вивезення продукції з підприємства.

Для приготування морозива використовують різноманітні види сировини, такі як молочні продукти, цукор та цукрові продукти (патока, інертний цукор, глюкоза, мед тощо), підсолоджувальні речовини (сорбіт, ксиліт, декстроза, фруктоза тощо), яйця та яєчні продукти, ягоди, повидло, джем, варення, підвари, цукати та інше, смакові добавки (горіхи, шоколад, какао-порошок, кава, чай, органічні кислоти, прянощі), ароматичні речовини (есенції, ваніль, ванілін тощо), харчові барвники, вітаміни і стабілізатори. Деякі з цих компонентів формують смакові та ароматичні характеристики морозива, інші впливають на його енергетичну цінність, консистенцію та смак, а треті збагачують продукт біологічно активними речовинами.

Під час взаємодії з персоналом, що відповідає за експлуатацію фризера, була виявлена проблема, пов'язана із нерівномірним заморожуванням зовнішнього шару морозива через коливання температури оточуючого середовища як протягом доби, так і протягом сезону. Розробляється система стабілізації температури теплоносія в камері ескімогенератора з метою підвищення продуктивності фризера і отримання більш якісного продукту шляхом автоматизації регулювання деяких параметрів роботи агрегатів та виключення ручного втручання.

2 ОГЛЯД РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ

2.1 Технічний опис ескімогенератора

Ескімогенератори Л5-ОЕК, з продуктивністю 500 кг/год, здобули широке використання на молокопереробних підприємствах. Вони призначені для виробництва морозива "ескімо" прямокутної форми, яке може мати дерев'яну паличку і бути покрите глазур'ю або залишатися без неї.

Основні технічні параметри:

- вага морозива "ескімо" з глазур'ю складає 100 г;
- допустимі відхилення маси окремої порції морозива становлять 6 %;
- масова частка шоколадної глазури у відношенні до морозива складає 20 %;
- розхід холодного розсолу складає 25-30 м³/год;
- габаритні розміри ескімогенератора не перевищують:
 - ширина - 3400 мм; довжина - 3400 мм; висота - 1730 мм;
- розхід холоду не перевищує 2,51-100000 кДж/год.;
- загальна маса не перевищує 2600 кг;
- розхід гарячого розсолу становить 8 м³/год;
- номінальна потужність складає 37,8 кВт;
- технічна продуктивність становить не менше 500 кг/год.;
- енергоспоживання не перевищує 19 кВт/год.

Параметри технології:

- температура морозива, яке подається в дозатор, не перевищує мінус 3,5°C;
- ступінь взбиваності суміші морозива, яка виходить з фризера, складає 50-70% для вершкового і 40-60% для плодово-ягідного;
- температура холодного розсолу не перевищує мінус 40°C;
- температура гарячого розсолу у межах 25-30°C;
- температура шоколадної глазури не перевищує 40°C;
- розміри паличок: довжина - 95 мм; ширина - 10 мм; товщина - 2 мм.

2.2 Особливості роботи об'єкта

Карусель з формочками рухається по колу з періодичними переривчастими обертаннями, проходячи послідовно зони заморожування і часткового розтоплення (див. ілюстрацію 03.00). Починаючи з зони заморожування, формочки потрапляють під дозатор, і під час зупинки каруселі заповнюються порціями морозива. Одночасно шість формочок заповнюються морозивом. Проходячи через заморожувальну зону, морозиво частково кригується і потрапляє під паличкозабивач, який під час зупинки каруселі одночасно вставляє шість паличок.

Продовжуючи обертання по колу, морозиво поступово досягає повного загартування і потрапляє в область часткового розтаювання, де відтановується тонкий зовнішній шар брикету морозива. Це дозволяє виймати порції морозива з формочок. Цей етап процесу відіграє вирішальну роль, і на цьому етапі відкидається певний відсоток вже практично готового продукту. Присипання брикету морозива до форми, викликане недостатнім розтаюванням поверхневого шару морозива, є характерним явищем. Запропоновано використовувати мікропроцесорну систему контролю та управління для регулювання процесу розтаювання зовнішнього шару брикету морозива.

Видалення порцій морозива з формочок здійснюється за допомогою щипців, які прикріплені до важеля головки для глазурування. При опусканні важеля головки для глазурування щипці захоплюють палички ряду "ескімо" і направляють їх для процедури глазурування.

Брикети морозива покривають шоколадною глазур'ю за допомогою опускання їх у глазур і одночасного підняття ковша з глазур'ю. Далі щипці з морозивом, які знаходяться в глазури, піднімаються, тоді як ковш з глазур'ю опускається вниз. Морозиво, покрите глазур'ю, поступає на транспортер з відкидачем, відпускається щипцями і опускається на лотки транспортера для загортання. Порожні формочки, звільнені від морозива, повертаються під дозатор, і процес повторюється.

Пропоную використовувати мікропроцесорний регулятор як заміну застарілому терморегулятору типу Ш4541/1. Останній вважається застарілим, оскільки, враховуючи прогрес науки і техніки, він не забезпечує високоякісне регулювання температури відтаювання, тому не відповідає сучасним вимогам виробництва.

Для порівняння, пристрій Ш4541/1 спроектований для використання з термоперетворювачем і призначений для роботи в умовах температури повітря від 5 до 45°C та відносної вологості на рівні 80%. Основна допустима похибка пристрою становить 1,5% від нормованого значення, яке визначається як різниця між верхнім і нижнім значеннями опору. Час, необхідний для встановлення показів, не перевищує 7 секунд. Допустима додаткова похибка регулюючого пристрою Ш4541/1, викликана зміною положення пристрою на 5%, не перевищує 0,5 від основної допустимої похибки. Пристрій обладнаний трьома резисторами із номінальним опором 15 Ом, з допустимим відхиленням до +0,75 для коригування опорів. Живлення приладу здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В, з допустимим відхиленням від мінус 33 В до плюс 22 В, і частотою 50 Гц. Потужність, споживана приладом, не перевищує 10 Вт. Вага приладу не перевищує 3 кг. Зазначте, що прилад повинен бути встановлений в сухому приміщенні для запобігання корозії його елементів. Шкала приладу відмічена в градусах Цельсія. Проте важливо відзначити, що прилад має значну кількість рухомих механічних частин, які часто виходять з ладу, що свідчить про його ненадійність у роботі. Можливі несправності пристрою включають:

- неправильні вимірювальні значення;
- нестабільні вимірювальні значення пристрою;
- відхилення стрілки пристрою до кінця шкали;
- стрілка пристрою не рухається від початкового положення;
- регулятор може не забезпечувати належне регулювання під час роботи пристрою, у такому випадку рекомендується замінити існуючий прилад новим, як запропоновано виробником.

Мікропроцесорний регулятор може бути використаний для контролю та вимірювання температури (з використанням мідних та платинових термоперетворювачів опору, термоелектричних перетворювачів і перетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом), а також для інших фізичних величин у поєднанні з перетворювачами, які видають уніфікований сигнал.

Мікропроцесорний регулятор, у комплекті з упереджено згаданими пристроями, спроектований для роботи в межах температури навколишнього повітря від 0 до 50°C, відносної вологості до 95% при 25°C та атмосферного тиску від 84 до 106,7 кПа.

Основні технічні дані:

- діапазон регулювання зони звороту, °C - -10-70;
- комутаційна потужність контактів - 220В;
- похибка вимірювання, % -1;
- споживана потужність, ВА - 2;
- напруга живлення - 220В, 50Гц;
- вхідний сигнал - ХА;
- принцип керування – зі зворотнім зв'язком;
- похибка регулювання, % - 1,15;
- діапазон вимірювань, °C - -40-200;
- роздільна здатність, °C – 0,5;
- середній строк служби, років – 10.

2.3 Порядок підготовки до роботи агрегату

За допомогою мікропроцесорної системи блока регулювання налаштовуються потрібні параметри. Стан виконавчих пристроїв (включено чи виключено) контролюється шляхом спостереження за сигналами на передній панелі блока регулювання. При підготовці до роботи слід виконати наступні кроки:

- здійснити монтаж термоперетворювача на об'єкті, блоків регулювання

та живлення на щиті;

- підключити живлення (що призведе до підсвічування дисплея приладу);
- на клавіатурі встановити верхнє та нижнє значення уставки.

Під час здійснення вимірювань на цифровому табло відображається значення контрольованого параметру. Розмах зони звороту визначається як різниця між верхньою та нижньою межами уставок.

Неполадки, які можуть виникнути в регуляторі температури МП, значно менше, ніж у регуляторі Ш4541/1. Пристрій є герметичним, тому підвищена вологість не має впливу на корпус та елементи схеми МП регулятора. Треба зазначити, що в повітрі не повинно бути агресивних домішок.

МП регулятор, на відміну від Ш4541/1, є цифровим, що призводить до значного прискорення процесу обробки інформації порівняно з аналоговим Ш4541/1. Завдяки електронному табло на цифровому регуляторі спостереження за інформацією стає більш простим. Також важливо зауважити, що в цифровому регуляторі відсутні механічні рухомі частини.

МП регулятор вигідний як технічно, виявивши переваги під час порівняння з регулятором Ш4541/1, так і економічно, оскільки його ремонт і транспортування обходиться дешевше. Варто відзначити, що виробництво МП регулятора можна налагодити на вітчизняних підприємствах, наприклад, на заводі НВО "Термоприлад" у Львові, тоді як прилад Ш4541/1 виготовлявся на Єреванському заводі "Електровимірювальні прилади", що може створювати труднощі при обслуговуванні та ремонті.

2.4 Опис стандартного обладнання

Станція керування ЛІ5-ОЕК має станину, включаючи привід, гідророзподільні пристрої, бак для гарячого розсолу з електронасосом і систему трубопроводів для подачі та відведення гарячого розсолу. Станина складається з рами, виготовленої зварної конструкції, та литого чавунного корпусу. Рама і корпус з'єднані болтами і

утримуються на опорах, які можна регулювати по висоті. Для полегшення обслуговування обладнання і комунікацій, розташованих в станині, передбачено 9 знімних облицювальних листів. Механічний привід для ескімогенератора Л5-ОЕК забезпечується від пакувального автомата Л5-ОЗЛ через карданний вал і працює на частоті обертання 15 об/хв. На привідному валу розташовані кулачок для керування рухом глазируючої головки, кулачок, що викликає обертальний рух каруселі ескімогенератора, та кулачок, який передає рух для підняття і опускання дозатора. Також на валу розміщені два кулачкових механізми, які керують роботою гідророзподільників.

У станині розміщені не лише бак для підігріву розсолу, але й центробіжний електронасос КМ8/18, колектор і трубопроводи для подачі та відведення гарячого розсолу. Через колектор гарячий розсіл одночасно надходить у розподільник розсолу Л5-ОЕК і зливається з нього.

Розподільник розсолу, головка для глазурування, дозатор і ванна для глазури розташовані на станині.

Електрообладнання

На ескімогенераторі встановлено наступне електрообладнання:

- електродвигун помпи холодного розсолу, модель 4A112M2Y3 з потужністю 7,5 кВт і обертовою швидкістю 2910 обертів в хвилину;
- електродвигун вакуум-помпи, модель 4A90L 4Y3 з потужністю 2,2 кВт і обертовою швидкістю 1400 обертів в хвилину;
- електродвигун помпи гарячого розсолу, модель 4A80AJY2 з потужністю 1,5 кВт і обертовою швидкістю 2850 обертів в хвилину;
- електродвигун гідроприводу, модель 4A90L 4Y3 з потужністю 2,2 кВт і обертовою швидкістю 1400 обертів в хвилину.

Каруселя ескімогенератора приводиться в рух за допомогою електродвигуна, який також відповідає за привід загортального автомата Л5-ОЗЛ.

На ескімогенераторі розташовані нагрівачі гарячого розсолу E1 ... En, а також нагрівач шоколадної глазури E7, термоперетворювачі опору для

вимірювання температури холодного і гарячого розсолу, а також шоколадної глазури ВК1 ... ВК3 і датчик рівня гарячого розсолу 8Е. Живлення силового кола здійснюється від мережі змінного струму напругою 380 В та частотою 50 Гц. Коло управління і сигналізації використовує понижуючий трансформатор TV1 з напругою 36 В та частотою 50 Гц. Апаратура управління розташована в електрошафі, який встановлюється окремо від ескімо генератора. Пульт управління інтегрований з електрошафою.

2.5 Аналіз роботи схеми регулювання температури

Мета системи полягає у збереженні заданого (приблизно постійного) рівня температури для часткового відтаювання зовнішнього шару морозива. Контроль за температурою в формочках здійснюється за допомогою термодатчика.

На рис. 2.1 показано принципову схему САР температури у формочках.

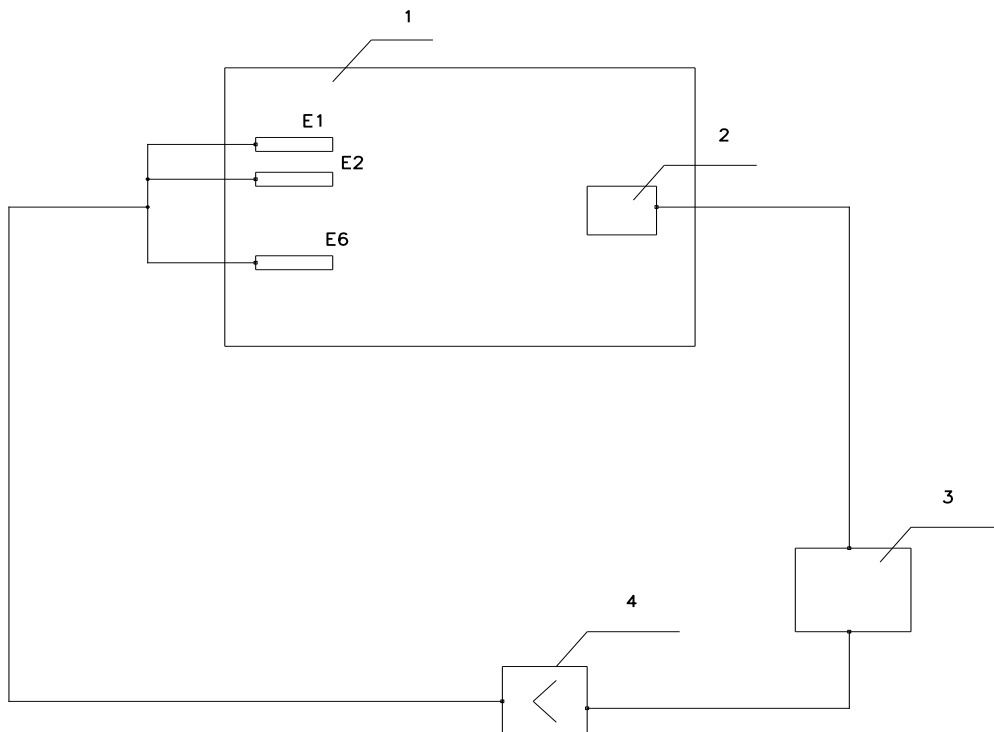


Рисунок 2.1 – Принципова схема САР температури

1 – об'єкт регулювання (формочки); 2-датчик температури DS600; 3-МП система регулювання температури; 4-підсилювач; E1...E6- трубчаті електронагрівальні елементи.

На ілюстрації 04.01 наведено електричну функціональну схему системи.

У стабільному режимі, коли мікропроцесор вимірює температуру у формочках і вона відповідає заданому значенню, мікропроцесор не подає сигнал на підсилювач. Напруга на виході підсилювача, через взаємодію узгоджувальних ланцюгів, також зберігається на нульовому рівні.

У випадку зменшення температури у формочках, МП активує підсилювач, що викликає підігрів формочок за допомогою нагрівальних елементів.

