

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

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри АВП

к.т.н., доцент

_____ Олександр ДІДИК

«___» _____ 2024 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Розробка та дослідження системи автоматичного
керування температурою суміші в змішувачі при
виробництві карамелі»**

Виконав здобувач II курсу групи АК-23М-2
ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

_____ Андрій ШУЛЯР

«___» _____ 2024 р.

Керівник проекту
професор, канд.техн.наук

_____ Віктор КАЛІЧ

«___» _____ 2024 р.

Рецензент

_____ Іван САВЕЛЕНКО

«___» _____ 2024 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“ ” _____ 2024 року

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

Шуляра Андрія Тарасовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка та дослідження системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі

2. Керівник роботи Каліч Віктор Михайлович, канд. техн. наук, професор,

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 02.12.2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Розробити та дослідити систему автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі. 1. Огляд технологічного процесу виробництва карамельної маси; 2. Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання, вибір та аналіз її елементів; 3. Проектування системи автоматичного регулювання; 4. Практична реалізація системи автоматичної регулювання.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд технологічного процесу виробництва карамельної маси	15.10.24	
2.	Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання, вибір та аналіз її елементів	30.10.24	
3.	Проектування системи автоматичного регулювання	15.11.24	
4.	Практична реалізація системи автоматичного регулювання	30.11.24	

Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

Керівник роботи _____ В.М. Каліч «____» _____ 2024 р.

Завдання прийнято до виконання

Здобувач _____ А.Т. Шуляр «____» _____ 2024 р.

Анотація

на випускну кваліфікаційну роботу студента групи АК-23М-2 Шуляра Андрія Тарасовича зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» на тему: «Розробка та дослідження системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі».

Випускну кваліфікаційну роботу присвячено проблемі підвищення якості регулювання температури суміші карамелі в змішувачі при уварюванні карамельної маси. В існуючій автоматизованій системі управління технологічним процесом виробництва карамельної маси використовується пропорційний регулятор, який при значних збуреннях, що можуть діяти в системі, не задовольняє вимогам по якості. В роботі пропонується застосувати оптимальний регулятор, що дасть можливість підвищити точність підтримання температури на заданому рівні.

В роботі розглянуто технологічний процес виробництва карамелі. Проведений аналіз АСУТП виробництва карамельної маси, визначені структура системи та основні її складові. Розроблена структурна схема системи регулювання температури суміші карамелі в змішувачі та обрані її елементи. Проведений синтез оптимального регулятора та за допомогою моделювання проаналізована якість роботи системи. Проведене дослідження впливу зміни параметру об'єкта регулювання на якість роботи системи, яке показало, що середньоквадратичне відхилення температури знаходиться в межах $0,2^{\circ}\text{C}$.

На основі одержаних результатів розроблена принципова схема мікропроцесорної системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі.

Ключові слова: регулювання температури, оптимальний регулятор, карамельна маса, мікропроцесорна система.

Summary

on final qualification work of the student of group AK-23M-2 Andrii Shuliar on a speciality 174 «Automation, computer-integrated technologies and robotics» on the theme: «Development and research of a system for automatic control of the temperature of the mixture in a mixer in the production of caramel».

Master's thesis is devoted to the problem of improving the quality of adjusting the temperature of the mixture of caramel in the mixer when boiling caramel mass. The existing automated process control system for the production of caramel mass uses a proportional controller, which, in the case of significant disturbances that can operate in the system, does not satisfy the quality requirements. The paper proposes the use of an optimal controller that will improve the accuracy of maintaining the temperature at a given level.

The technological process of caramel production is considered in the work. The ASUTP analysis of caramel mass production was carried out, the structure of the system and its main components were determined. A structural diagram of the temperature control system of the caramel mixture in the mixer and its elements are developed. The synthesis of the optimal controller was performed and the quality of the system was analyzed using simulation. A study of the effect of changing the parameter of the control object on the quality of the system was performed, which showed that the standard deviation of the temperature is within 0.2 °C.

On the basis of the obtained results, a schematic diagram of the microprocessor system for automatic control of the temperature of the mixture of caramel in the mixer was developed.

Key words: temperature control, optimal regulator, caramel mass, microprocessor system.