Отже, в даній конфігурації використовується принцип регулювання на основі відхилення фактичного значення вихідної величини від заданого. Для ефективності цього принципу система автоматичного регулювання (САР) повинна бути замкнутою. Перевагою цієї схеми є можливість реагування на відхилення регульованої величини від заданого значення незалежно від його причин.

Перед початком експлуатації необхідно встановити температуру внутрішнього шару шоколадної глазури за допомогою мікропроцесорної системи. На пульті управління ескімогенератором введіть температуру регулювання гарячого розсолу за допомогою клавіатури. Використовуйте клавіші вибору режиму для встановлення потрібного режиму. Управління помпою і нагрівачами гарячого розсолу, а також електродвигуни помпи холодного розсолу проводиться за допомогою відповідних регулюючих кнопок.

Потім треба активувати процес нагрівання шоколадної глазури, запустити роботу помпи для гарячого розсолу та активувати нагрівачі гарячого розсолу. Крім того, слід запустити помпу для холодного розсолу.

Після досягнення бажаної температури у гарячому розсолі і шоколадній глазури слід вимкнути електродвигун гідроприводу та увімкнути привід каруселі. Тепер ескімогенератор готовий до роботи.

При вмиканні електроприводу каруселі автоматично активується вмикання помп і нагрівачів. Ця функція забезпечує одночасне вмикання та

вимикання каруселі, pomp гарячого і холодного розсолів, а також нагрівачів гарячого розсолу під час короткочасних зупинок каруселі та загортального автомата.

Розсіл, який використовується для відтаювання морозива в формочках, підігрівається за допомогою трубчатих електронагрівальних елементів E1 ... E6.

Система автоматичного регулювання температури гарячого розсолу здійснюється мікропроцесором (МП), який взаємодіє з датчиком DS600, розташованим в гарячому розсолі.

При надходженні сигналу до схеми МП, відповідно до програми, відбувається взаємодія. Нагрівачі активуються одночасно з електродвигуном за сигналом від МП. При досягненні температури розсолу у межах 25-30°C МП вимикає нагрівачі. У випадку зниження температури розсолу нижче заданого рівня, МП реєструє це значення і знову вмикає нагрівачі.

МП використовує рідкокристалічний дисплей для того, щоб оператор міг вести спостереження за температурою холодного розсолу.

Електронагрівач E₇, призначений для нагріву шоколадної глазури, активується за допомогою сигналу від МП. Автоматичне регулювання температури шоколадної глазури на рівні 35°C здійснюється за допомогою МП-м регулятора температури, який розташований в електрошафі.

Управління роботою електродвигуна вакуум-насоса здійснюється відповідно до встановленої програми. Ескімогенератор з'єднується з загортальним автоматом за допомогою карданного вала, який після цього закривається захисним кожухом. Транспорт загортального автомата кріпиться на станині під головкою для глазурування.

3 ОПИС ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ТА ЇХ ОБҐРУНТУВАННЯ

3.1 Опис засобів автоматизації лінії Л5-ОЕК

Карусель Л5-ОЕК виступає в якості платформи для форм для морозива. Вона складається з шести форм, виготовлених з нержавіючої сталі, розташованих на тримачі для форм і з'єднаних між собою пластинами. На каруселі радіально розташовано 120 рядів, в кожному з яких міститься 6 форм для морозива, що виготовлені з нержавіючої сталі. По периферії, а саме по контурах каруселі, розташовано 120 пальців для приводу. Разом із каруселлю форми для морозива виконують переміщення по колу, забезпечуючи при цьому циклічний рух.

Шість форм для морозива, розташованих радіально, поступово прокручуються навколо каруселі та проходять через зону заморожування, де відбувається процес загартування морозива, а потім через зону відтаювання, де розтаює зовнішній шар морозива.

Для уникнення витікання в місцях, де з'єднуються форми для морозива, пластини обладнані гумовими ущільнювальними прокладками. На внутрішньому кільці формотримача присутній паз, який використовується для утримання каруселі на трьох опорних роликах, що закріплені на розподільовачі розсолу. Зовнішнє кільце формотримача опирається на шість опор, закріплених на розподільовачі розсолу, зберігаючи щілину між формотримачем і розподільовачем розсолу на рівні 5-6 мм.

Розподільовач розсолу Л5-ОЕК складається з піддону та ванн для холодного і гарячого розсолу. Піддон представляє собою кільцеву ванну із подвійними стінками, заповненими термоізоляційним матеріалом. Зовнішня частина обладнана направляючими шинами для розміщення палочкозабивача, миючого пристрою і осушувача. Внутрішній простір піддона розділений радіальними перегородками на зони холодного і теплого розсолу, і щітки встановлені на цих перегородках для уникнення змішування гарячого і холодного розсолів. Холодний розсіл, що надходить з випаровувача, проходить через фільтр в дні

піддона для очищення від механічних домішок і потрапляє в ванну холодного розсолу, яка має подвійне дно, верхня частина якого є перфорованою.

Під тиском насоса розсіл проникає через перфоровані отвори верхнього дна і наповнює ванну, обтираючи зовнішній шар морозива у формочках. Надлишковий розсіл стікає в піддон через бічні стінки та фронтальні віконця. Щітки, розташовані на торцях ванни, затримують стікання холодного розсолу та підвищують його стікання через бокові стінки, що сприяє більш повному обтиранню формочок морозива розсалом. З піддону холодний розсіл спускається по спусковій трубі для подальшого охолодження у випаровувачі.

Ванна гарячого розсолу, так само як і ванна холодного розсолу, обладнана подвійним дном, верхня частина якого є перфорованою. Під тиском насоса нагріття розсолу, про яке дбає насос, проникає через отвори у верхньому дні, обтирає зовнішній шар формочок і витікає в піддон. Цей гарячий розсіл подається в бак для підігріву через спускову трубу та колектор. У зоні теплового розсолу на піддоні встановлений трубопровід, який призначений для передповного наповнення бака та магістралі розсолу. Протягом робочого процесу рівень гарячого розсолу утримується на необхідному рівні за допомогою переливної труби. Датчик нижчого рівня, розташований на торці трубопроводу, вимикає електричний насос, якщо рівень гарячого розсолу опускається нижче встановленого ($L=45$ мм).

Дозатор Л5-ОЕК розроблений для точного наповнення формочок визначеною порцією морозива. Корпус дозатора кріпиться до станини і може бути зафіксований у трьох різних положеннях за допомогою фіксатора. За допомогою пазів, розташованих на корпусі фіксатора, дозатор може бути точно вирівняний щодо ряду формочок для морозива на каруселі.

Бункер дозатора складається з двох взаємно незалежних відділень. Суміш морозива одночасно постачається в обидва відділення бункера і потрапляє в гільзи, де рухаються поршні. Гільзи, з'єднані пазами з барабаном, взаємодіють з відділеннями бункера. Під час підняття поршнів відбувається засмоктування

порції морозива. Після цього барабани повертаються, і гільзи знову з'єднуються пазами барабана з насадкою і трубками. Під час опускання поршнів відбувається видача порції морозива у формочки каруселі. Повертання барабану здійснюється за допомогою гідроциліндра, а рух поршнів – іншого гідроциліндра, розташованого поруч. Об'єм подаваної суміші регулюється за допомогою ручки управління, яка відповідає за збільшення або зменшення ходу поршнів. При виготовленні двошарового морозива суміш подається з двох фризерів у різні відділення.

Пристрій для забивання дерев'яних паличок в морозиво, відомий як *палочкозабивач Л5-ОЕК*, призначений для впровадження паличок у морозиво. Місце розташування палочкозабивача визначається експериментальним методом, враховуючи ступінь загартовування морозива, щоб уникнути спливання паличок. Кріплення палочкозабивача Л5-ОЕК виконується за допомогою кронштейнів до шин піддону.

Болтами фіксуються кронштейни на стійці, на якій розміщена вертикальна колона. Завдяки наявності фіксатора колону можна регулювати в трьох різних положеннях, що надає можливість переміщення палочкозабивача з області каруселі. Два несучих вали закріплені на колоні за допомогою клемних з'єднань. На цих валах розташовані шість корпусів із направляючими для паличок. Палички, які знаходяться в направляючих, фіксуються вантажами, що натискають на корпуси.

Гідроциліндр, що закріплений на стійці, приводить в рух важіль за допомогою штоку. Під час підняття важіль піднімає штоки, які захоплюють палички. У процесі опускання важіль, діючи через пружини, приводить штоки, які забивають палички у морозиво. На гідроциліндрі розташований кран, який може відключати його від гідросистеми.

Головка для глазурування Л5-ОЕК використовується для виймання брикетів морозива з формочок, їх транспортування до ванни з глазур'ю, занурення та витягання брикетів з глазури, переміщення на транспортер загортувального автомату та їх розкладання на транспортер. Головка складається з корпусу, який закріплений на станині. У корпусі розміщені втулки та упорний

підшипник, в яких розташований стакан. Знизу стакана, через фланець, закріплено роликову карусель. На стакані також розташовані зубчате колесо, що взаємодіє з роликками каруселі, і барабан, який носить шістнадцять штанг. Обертання барабану зі штангами та зубчатого колеса здійснюється за допомогою кулачка, роликів, роликової каруселі, фланцю та стакана.

На кожній штанзі встановлено по шість щипців для захоплення морозива за паличку та його витягування із формочки. Протягом робочого циклу три штанги послідовно опускаються і піднімаються, приводячись у рух штоком з хрестовиною. Керований важіль спричиняє рух кулачка, що розташований на валу ескімогенератора.

Ванна для глазурування Л5-ОЕК має за мету заповнення її розплавленою глазур'ю, збереження температури глазури на рівні 35 градусів Цельсія та покриття брикетів морозива глазур'ю. Система складається з двостінної ванни, де знаходиться розплавлена глазурь; столика, що прилягає до ванни і призначеного для збирання крапель глазури; ківша, який використовується для покриття морозива глазур'ю. Підняття та опускання ківша здійснюється за допомогою гідроциліндра.

Ванна закріплена на станині під головкою для глазурування за допомогою кронштейна. Нагрівання глазури в ванні здійснюється завдяки електронагрівачу, який вбудований у сорочку ванни і прогріває воду, яка заливається в цю сорочку. Температура води, а, отже, і глазури, автоматично регулюється.

Миючий пристрій Л5-ОЕК призначений для очищення каруселі з формочками після завершення роботи. Він складається зі стійки, яка кріпиться за допомогою кронштейнів до шин розподільвача розсолу. На стійці розташований розпилювач, обладнаний трубою з отворами діаметром 3 мм. Один кінець труби закритий, а інший має штуцер для підключення до системи миючого пристрою. Щоб уникнути розпилення рідини, на трубі закріплено відбійник. Після завершення процесу очищення розпилювач відводиться з області каруселі.

Осушувач Л5-ОЕК призначений для видалення води із формочок після їх промивання. Цей пристрій складається зі стійки, яка кріпиться на шинах розподільвача розсолу за допомогою кронштейнів. Гідроциліндр, закріплений на стійці, веде в рух колектор через шток. Крім того, гідроциліндр обладнаний краном для відключення від гідросистеми. Колектор з'єднаний трубопроводом з вакуум-насосом і гнучкими трубами до сосок. Під час опускання, вода відсмоктується вакуум-насосом через соски, і після цього колектор піднімається. Після повороту каруселі, колектор знову опускається, готовий до нового циклу осушення. Після видалення води з усіх формочок, колектор виводиться із зони каруселі.

Система *трубопроводів Л5-ОЕК* призначена для подачі та відведення масла до гідроциліндрів. Приєднання трубопроводів до гідроциліндрів виконано за допомогою штуцерів, ніпелів та накидних гайок. У системі трубопроводів розміщено п'ять регульованих кранів для управління включенням та вимиканням виконавчих гідроциліндрів. Два крани прямо встановлені на паличкозабивачі та осушувачі, тоді як три інших крани для керування гідроциліндрами дозатора та бака для глазурі розташовані на загальній плиті і прикріплені до станини.

3.2 Аналіз мікроконтролерів сімейства Atmega

Мікроконтролери AVR мають у своєму ядрі 8-бітовий центральний процесор, що використовує принципи RISK-архітектури. Його ключовим компонентом є арифметико-логічний пристрій (АЛУ). За тактовим сигналом системи, згідно зі значенням лічильника команд (Program Counter - PC) з пам'яті програм вибирається наступна команда і передається для виконання АЛУ. Вибір команди і виконання попередньої команди здійснюється паралельно, що дозволяє досягти швидкодії 1 MIPS при тактовій частоті 1 МГц. АЛУ пов'язано з регістрами загального призначення (General Purpose Registers - GPR). Загалом існує 32 таких регістри, кожен з яких має байтовий формат, тобто складається з восьми біт. Регістри загального призначення знаходяться в початку адресного

простору оперативної пам'яті, хоча фізично не є її частиною. Таким чином, до них можна звертатися як до регістрів, так і до пам'яті. Це унікальне рішення AVR сприяє підвищенню ефективності та продуктивності мікроконтролера. Регістри дозволяють виконувати різноманітні операції (арифметичні, логічні, бітові), в той час як в оперативну пам'ять можна лише записувати дані із регістрів.

У даному випадку оптимальним вибором з родини мікроконтролерів Atmega є AT90S4433 (структурна схема AT90S4433 наведена на рис. 3.1). Ця 40-вивідна мікросхема дозволяє легко підключати необхідну кількість зовнішніх пристроїв та взаємодіяти з мікропроцесорними системами вищого рівня за допомогою двопровідного інтерфейсу I². Значна внутрішня пам'ять (16 кБ програмної пам'яті та 1 кБ пам'яті даних) робить його ефективним для виконання різноманітних завдань. Таким чином, використання мікроконтролера AT90S4433 дозволяє інтегрувати всі функції з вводу/виводу даних та управління зовнішніми пристроями на одному кристалі, що суттєво підвищує надійність системи в цілому.

У порівнянні з цифровими регуляторами, які реалізовані апаратурно, програмно реалізовані регулятори є менш швидкодіючими, але водночас більш універсальними, легко налаштовувемими і володіють кращими масогабаритними характеристиками. Надійність мікропроцесорних систем автоматичного керування в порівнянні із системами на інших елементних базах виявляється вищою.

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) здійснює однозначне перетворення кодових комбінацій цифрового сигналу в аналоговий сигнал, тоді як аналого-цифровий перетворювач (АЦП) вирішує задачу встановлення однозначного відповідності між аналоговим сигналом і цифровим кодом. Однією з ключових вимог до АЦП і ЦАП є їх здатність інтегруватися з мікропроцесором, що включає сумісність логічних рівнів цифрових сигналів перетворювачів і шини даних мікропроцесора, відповідність видів цифрових кодів і формату даних, а також програмну сумісність. Мікроконтролер AT90S4433 має вбудовані ЦАП і АЦП.

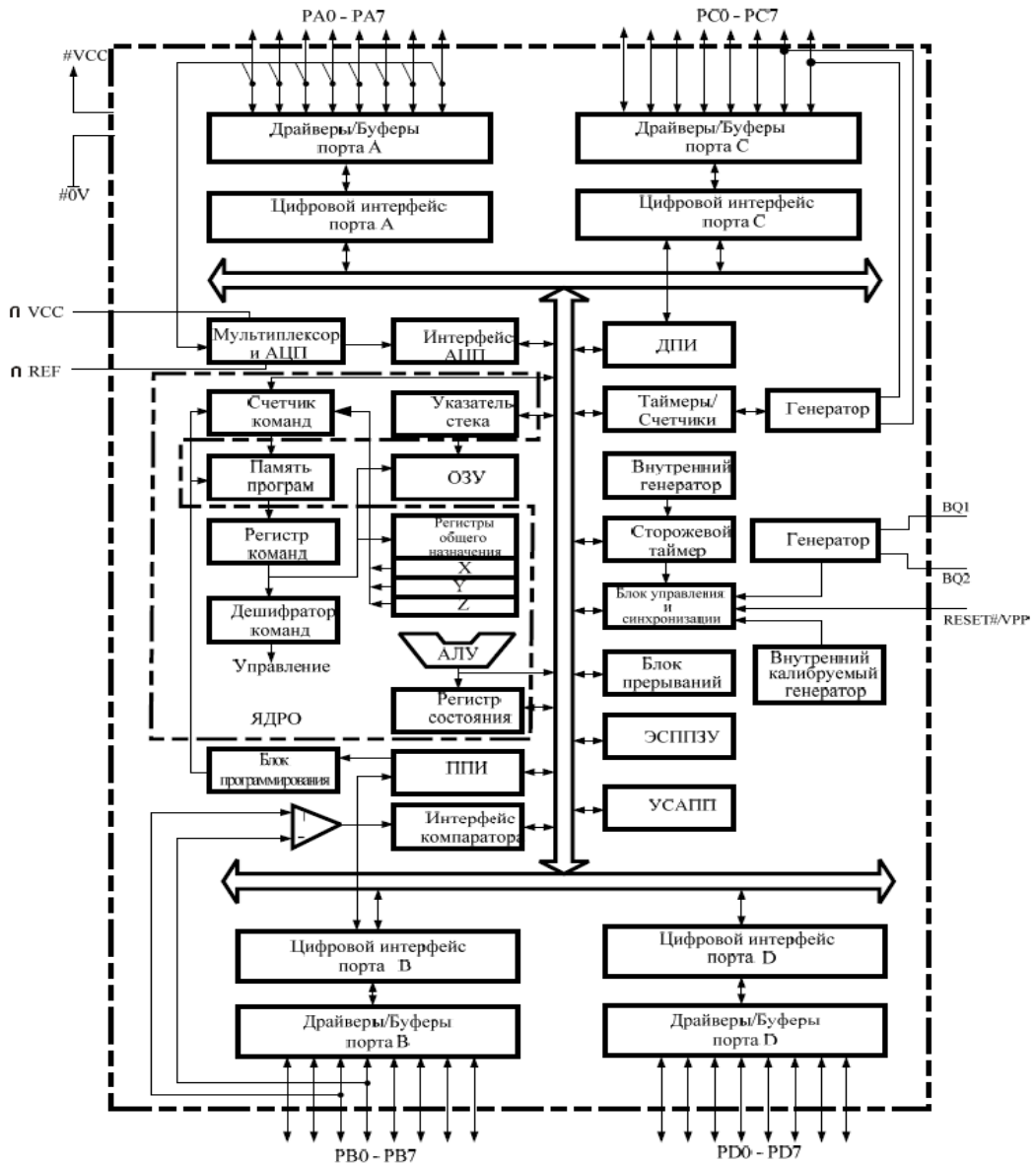


Рисунок 3.1 – Структурна схема Atmega AT90S4433

В системі стабілізації температури теплоносія в камері ескімогенератора можна розглядати дві основні складові: слабкострумову (керуючу) та силову (енергетичну). Використання одного мікропроцесора для реалізації слабкострумової частини сприяє підвищенню надійності та універсальності системи автоматичного регулювання (САР), дозволяючи легко впроваджувати закони зміни керуючих впливів. Оскільки інформація щодо процесу регулювання міститься в цифровому сигналі і не пов'язана з його енергією, ця система менш схильна до впливу перешкод і викривлень.

Слабкострумний компонент мікропроцесорної системи повинен вирішувати завдання програмної реалізації цифрового регулятора та генерації спеціальних кодових послідовностей для управління силовим компонентом з метою створення сигналу для активації нагрівальних елементів.

Структурна схема слабкострумного блоку системи відображена на ілюстрації 07.02. Вона включає в себе мікроконтролер AT90S4433, що втілює алгоритм керування, датчик температури, вхідний масштабний пристрій для приведення вхідних сигналів до стандартного рівня, придатного для обробки мікроконтролером, мультиплексор DD1 (AD7890), демультиплексор DD2 (K530 ИД7) та рідкокристалічний індикатор. Мікросхема DD3 (AT90S4433) представляє собою мікроконтролер з внутрішнім тактовим генератором G1, частота якого визначається зовнішнім кварцовим резонатором 12 МГц. Основні характеристики мікроконтролера включають 131 операцію за один такт, 32 регістри загального призначення, відповідність одного машинного такту двом машинним циклам, можливість підключення 64 кБайт розширеної внутрішньої пам'яті, два 8-бітних таймера-лічильника з окремими режимами управління та налаштування, вбудований аналоговий компаратор, 35 програмних входів і виходів, 40-контактний корпус PDIP або 44-контактний корпус TQFP, а також діапазон напруги живлення від 2,8 до 5,5 В.

Вхідні масштабуючі підсилювачі, які адаптують вхідні сигнали від датчика та задавача до рівня, який може бути оброблений мікропроцесорною системою, використовують елементи DA3, DA4 (K140УД17 – операційний підсилювач, призначений для безвикривленого підсилення сигналів від датчиків, пригнічення синфазного сигналу, із невеликою напругою зміщення нуля, малим дрейфом, низьким рівнем шумів та високим вхідним опором). Зміна масштабу виконується за допомогою зміни коефіцієнта підсилення операційного підсилювача. Керуючий сигнал від портів PB1 та PB2 мікроконтролера подається через демультиплексор DD2 на роз'єм, звідки його можна використовувати для активації нагрівальних елементів.

3.3 Вибір елемента нагрівального

ТЕН мають *два кінці*. Трубчасті електронагрівачі ТЕН-ЕС-107 (див. рис. 3.2, ілюстрація 04.03) призначені для того, щоб нагрівати різні середовища за допомогою конвекції, теплопровідності та випромінювання, перетворюючи електричну енергію в теплову. Вони застосовуються як складові вироби в промислових установках та побутових нагрівальних пристроях.

Конструкція круглого трубчастого електронагрівача з двома кінцями включає в себе нагрівальний елемент (спіраль або декілька спіралей з високоомовного сплаву), розташований всередині металевої оболонки, з контактними стержнями. Нагрівальний елемент ізолюваний від оболонки за допомогою запресованого електроізоляційного наповнювача. Торці ТЕН герметично ущільнюються для запобігання потрапляння вологи з навколишнього середовища. Контактні стержні ізолюються від оболонки діелектричними ізоляторами.

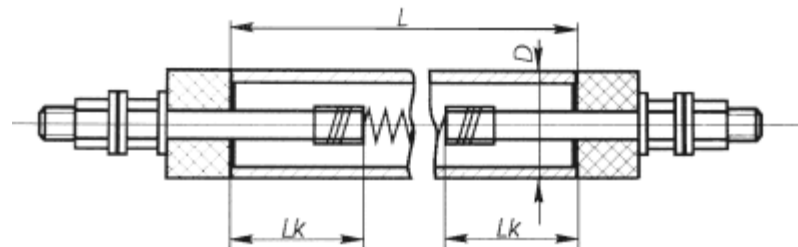


Рисунок 3.2 – Трубчасті електронагрівачі ТЕН-ЕС-107:

D - діаметр оболонки; L - розвернута довжина ТЕН; Lk - довжина контактного стержня в заділці.

Параметри нагрівачів:

- напруга живлення 220 В; - номінальна потужність – 1 кВт; - довжина 40 см;
- конфігурація – прямі.

Основним принципом при виборі ТЕН для конкретного середовища нагрівання є правильний підбір геометричних та електротехнічних параметрів. Ресурс і надійність роботи ТЕН залежать від того, яке поверхневе навантаження викладено на нього. Для різних середовищ нагрівання припустиме питоме поверхневе навантаження є різним і має чітко визначені нормативи. Перевищення цих нормативів може призвести до передчасного зносу ТЕН.

У цьому технологічному процесі можна проводити нагрівання води в простому контейнері, встановивши у ньому електронагрівач. При досягненні заданої температури води в контейнері необхідно вчасно відключити нагрівач, щоб уникнути закипання і розриву контейнера.

Класичний водонагрівач має просту конструкцію, яка включає в себе вимикач електромережі і ТЕН. В оптимальному випадку, до цієї системи можуть додаватися датчик тиску та датчик температури. Датчик тиску призначений для захисту резервуару від підвищеного тиску води, тоді як датчик температури відзначається вразливістю до зростання температури за межі встановленого порогу.

В якості регулятора температури для підігрівача часто використовується біметалевий елемент, який має подібність до регулятора температури в прасці. Коли досягається задана температура води чи розчину, датчик роз'єднує живлення нагрівача. Температура води природним чином або через витрату тепла і додавання холодної води знижується. Коли це відбувається, контакти регулятора знову замикаються, вмикаючи опалення. Однак простота цієї схеми часто може викликати несправності в роботі підігрівача через згоряння контактів регулятора, які вмикають великі струми.

Для підвищення надійності системи можна використовувати електронний регулятор температури (див. рис. 3.4). Цей регулятор дозволяє встановлювати бажану температуру теплоносія та автоматично підтримувати її. Усі датчики розташовані в низьковольтному ланцюзі і відокремлені від мережі за допомогою

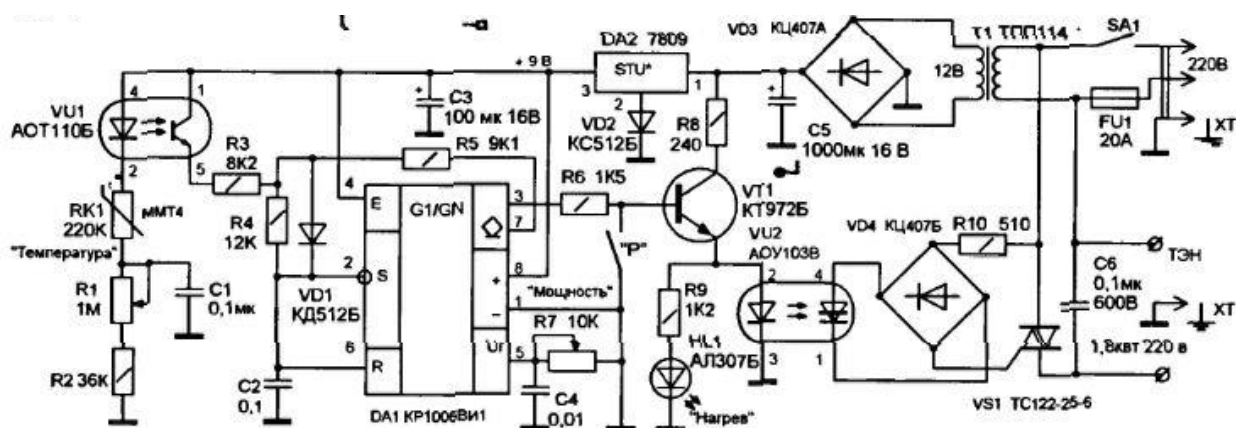


Рисунок 3.4 - Електронний регулятор температури

оптопар та силового трансформатора. Пристрій включає в себе наступні компоненти:

- датчик температури RK1 для моніторингу та підтримки температури розсолу;
- оптронний лінійний підсилювач сигналу VU1, який забезпечує підвищену чутливість вхідного ланцюга;
- аналоговий програмований таймер на мікросхемі DA1;
- підсилювач потужності на транзисторі VT1;
- оптопару VU2 для гальванічного розв'язання ланцюгів управління та живлення підігрівача;
- ключ для управління, що базується на симисторі VS1;
- ланцюгів живлення через трансформатор T1 та діодний міст VD3.

Оптоелектронні пристрої забезпечують гальванічну ізоляцію між вхідними та вихідними ланцюгами. У схемі використовуються два види оптронів: VU1 - оптопара з діодно-транзисторним з'єднанням, і VU2 - діодний тиристор. Оптопари характеризуються високим коефіцієнтом підсилення струму, що дозволяє обійтися без потреби в додаткових ланцюгах підсилення на вході таймера та в ланцюгах керування симістором.

Чутливість терморезистора, яка визначає його зміну опору залежно від температури, у випадку використання оптопари, збільшується зі значення 2..5%/°C до 12..15%/°C. Діодно-транзисторна оптопара VU1 працює в лінійному режимі. Зміна випромінювання світлодіода VU1 призводить до зміни опору колектор-емітер внутрішнього транзистора, який є частиною часозадаючого ланцюга таймера DA1. В результаті цього змінюється час заряду конденсатора C2 в зовнішньому ланцюгу таймера.

Регулювання та установка температури здійснюються за допомогою змінних резисторів R1 і R7, що дозволяє забезпечити будь-які значення температури теплоносія. Резистор R1 встановлює температуру нагріву, а R7 - потужність нагрівача. Початкова температура води впливає на опір терморезистора і, отже, на тривалість позитивного імпульсу на виході таймера. При низькій

температурі теплоносія тривалість імпульсу на виході є максимальною. Використання інтегрального таймера спрощує реалізацію генератора імпульсів. Для роботи мікросхеми в режимі автогенератора виводи 2 і 6 з'єднуються між собою і підключаються до конденсатора C2. У сталому режимі інтервал T₁, під час якого на виході таймера є високий рівень, визначається співвідношенням $T_1 = 0,69(RV_{U1}+R3) C2$. Коли внутрішній транзистор мікросхеми відкривається, конденсатор C2 розряджається через резистори R4 і R5, формуючи другий часовий інтервал T₂ із низьким рівнем на виході DA1. Його тривалість визначається за формулою: $T_2 = 0,69(R4+R5) C2$. Значення T₂ не залежить від температури. Загальний час імпульсу T обчислюється як $T = T_1 + T_2$.

Шпаруватість імпульсів Q (де $Q = T / T_1$) збільшується при підвищенні температури, що призводить до зниження напруги на підігрівачі та температури теплоносія. Частоту генератора на таймері можна налаштовувати, змінюючи напругу на виводі 5 DA1. Зниження напруги призводить до збільшення частоти генерації таймера, що в свою чергу призводить до зменшення потужності підігрівача.

Сигнал прямокутної форми, що виходить з виводу 3 DA1, через обмежувальний резистор R6 подається на вхід підсилювача потужності на транзисторі VT1. Резистор R8, який розташований у ланцюзі його колектора, обмежує імпульсний струм через світлодіод оптопари VU2. Використання транзистора VT1 із високим коефіцієнтом підсилення дозволяє формувати вихідний сигнал транзисторного ключа з мінімальними спотвореннями. Цей сигнал подається на світлодіод оптопари VU2, його підсилює фотодинистор, і він контролює роботу регулятора потужності на симісторі VS1. Імпульси відкривання симістора VS1 обох полярностей формуються діодним мостом VD4. Оптопара VU2 забезпечує гальванічну ізоляцію між низьковольтними та високовольтними ланцюгами пристрою. Якщо фотодинистор оптопари відкритий, включення симістора відбувається на початку попереднього періоду мережевої напруги, коли струм через управляючий електрод досягає порогового значення. Це знижує рівень перешкод, які виникають в результаті роботи симісторного перетворювача.

Для підвищення точності установки температури міст та таймер живляться стабілізованою напругою від стабілізатора DA2. Діод VD2 виконує захисну функцію, захищаючи мікросхему стабілізатора від можливого пробією зворотною напругою. Конденсатори C3 і C5 призначені для усунення пульсацій випрямленої напруги, а конденсатор C1 служить для позбавлення перешкод, що можуть виникнути при регулюванні резистора R1. Крім того, конденсатор C6, який розташований паралельно до навантаження, зменшує рівень перешкод, що виникають в результаті роботи симісторного перетворювача. Контакти датчика тиску P відчиняють базу VT1 до корпусу, припиняючи нагрів теплоносія при аварійному тиску в підігрівачі. У пристрої використовуються загальнопоширені радіокомпоненти, зокрема постійні резистори типу МЛТ-0,125, змінні резистори - СП-Ш, терморезистор - ММТ-4, оксидні конденсатори - К50-38, високовольний конденсатор (C6) - К73-17, а також інші позначені як КМ. Для таймера використана серія 555. Трансформатор живлення має напругу вторинної обмотки 10-12 В. Вимикач SA1 є автоматичним і має струмову витримку на рівні 25 А. Датчик тиску взятий від автомобіля. Пристрій складений на друкованій платі, креслення якої представлено на рис. 3.5. Для зручного користування регулятор температури R1 і регулятор потужності R7 розташовані на передній панелі приладу. Датчик тиску P і терморезистор RK1 установлені в корпусі водопідігрівача за допомогою різьбового або зварювального з'єднання.