ЗМІСТ

Вступ.....	2
1 Аналіз технології виробництва карамелі	4
1.1 Опис продукції та сировини	4
1.2 Технологічний процес виробництва карамелі	8
2 Оцінка АСУТП процесу виробництва карамельної маси та розробка схеми структури системи контролю температури суміші в змішувачі.....	17
2.1 Аналіз АСУТП процесу виробництва карамелі.....	17
2.2 Оцінка та вибір компонентів системи автоматичного контролю температури карамельної суміші в змішувачі	26
3 Розробка системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі	33
3.1 Обрання методу розробки регулятора.....	33
3.2 Розробка регулятора.....	39
3.3 Моделювання роботи системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі	42
4 Практична реалізація системи автоматичного регулювання	48
4.1 Визначення Z-перетворення функції передачі регулятора	48
4.2 Розробка електричної структурної схеми системи.....	49
4.3 Розробка електричної функціональної схеми системи	51
4.4 Розробка електричної принципової схеми системи	52
Висновки.....	59
Список літератури.....	60
Додаток А	62

Вступ

Актуальність теми. Кондитерські вироби — це харчові продукти, основними складниками яких є цукор або інші солодкі речовини, такі як мед, ксиліт, сорбіт, а також патока й різноманітні добавки, що покращують смакові характеристики, текстуру виробів та їх біологічну цінність. До цієї категорії також входять борошняні вироби з високим вмістом цукру.

Кондитерські вироби є дрібноштучним товаром, що швидко реалізується. Вони зазвичай мають тривалий термін зберігання та добре переносять транспортування. Такі вироби відрізняються привабливим виглядом, приємним смаком і ароматом. Вони є висококалорійними та добре засвоюваними. Кондитерські вироби мають великий попит серед різних верств населення, їх охоче споживають як діти, так і дорослі.

Споживання кондитерських виробів в Україні значно перевищує фізіологічні норми і є вищим, ніж у розвинених країнах. Такі вироби мають низький вміст біологічно активних речовин, майже не містять вітамінів, ферментів та харчових волокон, оскільки вони руйнуються під час термічної обробки.

Виробництво кондитерських виробів включає дві основні стадії: підготовку кондитерських мас та формування з цих мас виробів необхідної форми і розміру.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є покращення якості виробництва карамелі шляхом розробки системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі з застосуванням алгоритмів сучасної теорії управління.

Для досягнення поставленої мети дослідження були сформульовані та вирішені такі задачі:

- провести аналіз об'єкта керування та визначити його динамічні характеристики;
- розробити структурну схему системи автоматичного керування;

- здійснити синтез оптимального регулятора температури суміші в змішувачі;
- виконати аналіз якості роботи системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі.

Об'єкт дослідження — методи та алгоритми підвищення якості керування температурою суміші в змішувачі.

Предмет дослідження — система автоматичного керування температурою суміші в змішувачі.

Методи дослідження — дослідження базується на методах сучасної теорії управління, математичної статистики, теорії випадкових функцій та спектрального аналізу. Для оцінки якості системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі, а також для перевірки ефективності запропонованих методів, застосовувалось імітаційне моделювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що визначені структура та параметри оптимального регулятора дають змогу інженеру-конструктору отримувати готові рішення задач без необхідності виконувати аналогічні розрахунки, що значно спрощує процес проектування та оптимізації системи.

Апробація результатів досліджень. Основні результати дослідження були представлені на Всеукраїнській науково-практичній онлайн-конференції «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві», яка відбулася 13-14 листопада 2024 року.

Публікації. Основні результати дослідження оприлюднені в одній науковій статті.

1. Аналіз технології виробництва карамелі.

1.1 Опис продукції та сировини.

Карамель — це цукровий кондитерський виріб твердого стану, який виготовляється з карамельної маси, з начинкою або без неї.

Карамельну масу готують шляхом уварювання цукру і крохмальної патоки в пропорції 2:1. Під час уварювання кристалічний цукор перетворюється в аморфну масу, яка в увареному вигляді має вигляд в'язкої прозорої рідини. Патока або інвертний цукор запобігає утворенню кристалів цукру. Після охолодження до 70—90 °С карамельна маса стає пластичною, що дає можливість її фарбувати, ароматизувати, додавати кислоти та ретельно вимішувати для рівномірного розподілу добавок, а також для видалення повітряних бульбашок, що можуть призвести до утворення порожнин (раковин) у готових виробах.

Залежно від способу обробки карамельної маси, карамельні вироби можуть мати різні типи оболонки: нетягнуту (або прозору), тягнуту оболонку (непрозору), а також варіанти з жилками або смужками.

При виготовленні карамелі з непрозорою оболонкою карамельну масу багаторазово витягують і складають на тягнучій машині. Цей процес насичує масу повітрям і дозволяє змішувати її з рецептурними добавками. Тягнена карамельна маса має капілярно-пористу структуру, шовковистий зовнішній вигляд, є непрозорою та блискучою.

Готову карамельну масу направляють на етап формування виробів. Для цього її розгортають у тонкий шар-стрічку, з якої виготовляють дрібні вироби певної форми. Іншим способом масу витягують у вигляді трубки, заповнюють начинкою, а потім формують джгут з певним діаметром. Після розрізання джгута отримують карамель у вигляді подушечок, а за допомогою штампування — вироби різних форм.