Електронагрівач (ТЭН) фіксується за допомогою фланця через гумову прокладку на невеликій відстані від дна резервуару підігрівача. Зливний кран розташований вище нагрівача, тоді як врізка для подачі холодної води розташована зверху. Датчик тиску може бути встановлений в будь-якому зручному місці, а терморезистор розташовується трохи нижче за зливним краном.

Датчик температури RK1 поміщається в киплячу воду, і через декілька хвилин регулювальник температури R1 налаштовується так, щоб світлодіод індикації нагріву HL1 загасав. При цьому напруга на підігрівачі практично знижується до мінімуму. Положення двигуна R1 (100°C) фіксується. Зайшовши в

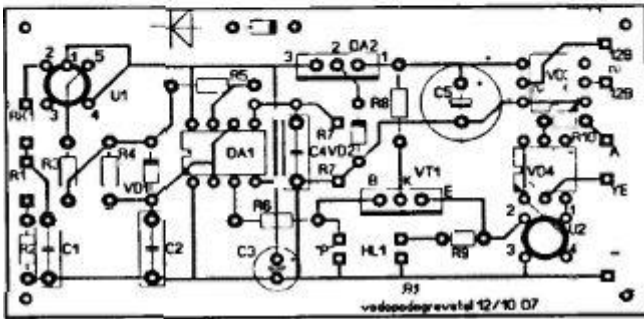
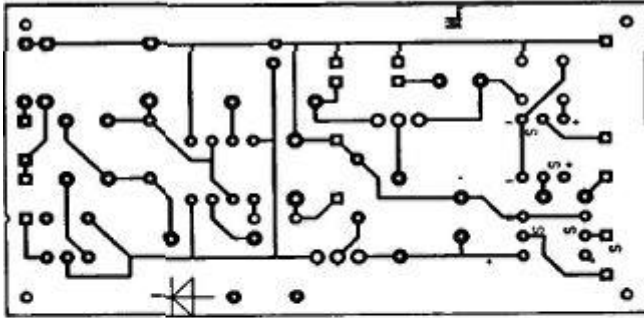


Рисунок 3.5 – Друкована плата електронного регулятора температури

режим калібрування температури, додаткову напругу і потужність на навантаженні можна коригувати, змінюючи опір R7. Двигун R7 перед калібруванням температури розташовується в положенні максимальної потужності. Після охолодження терморезистора до кімнатної температури регулюванням опору R1 встановлюється максимальна напруга на навантаженні, і положення двигуна фіксується при +25°C. Проміжні значення температур вказуються між крайніми.

Провід, який використовується для підключення нагрівача та симістора, має бути з перерізом 4..5 мм² (відповідним для струму навантаження в межах 25..30 А). Провідки для датчиків, які використовуються для уникнення наведення, повинні бути проведені окремо від мережевих провідів. Резервуар підігрівача слід заземлити.

3.4 Вибір датчика температури

Основна ідея роботи будь-яких температурних датчиків, що використовуються в системах автоматичного управління, полягає в перетворенні вимірюваної температури на електричну величину. Це пояснюється рядом переваг електричних вимірювань: електричні величини можна легко передавати на відстань і з високою швидкістю; електричні величини універсальні, оскільки можуть бути перетворені в будь-які інші величини і навпаки; точне перетворення в цифровий код гарантує високу точність, чутливість і швидкодію вимірювальних засобів.

3.4.1 Температурні перетворювачі опору

Дія термоперетворювачів опору, або терморезисторів, ґрунтується на зміні електричного опору провідників та напівпровідників в залежності від температури. Матеріал, який використовується для виготовлення таких датчиків, повинен володіти високим температурним коефіцієнтом опору, бажано лінійною залежністю опору від температури, а також доброю відтворюваністю властивостей та стійкістю до впливу навколишнього середовища. Серед таких матеріалів платина найбільше відповідає усім вказаним властивостям, у меншій мірі - мідь. Щодо теплової інерційності стандартних термометрів опору, то вона описується показником теплової інерції, часові значення якого зазвичай розташовані від десятків секунд до кількох хвилин. У той час як у малоінерційних термометрів опору, спеціально виготовлених, постійна часу може бути зменшена до 0,1 секунди.

У порівнянні з металевими терморезисторами, напівпровідникові терморезистори, або термістори, володіють вищою чутливістю. Вони відзначаються негативним температурним коефіцієнтом опору, яке при 20 °С становить $(2 - 8) \cdot 10^{-2} (\text{°C})^{-1}$, що в декілька разів більше, ніж у міді і платини. Напівпровідникові терморезистори при малих розмірах можуть мати високі значення опору (до 1 МОм). Для вимірювання температури найбільш поширеними є напівпровідникові терморезистори типу КМТ (з сумішшю оксидів кобальту і марганцю) і ММТ (з сумішшю оксидів міді і марганцю). Термістори характеризуються лінійною функцією перетворення.

Суттєвим недоліком термісторів, що ускладнює точне нормування їх характеристик при масовому виробництві, є низька відтворюваність цих характеристик (великі відмінності між характеристиками різних екземплярів).

Пристрої для вимірювання температури на основі напівпровідників характеризуються великою стабільністю параметрів протягом тривалого часу і призначені для вимірювання температур у діапазоні від - 100 до 200 °С. У вимірювальних схемах з використанням термоперетворювачів опору найчастіше

використовується мостова конфігурація, де балансування моста здійснюється за допомогою потенціометра. Зміна опору терморезистора призводить до руху движка потенціометра, який формує покази приладу відносно шкали, градуйованої безпосередньо в одиницях температури. Однак недоліком цієї схеми є погрішність, внесена дротами підключення терморезистора. Одним зі способів компенсації цієї погрішності є застосування трипровідної схеми включення дротів, де опори підводячих дротів розташовані в різних гілках, що значно зменшує їх вплив.

3.4.2 Термопары

Принцип функціонування термопар базується на термоелектричному ефекті, що полягає у виникненні струму в замкнутому контурі, який складається з двох провідників або напівпровідників різних матеріалів, якщо їхні спаї мають різні температури. Якщо взяти замкнутий контур із різнорідних провідників (термоелектродів), то на місцях їхнього з'єднання виникають термоЕРС $E(t)$ і $E(t_0)$, які залежать від температур цих точок t і t_0 відповідно. Оскільки ці термоЕРС взаємодіють у зустрічному напрямі, то сумарна термоЕРС, що діє в контурі, дорівнює $E(t) - E(t_0)$.

Коли температура обох спаїв однакова, результуюча термоЕРС рівна нулю. Спай, який знаходиться в контрольованому середовищі, називається робочим кінцем термопары, в той час як інший спай вважається вільним.

В парі однорідних провідників результуюча термоЕРС залежить лише від матеріалів провідників та температури спаїв і не залежить від того, як розподілена температура вздовж провідників. Термоелектричний контур може бути розімкнутий в будь-якому місці, де можуть бути включені один чи кілька різнорідних провідників. Якщо всі точки з'єднання при цьому мають однакову температуру, результуюча термоЕРС в контурі залишається незмінною. Цей принцип використовується при вимірюванні термоЕРС термопар. Створювана

термопарами ЕРС розміром зазвичай не перевищує 8 мВ на кожні 100 °С і, як правило, за абсолютною величиною не перевищує 70 мВ.

Термопари забезпечують вимір температури в діапазоні від - 200 до 2200 °С. Для виміру температур до 1100 °С, в основному, використовують термопари, виготовлені з неблагородних металів. Для температур від 1100 до 1600 °С переважно застосовують термопари, що складаються з благородних металів і сплавів платинової групи. Для вимірювання вищих температур використовують термопари з жаростійких сплавів, зокрема на основі вольфраму. Платина, платинородій, хромель і алюмель найбільше використовуються для виробництва термоелектричних перетворювачів.

Час реакції термоелектричних перетворювачів залежить від їх конструкції і якості теплового контакту між робочим сполученням термопари та навколишнім середовищем. Для промислових термопар цей час обчислюється в хвилинах. Тим не менше, існують конструкції термопар з малою інерцією, де постійна часу може бути в межах від 5 до 20 секунд і навіть нижче..

Вимірювальний прилад, такий як мілівольтметр або вимірювальний підсилювач термоЕРС, може бути підключений до контура термопари двома способами: до вільного кінця термопари або до одного з термоелектродів. Вихідна термоЕРС не залежить від способу підключення вимірювальних пристроїв.

3.4.3 Пірометри

Недоліками вже описаних термоперетворювачів опору та термоелектричних перетворювачів є необхідність розміщення датчика в контрольованому середовищі, що може спричинити спотворення досліджуваного температурного поля. Крім того, прямий вплив середовища на датчик може призводити до погіршення стабільності його характеристик, особливо в умовах високих або екстремальних температур та в агресивних оточуючих середовищах. Ці обмеження властиві термоперетворювачам, тоді як пірометри, що працюють

на принципі безконтактного вимірювання, уникнуть цих недоліків, використовуючи випромінювання нагрітих тіл.

Пірометри, які використовують енергію випромінювання гарячих об'єктів, поділяються на радіаційні, яскравісні і колірні.

Радіаційні пірометри застосовуються для вимірювання температури в діапазоні від 20 до 2500 °С. Ці прилади вимірюють інтегральну інтенсивність випромінювання реального об'єкта. У зв'язку з цим при визначенні температури необхідно враховувати реальне значення коефіцієнта неповноти випромінювання.

Яскравісні (оптичні) пірометри використовуються для вимірювання температур від 500 до 4000 °С. Основаними на порівнянні у вузькому діапазоні спектру яскравості досліджуваного об'єкта з яскравістю зразкового випромінювача (фотометричної лампи), ці пірометри забезпечують вищу точність вимірювань температури порівняно з радіаційними. Основною причиною погрішності є неповнота випромінювання реальних фізичних тіл і поглиблення випромінювання проміжним середовищем, через яке проводиться спостереження.

Колірні пірометри базуються на вимірі відношення інтенсивностей випромінювання на двох довжинах хвиль, які зазвичай вибираються з червоної або синьої частини спектру. Застосовуються для вимірювання температур в діапазоні від 800 °С. Зазвичай колірний пірометр має один канал для вимірювання інтенсивності монохроматичного випромінювання з використанням змінних світлофільтрів.

Головною перевагою колірних пірометрів є те, що неповнота випромінювання досліджуваного об'єкта не впливає на точність вимірюваної температури. Крім того, вказівки колірних пірометрів не змінюються залежно від відстані до об'єкта виміру і не залежать від коефіцієнта випромінювання в проміжному середовищі, якщо коефіцієнти поглиблення однакові для обох довжин хвиль.

3.4.4 Кварцові температурні перетворювачі

Для вимірювання температур в діапазоні від - 80 до 250 °С часто використовуються кварцові термоперетворювачі, що ґрунтуються на залежності власної частоти кварцового елемента від температури. Робота цих датчиків базується на тому, що залежність частоти перетворювача від температури та лінійність функції перетворення змінюються відповідно до орієнтації зрізу відносно осей кристала кварцу.

Кварцові термоперетворювачі відзначаються великою чутливістю (до 103 Гц/К), високою стабільністю у часі ($2 \cdot 10^{-2}$ К/рік) і роздільною здатністю в межах $10^{-4} - 10^{-7}$ К, що визначає їх перспективність. Ці датчики широко використовуються у цифрових термометрах.

3.4.5 Шумові термометри

Робота шумових термометрів ґрунтується на впливі температури на шумову напругу, що генерується на резисторі. У практичній реалізації цього методу вимірювання температури використовується порівняння шумів двох ідентичних резисторів, один із яких перебуває при відомій температурі, а інший - при температурі, яку вимірюють. Зазвичай шумові датчики використовуються для вимірювання температур в діапазоні від - 270 - 1100 °С.

Перевагою шумових датчиків є можливість вимірювання термодинамічної температури. Однак це завдання ускладнюється тим, що точне вимірювання середньоквадратичного значення напруги шумів є великою трудністю через його невелике значення і порівняність із рівнем шуму підсилювача.

3.4.6 ЯКР – термометри

ЯКР-термометри, або термометри на основі ядерного квадрупольного резонансу, ґрунтуються на взаємодії між градієнтом електричного поля кристалічної решітки та квадрупольним електричним моментом ядра, викликаним відхиленням розподілу заряду ядра від сферичної симетрії. Ця взаємодія призводить до прецесії ядер, і частота цієї прецесії залежить від градієнта електричного поля грат. Для різних речовин частота може змінюватися від сотень кілогерц до тисяч мегагерц. Градієнт електричного поля грат також залежить від температури, і зі збільшенням температури частота ЯКР зменшується.

Датчик у ЯКР-термометрі представляє собою ампулу з речовиною, ув'язаною всередині котушки індуктивності, яка входить у склад контура генератора. Коли частота генератора збігається з частотою ЯКР, відбувається поглинання енергії від генератора. Погрішність вимірювання температури при $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить $\pm 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при температурі $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $\pm 0,002\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однією з переваг ЯКР-термометрів є їх необмежена в часі стабільність, але недоліком є значна нелінійність функції перетворення.

3.4.7 Дилатометричні перетворювачі температури

Дилатометричні (об'ємні) сенсори для вимірювання температури використовують явище зміни об'єму твердих тіл, рідини або газів при збільшенні або зменшенні температури.

Температурний діапазон ефективної роботи конвертерів, що використовують розширення твердих тіл, визначається стійкістю властивостей матеріалів до зміни температури. Зазвичай ці перетворювачі застосовують для вимірювання температур у межах від -60 до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, де погрішність конвертування становить від 1 до 5%.

3.4.8 Акустичні датчики температури

Акустичні термометри використовують залежність швидкості поширення звуку в газах від їхньої температури і переважно використовуються для вимірювання температур у діапазоні середніх і високих значень. У пристрої акустичного термометра розміщені просторово рознесені випромінювачі акустичних хвиль і приймачі. Ці елементи, як правило, включаються в автогенератор, частота коливань якого змінюється відповідно до температури. Для досягнення цього зазвичай використовуються різні типи резонаторів.

3.4.9 DS-600 – низьковольтні датчики температури

13 квітня 2004 року компанія Dallas Semiconductor представила DS600 - найбільш доступний у світі температурний датчик із аналоговим виходом та точністю вимірювань $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (максимум) (див. ілюстрацію 04.02). Ці пристрої постачаються з заводським калібруванням і мають лінійну характеристику вихідної напруги, що робить їх легкими у використанні та зручними для впровадження в різноманітні розробки. Висока точність, доступна ціна і простота використання роблять ці датчики ідеальними для компенсації холодного спаю у високоточних системах на основі термопар та заміни вже існуючих дорогих точних аналогових термодатчиків, наприклад, RTD. Датчик DS600 також ідеально підходить для застосувань у сферах медицини, автомобілебудування та промисловості.

DS-600 - це температурні датчики з низькою напругою. Вони генерують вихідну напругу, яка змінюється лінійно відповідно до температури за шкалою Цельсія. DS-600 не вимагають зовнішнього калібрування і забезпечують типову точність $\pm 1^{\circ}\text{C}$ при $+25^{\circ}\text{C}$ і $\pm 2^{\circ}\text{C}$ у діапазоні -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$; точність – 0,5; робочий діапазон $-40\dots 125^{\circ}\text{C}$; $K_{\text{п}} +6,45^{\circ}\text{C/V}$; $V_{\text{см}} +509\text{ мВ}$; $I_{\text{пот}} 140\text{ мкА}$; корпус 8/MSOP.

Низький опір на виході DS-600, лінійність вихідної напруги та відсутність потреби в точному калібруванні спрощують його інтеграцію в електричні схеми терморегуляторів та аналого-цифрових перетворювачів. Пристрій живиться через двохпровідну лінію від джерела напруги від 2,7 В до 5,5 В. Живлячий струм значно менше 50 мкА, забезпечуючи дуже низький самогрів - менше 0.1 °С в неутрученому середовищі. Крім того, вбудована функція відключення дозволяє знизити живлячий струм. Датчик DS-600 має масштабний коефіцієнт виведення 10 mV/ °С.

Схема DS-600 наведена на рис. 3.6. Зазвичай введення аналогової інформації в цифрових мікропроцесорних системах реалізується за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Схема DS600 також може функціонувати як термостат із користувачем визначеним порогом спрацьовування, точність якого забезпечує внутрішній компаратор. Датчик

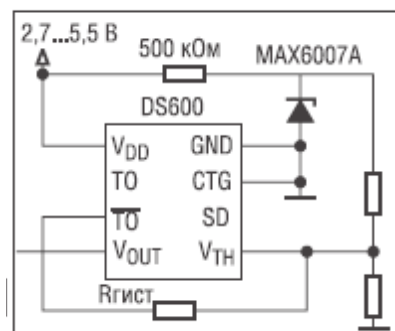


Рисунок 3.6 – DS-600 електрична схема

також може бути використаний в пристроях з низьким споживанням енергії, оскільки струм DS600 становить всього 140 мкА (max) і може працювати в режимі очікування із споживанням лише 2.5 мкА. DS600 доступний у корпусі μ SOP - EP із 8 виводами, що дозволяє досягти низької теплової інерційності і ефективності в отриманні даних вимірювань. Стартова ціна складає \$1.80.

3.5 Розробка алгоритму роботи системи стабілізації температури теплоносія в трубопроводі ескімогенератора

Принцип роботи системи регулювання температури, спрямований на забезпечення утримання встановленого рівня температури розсолу, представлено в алгоритмі на рис. 3.7 (див. ілюстрацію 08.01).

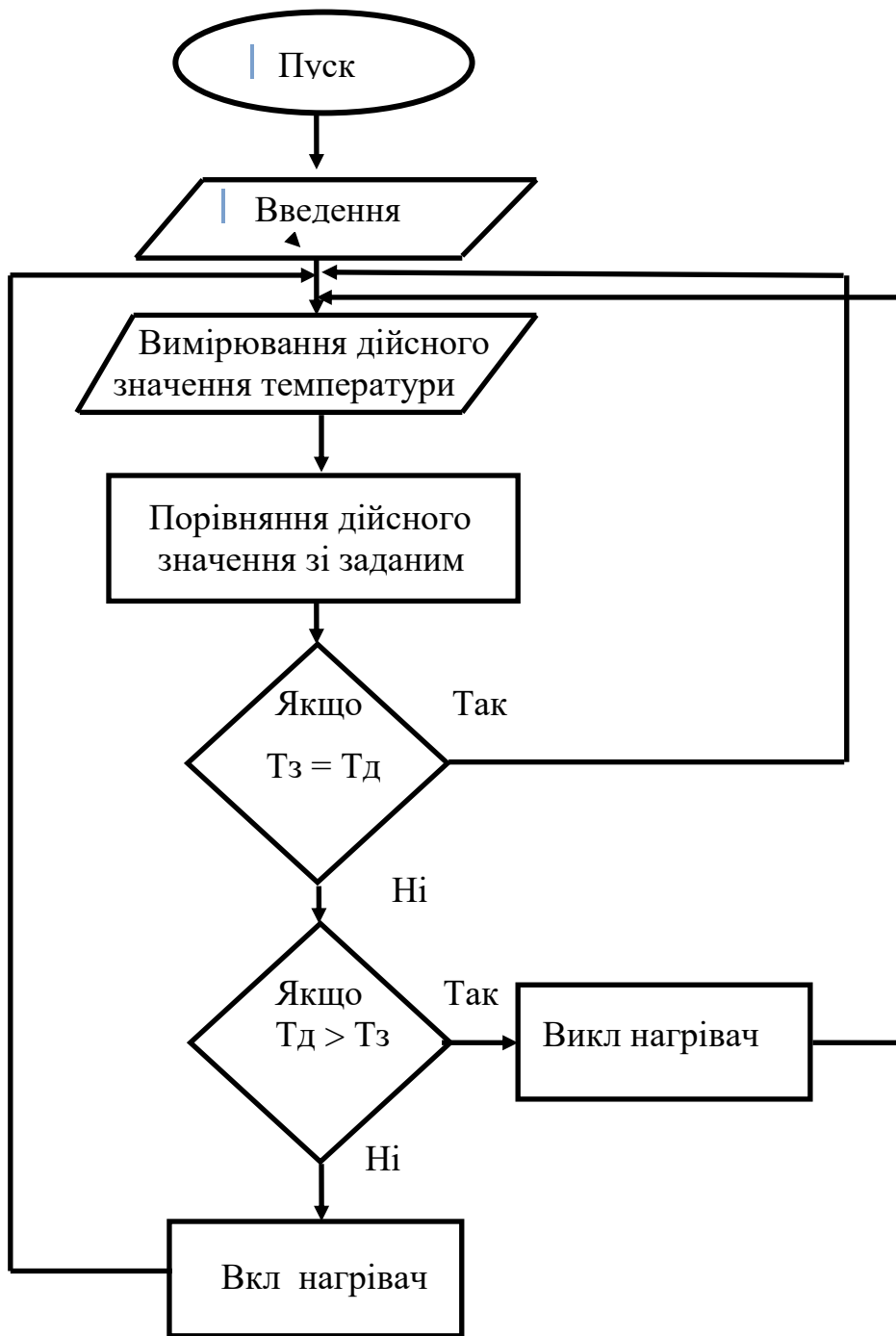


Рисунок 3.7 – Алгоритм роботи системи регулювання температури

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Вихідні дані для розрахунків

У цьому відділі проведемо аналіз стійкості системи, визначимо запаси стійкості та параметри якості регулювання. Розглянемо рівняння елементів системи об'єкта:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu - k_1 f ; \quad (4.7)$$

вимірювальної схеми:

$$U_m = k_2 \Delta X ; \quad (4.8)$$

підсилювача:

$$U_y = k_3 U_m ; \quad (4.9)$$

нагрівального елемента

$$T_1 \left(\frac{d\mu}{dt} \right) + \mu = k_4 U_y . \quad (4.10)$$

Параметри:

Θ – температура форми; X_0 – задане значення температури форми; X – поточне значення температури після датчика; $\Delta X = X_0 - X$ – відхилення температури; μ – тепловиділення нагрівального елемента; U_y – напруга управління нагрівальним елементом; f – еквівалентне збурююче діяння; U_0 – напруга живлення мостової схеми; U_m – вихідна напруга вимірювального мосту.

Вихідні дані:

$$T_0 = 2,2 \text{ с}; \quad T_1 = 0,042 \text{ с}; \quad k_0 = 4,0 \text{ град/Вт}; \quad k_1 = 1,7 \text{ град/Вт}; \\ k_2 = 0,7 \text{ В/град}; \quad k_3 = 1,85; \quad k_4 = 0,15 \text{ Вт/В}; \quad f = 1,2 \text{ Вт}$$

Вимоги до синтезованої САР:

- максимальне перерегулювання не повинно перевищувати 25 %;
- в процесі синтезу САР розробити систему, оптимальну за швидкодією;

- час регулювання приймається зменшеним на 30 % від отриманого для заданих параметрів системи;

- запас стійкості за модулем не менше 15 дБ, за фазою не менше 30°.

4.2 Принцип регулювання, будова та принцип дії системи стабілізації температури

Завдання системи полягає в тому, щоб утримувати температуру форми на заданому, в основному постійному, рівні, встановленому оператором, шляхом регулювання кількості тепла, що виділяється нагрівальним елементом. Контроль за температурою форми забезпечується за допомогою термодатчика.

У стабільному режимі, коли температура форми дорівнює заданому значенню, вимірювальний міст знаходиться в рівновазі, відхилення на виході вимірювальної діагоналі становить нуль, напруга на виході підсилювача також дорівнює нулю, і тепловиділення нагрівального елемента залишається незмінним.

У випадку, коли температура форми змінюється унаслідок різних обставин, міст втрачає баланс, і на його виході виникає напруга розбалансу з відповідною фазою. Це розбалансоване значення збільшується за допомогою фазочутливого підсилювача із відповідним коефіцієнтом підсилення, необхідним для керування нагрівальним елементом. Останній, в свою чергу, змінює тепловиділення, що призводить до корекції температури форми в напрямку зменшення або збільшення кількості тепла в залежності від знаку напруги на виході підсилювача.

Отже, у цій схемі використовується принцип регулювання на основі відхилення фактичного значення вихідної величини об'єкта від його заданого значення. Для ефективної реалізації цього принципу система автоматичного регулювання (САР) повинна бути замкненою. Головною особливістю і перевагою цієї схеми є те, що САР реагує на відхилення фактичного значення регульованої величини від заданого незалежно від причин, які спричинили це відхилення.

4.3 Функціональна схема системи стабілізації температури

Після вивчення передачі подій у системі було створено функціональну схему системи, яка зображена на рис. 4.7.

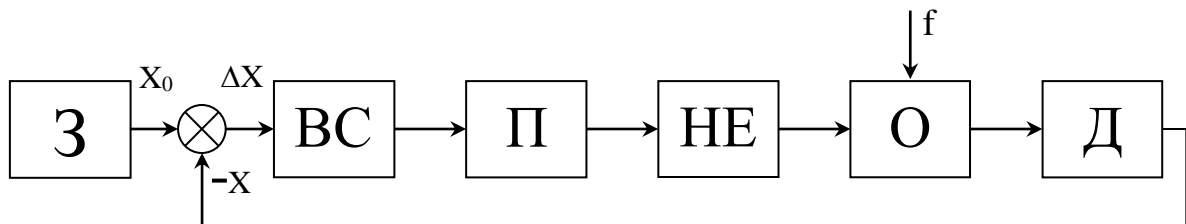


Рисунок 4.7 – Функціональна схема системи стабілізації температури теплоносія в камері:

З – задаючий пристрій; ВС – вимірювальна схема; П – підсилювач;
НЕ – нагрівальний елемент; О – об’єкт регулювання; Д – датчик

4.4 Структурна схема системи стабілізації температури

При розробці структурної схеми САР були використані диференціальні рівняння, що описують елементи схеми (див. пункт 4.2). Тепер перейдемо від цих диференціальних рівнянь до передаточних функцій цих елементів. Передаточна функція елемента визначається як відношення зображення за Лапласом вихідної величини до зображення за Лапласом вхідної величини при нульових початкових умовах.

Для визначення передаточної функції об'єкта ми прирівнюємо збурюючий вплив f до нуля. Оскільки наша мета полягає в отриманні передаточної функції з впливу керуючого сигналу, отримаємо диференціальне рівняння об'єкта у наступному вигляді:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu \quad (4.11)$$

Для визначення передаточних функцій елементів схеми використано просте перетворення Лапласа:

$T_0 \bar{\Theta} p + \bar{\Theta} = k_0 \bar{\mu}$, де p – оператор Лапласа.

$$W_o(p) = \frac{\bar{X}_{\text{вих}}}{\bar{X}_{\text{вх}}} = \frac{\bar{\Theta}}{\bar{\mu}} = \frac{k_0}{T_0 p + 1}. \quad (4.12)$$

Це аперіодична динамічна ланка.

Аналогічним чином отримуємо передаточні функції інших елементів системи (ілюстрація 05.03):

- вимірювальної схеми:

$$W_{\text{вс}}(p) = \frac{\bar{U}_m}{\Delta \bar{X}} = k_2. \quad (4.13)$$

Це підсилювальна динамічна ланка;

- підсилювача:

$$W_n(p) = \frac{\bar{U}_y}{\bar{U}_m} = k_3. \quad (4.14)$$

Це підсилювальна динамічна ланка;

- двигуна:

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{\bar{\mu}}{\bar{U}_y} = \frac{k_4}{T_1 p + 1}. \quad (4.15)$$

Це аперіодична динамічна ланка;

- датчика:

$$W_{\text{д}}(p) = 6,5. \quad (4.16)$$

Це повторювач.

З'єднавши типові динамічні ланки відповідно до передачі діянь, дістанемо структурну схему САР температури (рис. 4.8, ілюстрація 05.04).

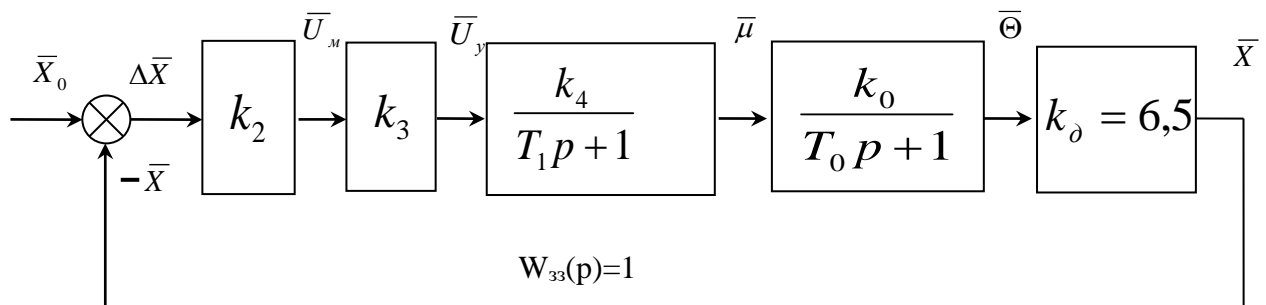


Рисунок 4.8 – Структурна схема САР температури теплоносія в камері

4.5 Визначення передаточних функцій систем та характеристичного рівняння

Елементи структурної схеми САР розташовані у послідовності, тому для визначення передаточної функції відкритої системи необхідно перемножити передаточні функції всіх елементів:

$$W_p(p) = W_{ec}(p) \cdot W_n(p) \cdot W_{дв}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_d(p) = \frac{k_0 k_2 k_3 k_4}{(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}. \quad (4.17)$$

Для спрощення запису введемо позначення:

$$k = k_0 k_2 k_3 k_4. \quad (4.18)$$

Тоді передаточна функція розімкнутої системи матиме вигляд:

$$W_p(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}. \quad (4.19)$$

Передаточна функція замкнутої системи, з врахуванням того, що $W_{зз}(p) = 1$, розраховується за формулою

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) + k}. \quad (4.20)$$

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^2 + (T_1 + T_0) p + 1 + k = 0, \quad (4.21)$$
$$0,092 p^2 + 2,242 p + 1 + 5,04 = 0.$$

4.6 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи

4.6.1 Побудова АФЧХ системи

Для створення амплітудно-фазової частотної характеристики відкритої системи слід виконати заміну у відповідній передаточній функції (де ω - частота), виокремити дійсну частину $P(\omega)$ та уявну частину $Q(\omega)$. Подалі, змінюючи частоту від 0 до ∞ , слід записувати відповідні значення:

$$\begin{aligned}W_p(j\omega) &= \frac{k}{(T_1 j\omega + 1)(T_0 j\omega + 1)} = \frac{k}{T_1 T_0 (j\omega)^2 + (T_1 + T_0)j\omega + 1} = \\&= \frac{k}{-T_1 T_0 \omega^2 + j(T_1 + T_0)\omega + 1} = \frac{k}{(1 - T_1 T_0 \omega^2) + j(T_1 + T_0)\omega} = \\&= \frac{k((1 - T_1 T_0 \omega^2) + j(T_1 + T_0)\omega)}{(1 - T_1 T_0 \omega^2)^2 + ((T_1 + T_0)\omega)^2}\end{aligned}$$

Отже, підставивши значення коефіцієнтів і сталих часу, отримаємо:

$$\begin{aligned}P(\omega) &= \frac{k(1 - T_1 T_0 \omega^2)}{(1 - T_1 T_0 \omega^2)^2 + ((T_1 + T_0)\omega)^2} = \frac{5,04(1 - 0,092 \omega^2)}{(1 - 0,092 \omega^2)^2 + (2,242 \omega)^2}; \\Q(\omega) &= \frac{k(-((T_1 + T_0)\omega))}{(1 - T_1 T_0 \omega^2)^2 + ((T_1 + T_0)\omega)^2} = \frac{5,04(- (2,242 \omega))}{(1 - 0,092 \omega^2)^2 + (2,242 \omega)^2}.\end{aligned}$$

Побудуємо графік АФЧХ розімкнутої системи (рис. 4.3).

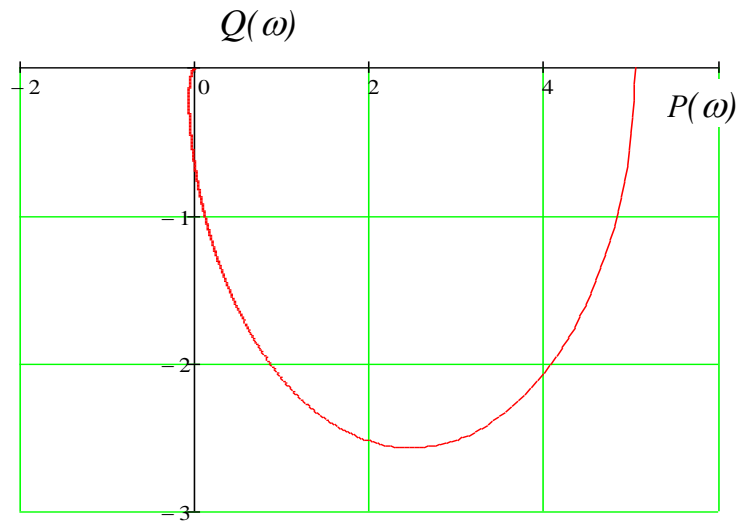


Рисунок 4.9 – АФЧХ розімкнутої системи

4.6.2 Побудова ЛАЧХ системи

Для створення амплітудно-фазової характеристики за допомогою асимптотичного методу, в першу чергу, слід визначити спрягаючі частоти за сталими часу динамічних ланок:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2,2} = 0,46 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці};$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,042} = 23,81 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці}.$$

Знайдені спрягаючі частоти слід позначити на частотній вісі в логарифмічному масштабі (рис. 4.10). Низькочастотна асимптота ЛАЧХ при $\omega = 0$ відображається у вигляді прямої із нахилом -0 дБ/дек, оскільки система не має інтегруючого динамічного ланцюга. Ця пряма або її продовження при $\omega = 1$ повинна мати ординату, рівну $20 \lg k = 14,1$ дБ (де $k = 5,04$ - коефіцієнт підсилення розімкнутої системи).

Після кожної спрягаючої точки нахил характеристики порівняно з попереднім значенням зменшується на -20 дБ/дек, оскільки вказані частоти відповідають аперіодичним динамічним ланкам першого порядку. Високочастотна асимптота ЛАЧХ, а саме її частина при частотах, які перевищують , має нахил -60 дБ/дек.

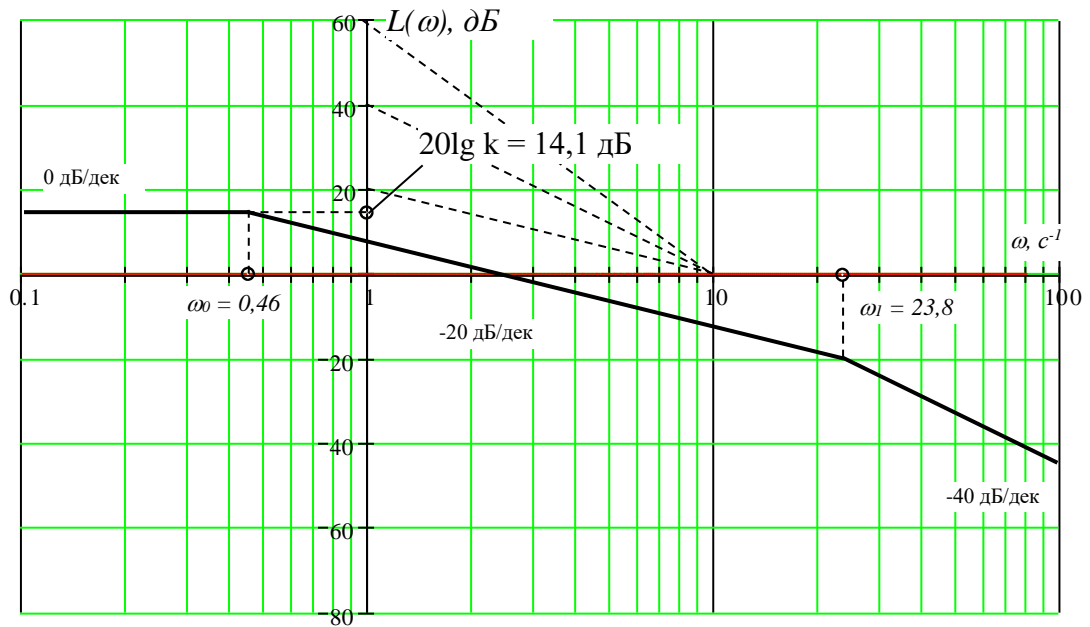


Рисунок 4.10 – ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$

4.6.3 Побудова ЛФЧХ системи

Графік ЛФЧХ одноконтурної розімкнутої системи формується шляхом сумування ординат фазових характеристик стандартних ланок (рис. 4.11):

$$\phi(\omega) = (-\arctg(\omega T_0) - \arctg(\omega T_1)) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (4.22)$$

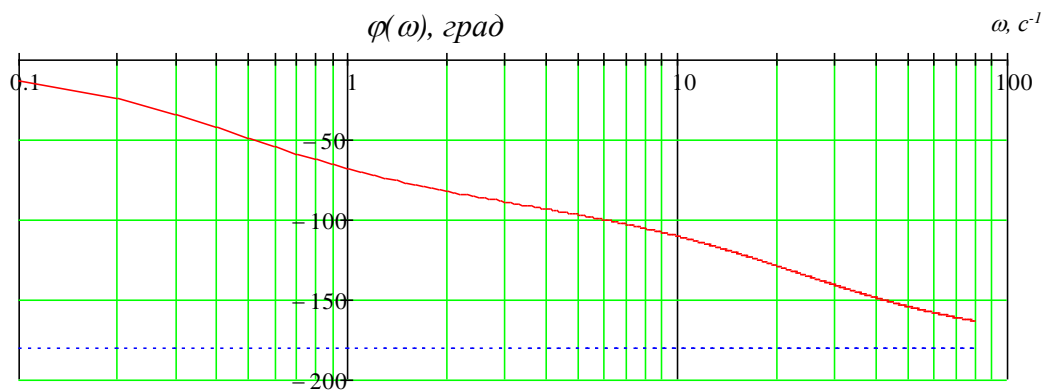


Рисунок 4.11 – ЛФЧХ розімкнутої системи $\phi(\omega)$

4.7 Побудова дійсної частотної характеристики системи

Для цього необхідно виділити дійсну частину передаточної функції замкнутої системи, провівши заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω - частота), та, змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення $P_3(\omega)$:

$$W_3(\omega) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) + k} = \frac{k}{T_1 T_0 p^2 + (T_1 + T_0)p + 1 + k};$$

Підставимо $p = j\omega$, отримаємо:

$$\begin{aligned} W_3(\omega) &= \frac{k}{T_1 T_0 (j\omega)^2 + (T_1 + T_0)j\omega + 1 + k} = \\ &= \frac{k}{(k + 1 - T_1 T_0 \omega^2) + j(T_1 + T_0)\omega} = \frac{k((k + 1 - T_1 T_0 \omega^2) - j((T_1 + T_0)\omega))}{(k + 1 - T_1 T_0 \omega^2)^2 + ((T_1 + T_0)\omega)^2} \end{aligned}$$

Виділимо дійсну частину:

$$P_3(\omega) = \frac{k(k + 1 - T_1 T_0 \omega^2)}{(k + 1 - T_1 T_0 \omega^2)^2 + ((T_1 + T_0)\omega)^2} = \frac{5,04(5,04 + 1 - 0,092\omega^2)}{(5,04 + 1 - 0,092\omega^2)^2 + (2,242 \cdot \omega)^2}.$$

Дійсна частотна характеристика замкнутої системи наведена на рис. 4.12.

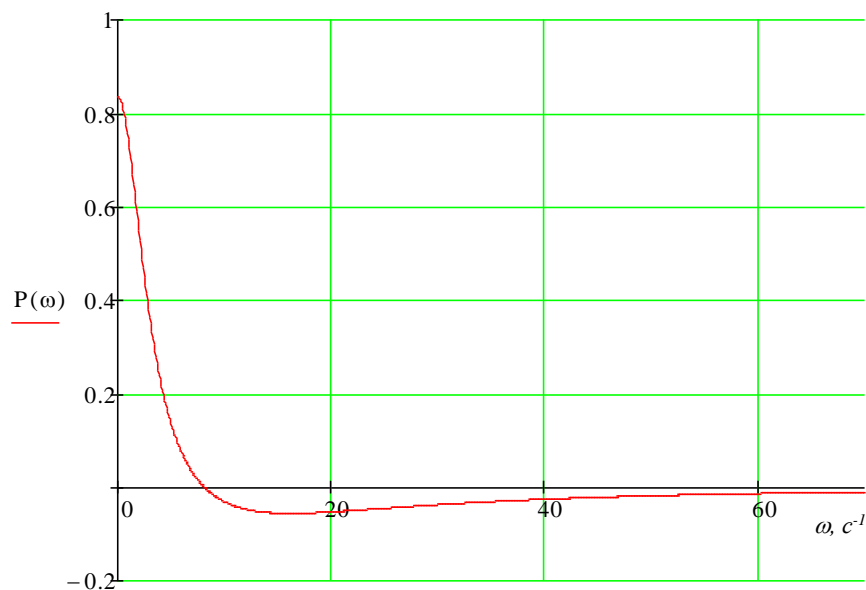


Рисунок 4.12 – Дійсна частотна характеристика замкнутої системи

4.8 Визначення стійкості системи і запасів стійкості, побудова області стійкості

4.8.1 Дослідження стійкості системи та визначення запасів стійкості за допомогою критерію Найквіста-Михайлова

Східно до цього критерію, стійкість замкненої системи автоматичного регулювання визначається за амплітудно-фазовою частотною характеристикою стійкої розімкненої системи (рис. 4.13, ілюстрація 06.01). Розімкнута система автоматичного регулювання вважається стійкою, якщо вона складається лише з стійких динамічних ланок, тобто має не більше однієї інтегруючої ланки. Якщо розімкнута система автоматичного керування є стійкою, то для забезпечення стійкості замкненої системи достатньо, щоб амплітудно-фазова характеристика розімкненої системи не охоплювала точку із координатами $(-1, j0)$ під час зміни частоти від 0 до безкінечності.

Таким чином маємо (рис. 4.13): за критерієм Найквіста-Михайлова система стійка і запас стійкості за модулем $Z_m \approx 1$; за фазою $-Z_\phi = 95^\circ$.

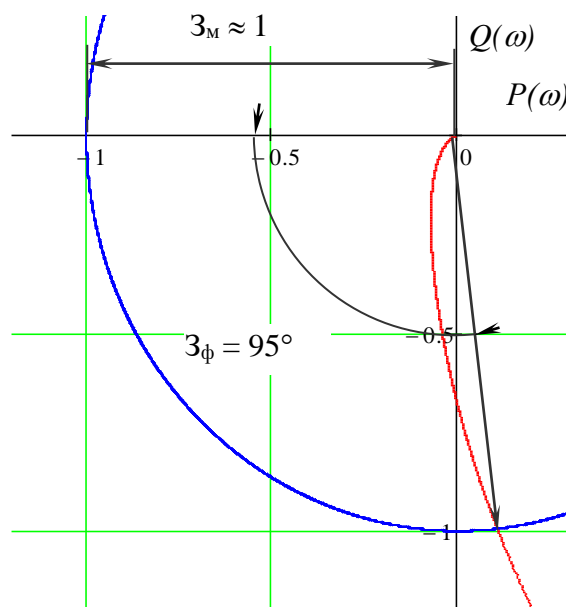


Рисунок 4.13 – Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

4.8.2 Визначення області стійкості за методом D-розбиття

Побудуємо область стійкості системи в площині параметру k_3 , тому що його легко змінювати шляхом підбору коефіцієнту підсилення підсилювача:

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^2 + (T_1 + T_0) p + 1 + k_0 k_2 k_3 k_4 = 0$$

Запишемо характеристичне рівняння відносно k_3 :

$$K(p) = - \frac{(T_1 T_0 p^2 + (T_1 + T_0) p + 1)}{k_0 k_2 k_4}$$

Підставивши $p = j\omega$ та виділивши дійсну і уявну частини виразу, отримаємо:

$$K(\omega) = - \frac{(-T_1 T_0 \omega^2 + j(T_1 + T_0)\omega + 1)}{k_0 k_2 k_4} = \frac{(1 - T_1 T_0 \omega^2)}{k_0 k_2 k_4} + j \frac{(T_1 + T_0)\omega}{k_0 k_2 k_4}$$

$$P(\omega) = \frac{(1 - T_1 T_0 \omega^2)}{k_0 k_2 k_4}; \quad Q(\omega) = \frac{(T_1 + T_0)\omega}{k_0 k_2 k_4}$$

Проведемо аналіз кривої розбиття D в площині параметра k_3 при зміні частоти від $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4.14). Оскільки в усталеній системі всі корені розташовані ліворуч від уявної осі, під час обходу її від $-\infty$ до $+\infty$ ділянка стійкості також залишатиметься ліворуч від побудованої кривої. Для зручності виділення ділянки стійкості можна позначити штриховкою на лівому боці при русі від $-\infty$ до $+\infty$. З отриманої області стійкості можна зробити висновок, що

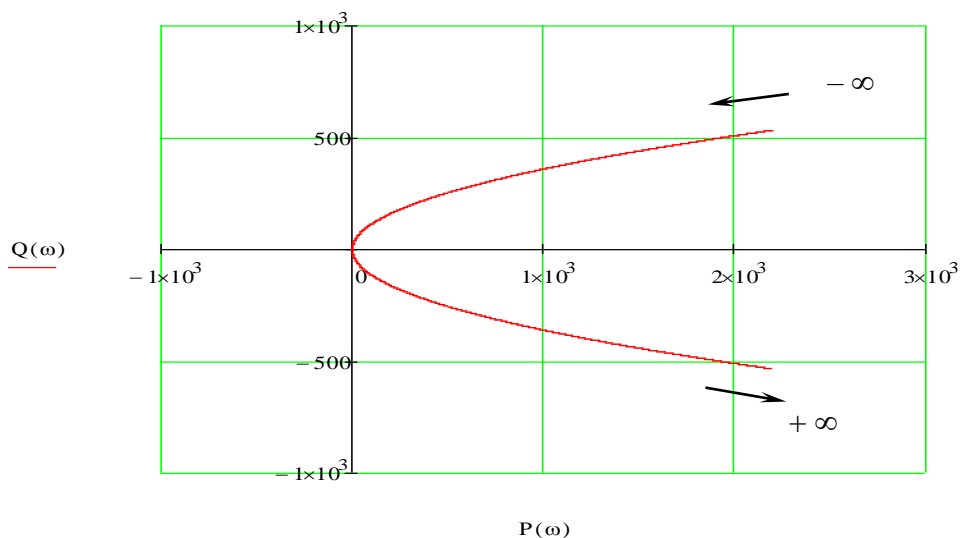


Рисунок 4.14 – D-розбиття в площині параметру k_3

система буде стійкою при будь-якому значенні коефіцієнта підсилення підсилювача k_3 . Зазначимо, що задане значення коефіцієнта підсилення, а саме $k_3 = 1,85$, попадає в область стійкості, тому можна залишити це значення для подальших розрахунків.

4.9 Оцінка якості регулювання системи стабілізації по ЛАЧХ розімкнутої системи

Оцінка ефективності регулювання замкнутої системи автоматичного регулювання включає в себе визначення запасу стійкості (як за модулем, так і за фазою) і частоти відсічення. Для отримання цих характеристик будуємо амплітудно-фазову частотну характеристику (ЛАЧХ) та фазо-амплітудну частотну характеристику (ЛФЧХ) розімкнутої системи і вивчаємо їх взаємне розташування (рис. 4.15, ілюстрація 06.02).

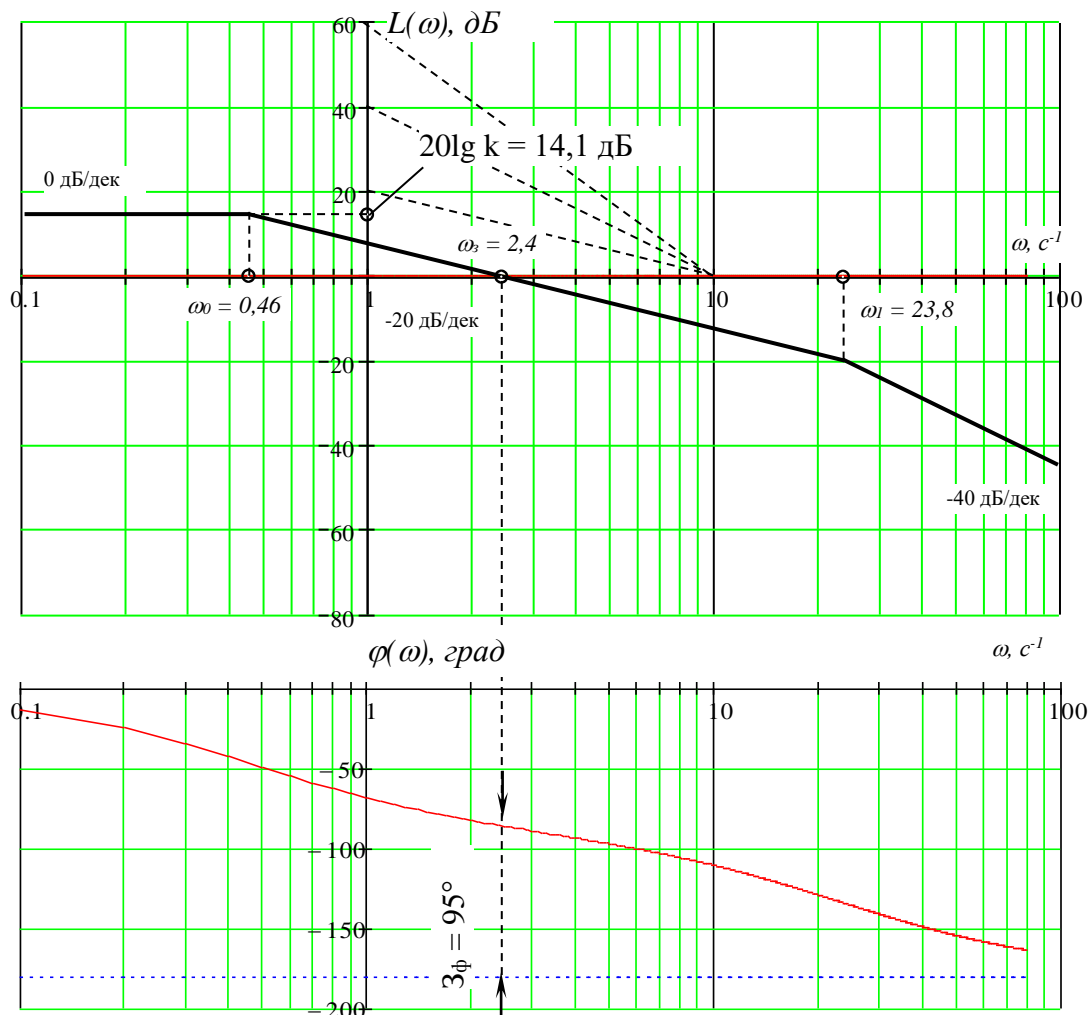


Рисунок 4.15 – Оцінка якості регулювання замкнутої системи стабілізації по ЛАЧХ розімкнутої системи

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_3 = 2,4 \text{ c}^{-1}$, звідки можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови, $t_p = \frac{2\pi}{\omega_3} = 2,62 \text{ c}$; запас стійкості по амплітуді $z_A \gg 40 \text{ дБ}$; запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 95^\circ$.

4.10 Побудова кривої перехідного процесу системи

Залежність регульованої величини від часу при введенні одиничного ступінчастого сигналу в систему може бути виражена наступним чином

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} P_3(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega. \quad (4.23)$$

Заміщаючи відповідні значення, ми отримуємо графік, який представлено на рис. 4.16 (ілюстрація 06.03). З графіка можна вивести висновок, що перехідний процес є монотонним.

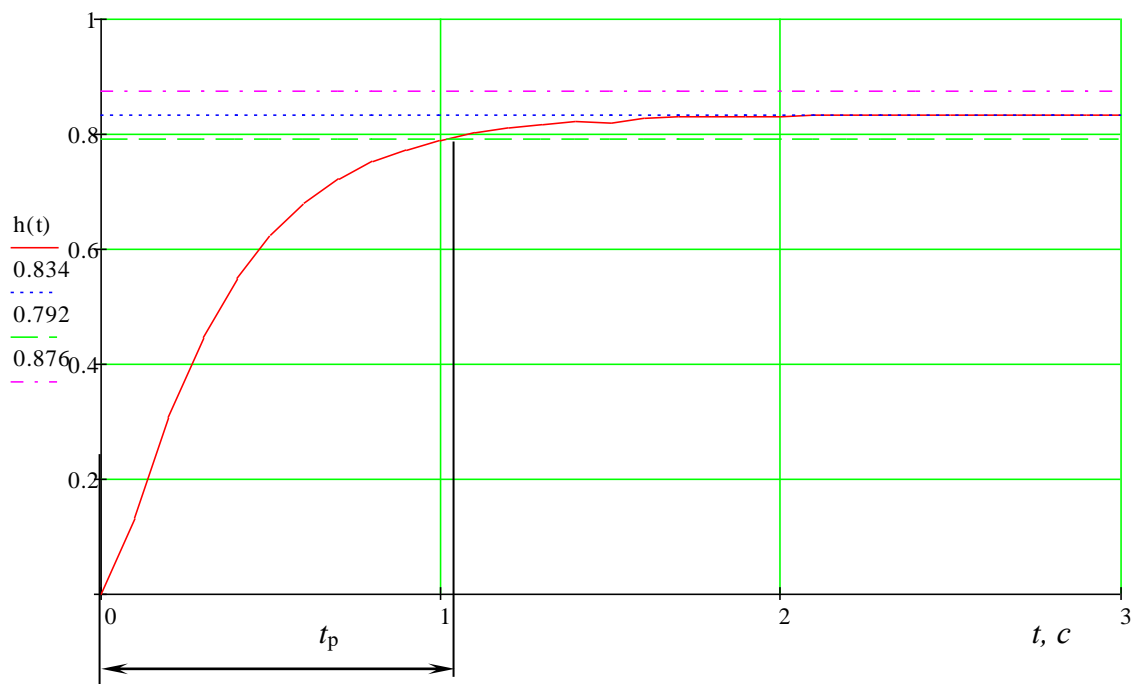


Рисунок 4.16 – Графік перехідного процесу вихідної системи

4.11 Визначення показників якості вихідної системи

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні прямі показники якості САР:

- час наростання перехідного процесу $t_n = 2$ с;
- час регулювання $t_p \approx 1,1$ с, він залежить від швидкодії динамічних ланок та від їх кількості в головному контурі;
- перерегулювання $\delta = 0$ %.

Згідно вимог до системи, час регулювання для проведення її аналізу та синтезу приймається зменшеним на 30 % від отриманого, тобто $t_p = 0,77$ с.

4.12 Побудова бажаної ЛАЧХ оптимальної системи

Вимоги до проектованої системи автоматичного регулювання включають час регулювання $t_p=0.77$ секунд, максимальне перерегулювання $d=25\%$, запас стійкості за модулем не менше 15 дБ і за фазою не менше 30 градусів. Для проведення синтезу САР необхідно побудувати вихідну амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) розімкнутої системи, бажану АЧХ та АЧХ коректуючого пристрою.

Створення бажаної амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) здійснюється на кількох етапах (рис. 4.17, ілюстрація 06.04ТК). Процес побудови в області низьких частот аналогічний створенню АЧХ незмінної системи. З іншого боку, проводиться асимптота з нахилом -0 дБ/декр, що проходить через точку з координатами $20 \lg k = 14,1$ дБ.

Створення амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) в області середніх частот є ключовим етапом і визначається заданими параметрами перерегулювання та тривалістю перехідного процесу. Для наближення реального

процесу до оптимального з погляду швидкодії, нахил середньочастотної асимптоти обрано -20 дБ/дек. Частоту зрізу (частоту, де АЧХ перетинає вісь частот) вибирають, керуючись нерівністю . З міркувань якості системи необхідно, щоб частота зрізу була меншою за , яка визначається за максимальним прискоренням координати та значенням керуючого ступінчатого сигналу. Крім того, частота повинна перевищувати , яка визначається за заданим значенням максимального перегулювання та тривалістю регулювання t_p . За допомогою номограм визначаємо відповідне значення по заданому dm , а потім, використовуючи іншу номограму, знаходимо значення. Цю величину прирівнюємо до заданого значення $t_p = 0,77$ с і визначаємо частоту зрізу $= 12,2$ с⁻¹.

Обрану частоту зрізу $= 15$ с⁻¹ (збільшену на невелику величину) відображено на графіку (рис. 4.11). Далі, будуючи середньочастотну асимптоту, яка проходить через точку на осі абсцис з нахилом -20 дБ/дек, використовуємо відоме значення $P_{zmax} = 1,2$ дійсної частотної характеристики для визначення мінімального значення P_{zmin} . Відповідно до наближеного співвідношення для типової дійсної частотної характеристики, $P_{zmin} = 1 - P_{zmax} = -0,2$.

Для забезпечення потрібного запасу стійкості системи по амплітуді і фазі, необхідно продовжити середньочастотну асимптоту в обидва боки на певну величину. Запаси стійкості визначаються з використанням номограм $L(w) = f(j)$, де P_z – значення дійсної частотної характеристики замкненої системи. Ці криві симетричні відносно осі абсцис і відповідають $P_{zmax} = 1,2$ та $P_{zmin} = -0,2$. Запас стійкості по амплітуді визначається, провівши горизонтальні дотичні до цих кривих і читаючи значення на осі ординат, $L1 = 15$ дБ, $L2 = -15$ дБ. Це означає, що середньочастотну асимптоту слід продовжити вліво і вправо до значень $L1$ та $L2$, а потім взаємодіяти з сусідніми ділянками. З метою спрощення коректуючого пристрою ми збільшимо коефіцієнт підсилення підсилювача k_3 , встановивши його на рівень $k_3 = 76$. При такому підсиленні загальний коефіцієнт підсилення системи складе $k_3 = 31,92$, і $20 \lg k' = 30$ дБ.

Запас стійкості по фазі ϕ визначимо, провівши вертикальні дотичні до кривих $P_{\max} = 1,2$ і $P_{\min} = -0,2$, а потім відрахуємо значення кута в градусах від дотичної до лінії -180° . У даному випадку $\phi=45^\circ$.

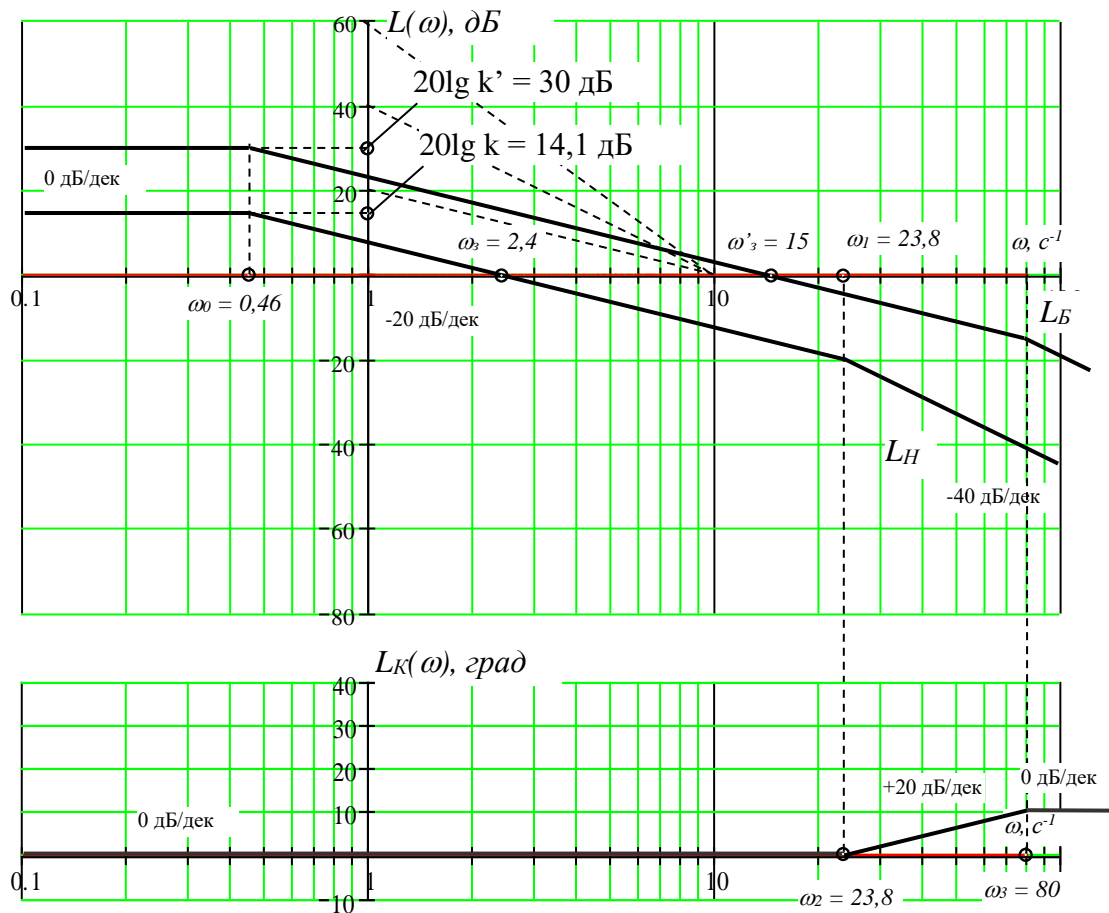


Рисунок 4.17 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ коректуючого пристрою

4.13 Синтез коректуючого пристрою системи за логарифмічними частотними характеристиками

ЛАЧХ коректуючого пристрою визначаємо як відмінність між бажаною та незмінною ЛАЧХ, тобто $L_k(\omega) = L_b(\omega) - L_n(\omega)$ (рис. 4.11). Щодо форми ЛАЧХ коректуючого пристрою, ми обираємо схему, відображену на рисунку 4.18:

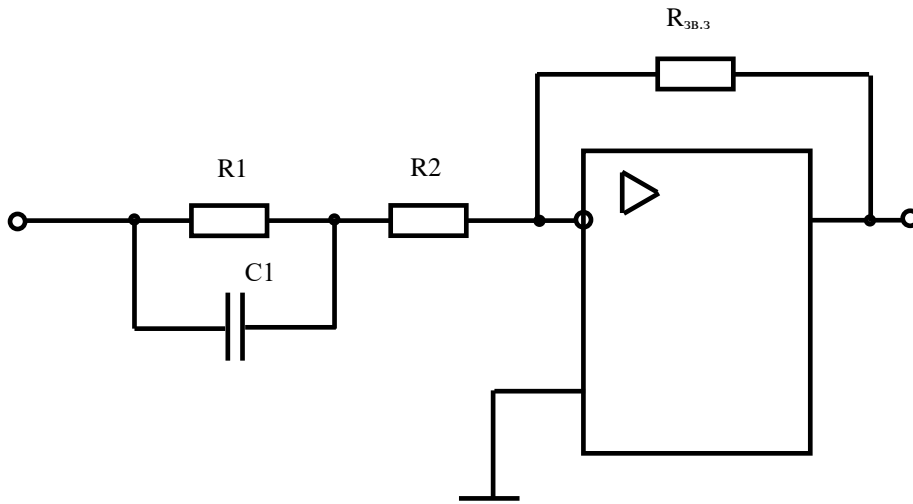


Рисунок 4.18 – Схема коректуючого пристрою

Передаточна функція такого чотирьополієсника у загальному вигляді:

$$W_{kn}(p) = \frac{k(T_2 p + 1)}{(T_3 p + 1)},$$

де $T_2 = 1/\omega_2 = 1/23,8 = 0,042$ с;

$T_3 = 1/\omega_3 = 1/80 = 0,0125$ с.

Підставивши у загальне рівняння сталої часу, отримаємо передаточну функцію коректуючого пристрою:

$$W_{kn}(p) = \frac{1 \cdot (0,042 p + 1)}{(0,0125 p + 1)}.$$

Обчислюємо параметри R_1 , R_2 , C схеми коректуючої ланки за формулами:

$k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$; $T_2 = R_1 C$; $T_3 = k \cdot T_4 = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}$. Для отримання номіналів елементів

коректуючого пристрою задавшись $C = 2 \times 10^{-6} = 2$ мкФ, отримано такі значення опорів:

$$R_1 = T_2 / C = 0,042 / 2 \times 10^{-6} = 0,021 \times 10^6 = 21 \text{ кОм.}$$

Далі, через те, що $k = T_3 / T_2 = 0,0125 / 0,042 = 0,3$ і $k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$,

$$R_2 = \frac{k R_1}{1 - k} = \frac{0,3 \cdot 0,021 \times 10^6}{1 - 0,3} = 9 \times 10^3 \approx 9 \text{ кОм.}$$

Вибираємо номінали резисторів зі стандартного ряду опорів $R_1 = 22$ кОм, $R_2 = 9,1$ кОм.

Вибрана коректуюча ланка є активним чотириполюсником. Для забезпечення $k_k = 1$ необхідно прийняти $R_{зв.з} = R_1 + R_2 = 31,1$ кОм, прийmemo зі стандартного ряду опорів $R_{зв.з} = 33$ кОм.

4.14 Побудова перехідного процесу скорегованої системи та визначення показників якості

Запишемо передаточну функцію замкнутої скорегованої системи

$$W_{зк}(p) = \frac{k(T_2 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) + k \cdot (T_2 p + 1)} \quad (4.24)$$

Аналогічно використовуючи метод, описаний для побудови графіка перехідного процесу вихідної системи, ми отримуємо графік перехідного процесу системи з введенням коректуючого пристрою.

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні показники якості САР:

- перерегулювання $\delta = 0$ %;
- час регулювання $t_p = 0,18$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 0,38$ с.

По вигляду кривої цей перехідний процес монотонний.

Отже, використання виразу для передаточної функції коректуючого пристрою дозволяє відповідати вимогам щодо якості системи. В результаті проведених розрахунків була створена система, яка відповідає встановленим критеріям. При цьому також був здійснений синтез коректуючого пристрою для цієї системи.

Вихідна САР мала такі показники якості:

- перерегулювання $\delta = 0$ %;
- запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 95^\circ$;
- час регулювання $t_p \approx 1,1$ с;

- час наростання перехідного процесу $t_H = 2$ с;
- запас стійкості по амплітуді $Z_A \gg 40$ дБ.

Після синтезу корегуючого пристрою САР мала такі показники:

- перерегулювання $\delta = 0$ %;
- час наростання перехідного процесу $t_H = 0,38$ с;
- час регулювання $t_p = 0,18$ с;
- запас стійкості по амплітуді Z_A – не менше 15 дБ;
- запас стійкості по фазі Z_ϕ не менше 45° .

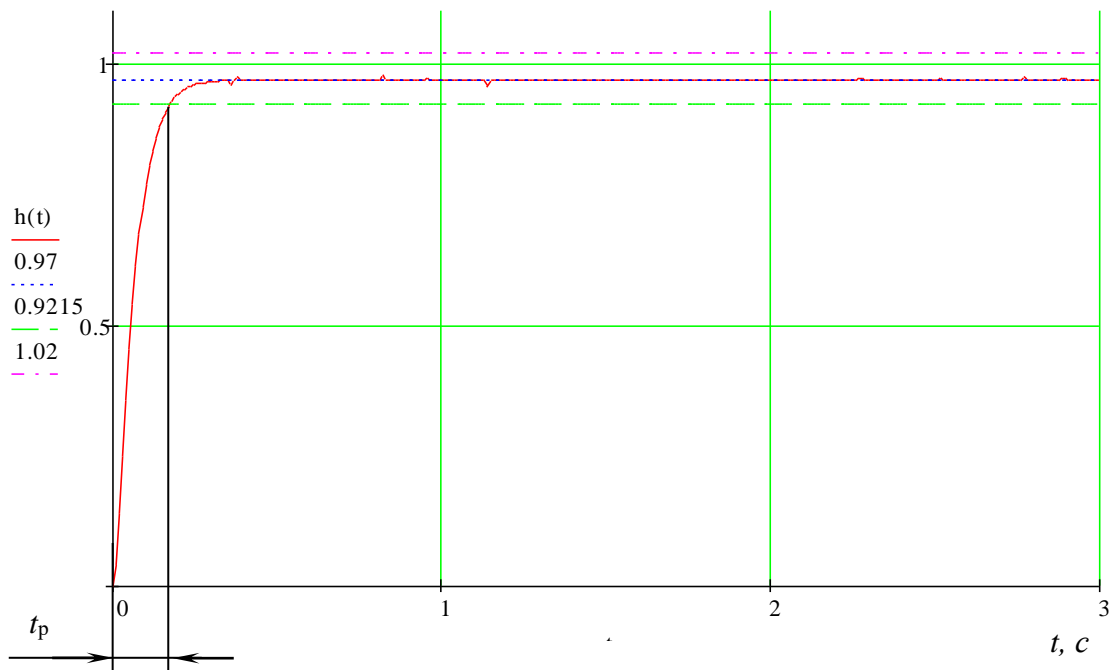


Рисунок 4.19 – Графік перехідного процесу системи, скоректованої шляхом синтезу

5 ОПИС РОБИТ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ СИСТЕМИ

5.1 Рекомендації по експлуатації ескімогенератора

При монтажі ескімогенератора необхідно забезпечити надійне заземлення та підключення до загальної системи заземлення. Важливо враховувати, що процедура заземлення під час встановлення, а також умови експлуатації ескімогенератора повинні відповідати вимогам "Правил встановлення електричних установок" та "Правил технічної експлуатації електроустановок промислових підприємств". Під час виключення захисної системи через перегрів електродвигуна, важливо зачекати, поки двигун охолоне, а потім натискати ручку теплового реле для повернення його в початкове положення. Після цього можна здійснити повторний запуск.

В ході експлуатації регулярно слід проводити перевірку стану контактів силового ланцюгу. Під час запланованих технічних оглядів електрообладнання важливо підтягувати кріпильні та контактні гвинти електроапаратів, а також оцінювати стан ізоляції всіх електричних кола, перевіряти опір ізоляції кожної фази в порівнянні з корпусом. Електрообладнання, розташоване на ескімогенераторі, забезпечене захистом від вологи. Проте важливо уникати прямого потрапляння вологи в нього під час експлуатації.

5.2 Особливості монтажу обладнання лінії виготовлення морозива

При монтажі ескімогенератора, перед встановленням трубопроводів для подачі холодного розсолу, важливо звернути увагу на коректне розташування розподільника розсолу відносно головки для глазурування. Вісь виїмки морозива повинна проходити через шостий ряд отворів перфорованої кришки ванни з гарячим розсолом. Якщо ця умова не виконується, необхідно слабити кріплення піддону до станини і повертати його, дотримуючись технічних вимог. Вакуум-

насос слід встановлювати на своїй плиті поруч з осушувачем.

Після встановлення ескімогенератора здійснюється монтаж всіх необхідних трубопроводів, включаючи систему подачі і відведення холодного розсолу, трубопровід для направлення суміші морозива в дозатор із фризера, а також трубопровід для подачі розчину до миючого пристрою, який з'єднує вакуум-насос із осушувачем.

По завершенні монтажних робіт проводять гідравлічні випробування трубопроводів. Виявлені несправності виправляються, і виконується повторна перевірка до повного усунення всіх дефектів.

Трубопроводи, які призначені для подачі та відведення холодного розсолу, повинні мати теплоізоляцію. Електричний монтаж ескімогенератора має відбуватися відповідно до чинних правил для підключення електроенергетичних установок з напругою до 1000 В.

Систему управління МП встановлюють на тому місці, де раніше був встановлений регулятор Ш454I/1.

Напругу живлення МП системи управління підключають відповідно до встановлених норм та правил, які розглядаються в інструкції з експлуатації та ремонту даного пристрою.

Вибране місце для монтажу повинно забезпечувати відмінну видимість передньої панелі пристрою, усіх розташованих на ній кнопок управління, зручність в спостереженні за показниками приладу та легкий доступ до задньої сторони щита. На місці розташування щита не повинно бути небезпечних домішок, які можуть призвести до пошкодження корпусу пристрою.

На цьому об'єкті автоматизації, ескімогенератор Л5-ОЕК, обладнаний чотирма електричними двигунами, кожен з яких відповідає за виконання окремої функції.

Ескімогенератор має продуктивність 500 кг/год., як було вказано вище. Номінальна потужність електродвигунів також зазначена в технічних характеристиках ескімогенератора.

ВИСНОВКИ

Метою даної магістерської роботи було вдосконалення організації виробничого процесу з виготовлення морозива типу «Ескімо». Вирішення поставленої задачі було ускладнене відсутністю даних про динамічні характеристики регульованого об'єкта. Визначення передаточної функції об'єкта дозволило розробити систему стабілізації температури теплоносія в камері ескімогенератора. Технічна реалізація цієї системи дозволить покращити якість регулювання та, відповідно, зменшити відсоток браку на завершальному етапі виробництва, а також покращить умови праці обслуговуючого персоналу.

У ході виконання дослідження проведено загальний огляд виробничого процесу морозива, що включав вивчення обладнання та систем контролю якості продукції на сучасному заводі з переробки молока.

Виконано огляд існуючих рішень та обґрунтування вибору прийнятого принципу створення системи, надано технічний опис об'єкта. Розглянуті також рекомендації з експлуатації ескімогенератора, його основні технічні характеристики та інструкції щодо підготовки до роботи.

Крім того, що було проведено огляд ескімогенератора, також було досліджено інше стандартне обладнання, описана робота схеми регулювання температури зовнішнього шару морозива. Було вирішено побудувати цю систему на основі мікроконтролера з родини Atmega. Були розроблені функціональна та структурна схеми системи. Аналіз експериментальних даних дозволив визначити передаточну функцію об'єкта регулювання. Були визначені передаточні функції для відкритої та закритої систем, а також характеристичне рівняння для закритої системи. Були побудовані амплітудно-фазові характеристики (АФЧХ), логарифмічно-амплітудні характеристики (ЛАЧХ) та логарифмічно-фазові характеристики (ЛФЧХ) для відкритої системи. Це дозволило визначити стійкість закритої системи і запаси стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова. Також була

побудована область стійкості за допомогою методу D-розбиття в площині одного параметра. За допомогою ЛАЧХ та ЛФЧХ відкритої системи була оцінена якість регулювання закритої системи автоматичного регулювання (САР).

Створено перехідний процес для закритої системи та визначено основні критерії якості автоматичного регулювання (САР). Час реакції системи визначено як важливий параметр для синтезу САР. Побудовано бажану амплітудно-фазову характеристику (ЛАЧХ) для оптимальної відкритої системи з урахуванням встановлених вимог. Здійснено синтез коригуючого пристрою для САР на основі логарифмічних частотних характеристик. Створено графік перехідного процесу для синтезованої САР та визначено основні параметри якості, які відповідають вимогам.

Під час виконання завдання було надано опис організаційних заходів, пов'язаних із встановленням та експлуатацією установки.

У розділі, присвяченому охороні праці, була розглянута законодавча база та нормативні документи, пов'язані з охороною праці, в Україні. Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на персонал, і визначено заходи, спрямовані на зменшення чи усунення впливу цих факторів. У розрахунковій частині цього розділу здійснено розрахунок штучного освітлення, використовуючи метод коефіцієнта використання світлового потоку.

Розрахунки економічних показників підтвердили, що розроблена система, представлена у даній магістерській роботі, є економічно ефективною як для виробника, так і для споживача. Важливо відзначити, що ціна на нову систему лише незначно перевищує вартість базової, що також є вигідним для споживача.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

БЖ – блок живлення;

ЕМ – електромагніт;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

БП – блок підсилювачів;

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;

ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій;

ЕОМ – електронно обчислювальна машина;

ПП – підсилювач потужності;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

НДДКР – науково-дослідна та дослідно-конструкторська робота;

МК – мікроконтролер;

АЧХ – амплітудна частотна характеристика;

ПК – персональний комп'ютер;

ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;

АЛП – арифметико-логічний пристрій;

ЛФЧХ – логарифмічна фазова частотна характеристика;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

МП – мікропроцесор;

АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика;

ФЧХ – фазова частотна характеристика.

Список літератури

1. Кондратець В.О. Автоматика та автоматизація виробництва сільськогосподарських машин. ч.1. - Київ: “Вища школа”, 1993. – 320 с.
2. Гвоздєв О.В. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва: Навч. посібник/ О.В. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик, Ю.П. Рогач, Л.М. Кюрчева/ За ред. к.т.н. О.В. Гвоздєва. – Суми: Довкілля, 2004. – 420 с.
3. Машкін М.І.Технологія виробництва молока і молочних продуктів: Навч. видання. / М.І. Машкін, Н.М. Париш - К.: Вища освіта, 2006 – 351 с.
4. Гвоздєв О.В. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу: Навч. посібник/ О.В. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик, Ю.П. Рогач, М.М. Сердюк. – К.: Вища освіта. 2006. – 479 с.
5. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навчальний посібник/ В.Г. Трегуб. — К. : Видавництво Ліра-К, 2014. — 344 с.
6. Ельперін І.В. Промислові контролери. Частина 2 [Текст]/ І.В. Ельперін // К.: НУХТ. – 2012. – 106 с.
7. Пупена О.М. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro.]/ О.М. Пупена, І.В. Ельперін //Навч. пос. – К.: Вид-во Ліра-К. – 2013. – 340с.
8. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. —378с.
9. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. — К. : НУХТ, 2014. – 600с.
10. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. - Киев: “Наукова думка”, 1981. – 940 с.
11. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. —378с.
12. Системний аналіз складних систем управління: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К., НУХТ, 2013. – 276 с.

13. Гончаренко Б.М. Цифрові системи керування: навчальний посібник / Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, А.П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2007.–160 с.

14. Ельперін І.В. Промислові контролери [Текст]: навчальний посібник / І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2003. – 320 с.