Відформовані карамельні вироби, залежно від виду, можуть бути направлені або на додаткову обробку поверхні, або на завертання та упаковку.

Карамельна маса містить багато редуційних речовин і є гігроскопічною. Тому при зберіганні карамель може поглинати вологу з повітря, що призводить до її злипання в грудки. Через цю гігроскопічність відформовані вироби піддаються додатковій захисній обробці поверхні для запобігання негативним ефектам від вологи.

Залежно від сорту, карамель може мати різні види обробки поверхні: обсипання цукровим піском або сумішшю цукрової пудри й какао-порошку; глянцювання воскожировою сумішшю та тальком; глазурування, тобто покриття карамелі шоколадною або жировою глазур'ю; а також дражирування, коли поверхню обробляють цукровим сиропом, додають глянець і для досягнення блиску використовують тальк.

Залежно від рецептури та способу виробництва, карамель може бути виготовлена у вигляді льодяникової, з однією або двома начинками, або з начинкою, перешарованою карамельною масою (в складку).

Льодяникову карамель випускають у вигляді батончиків, подушечок, соломки, різних фігурок або дрібних виробів, які можуть бути упаковані або без упаковки. Така карамель складається виключно з карамельної маси.

Карамель із начинками має велику різноманітність. Начинки готують здебільшого двома способами: уварюванням сировини (для фруктово-ягідних, помадних, лікерних, молочних, медяних, желейних начинок) або розтиранням і перемішуванням сировини (для марципанових, горіхових, масляно-цукрових, прохолодних, збивних, кремово-збивних, шоколадно-горіхових начинок, а також начинок зі злакових і бобових культур).

Помадна начинка являє собою дрібнокристалічну цукрову масу, що отримується шляхом збивання увареного цукропаточного сиропу з різними добавками.

Для лікерної, медяної, молочної та желейної начинок уварюють цукропаточний сироп із додаванням відповідних інгредієнтів: алкогольних напоїв, меду або фруктово-ягідного пюре.

Марципанову начинку готують з розтертих необсмажених горіхів або олійного насіння, змішаних із цукром або гарячим сиропом. Для горіхової начинки використовують розтерті обсмажені ядра горіхів або олійного насіння. Прохолодна начинка складається з цукрової пудри, розтертої з какао-маслом, і для аромату до неї можуть додаватися ментолове, м'ятне або лимонне масло.

Збивною начинкою є маса, отримана шляхом збивання цукропаточного сиропу з яєчним білком, а при додаванні вершкового масла або фруктово-ягідної сировини виходить кремово-збивна начинка. Фруктово-ягідна начинка складається з увареної плодово-ягідної м'якоті, змішаної з цукром та патокою. Шоколадно-горіхова начинка — це маса, що утворюється при розтиранні горіхів, какао-продуктів, цукру та какао-масла. Начинку зі злакових, бобових та олійних культур готують шляхом розтирання відповідного борошна або крупки з цукром, патокою, жиром та какао-порошком.

Різновидом карамелі є так звана м'яка карамель. Для її готування використовують начинку підвищеної вологості (32—35%). При зберіганні волога з начинки проникає в карамельну масу й надає оболонці м'яку консистенцію.

При експертизі карамельних виробів оцінюють стан упаковки та завертки, форму, колір і кількість виробів у 1 кг, стан поверхні, консистенцію начинки, а також смак і аромат.

Смак і аромат карамельних виробів повинні бути характерними для кожного виду і приємними, відповідними цьому найменуванню. Дефектами смаку та аромату є наявність сторонніх чи неприємних присмаків і запахів, прогірклий або салистий присмак у начинках, що містять жири (наприклад, горіхових, молочних, прохолодних), а також підгорілий присмак у фруктово-ягідних начинках.

Форма карамелі повинна бути правильною, відповідною сорту, без деформацій. Поверхня має бути сухою, не липкою, без тріщин і борозенок, гладкою або з чітким малюнком. Для глянцевої карамелі характерна блискуча поверхня, без жирового чи цукрового посивіння.

Вологість карамельної маси не повинна перевищувати 3-4%. Масова частка речовин, що редукують, у карамельній масі становить не більше 22-23% (залежно від кількості введеної кислоти). Підвищений вміст редуційних речовин знижує стійкість карамелі під час зберігання, оскільки вони є гігроскопічними, і в результаті карамель легко поглинає вологу, стає липкою та втрачає свої властивості.

Вміст кислоти має значний вплив на смакові якості карамелі, особливо льодяникової, фруктово-ягідної та з масляно-цукровою начинкою. Кислотність, залежно від рецептури, повинна становити не менше 3 градусів, а для деяких сортів — не менше 26 градусів.

При експертизі якості карамельних виробів визначають вміст начинки (14-33%, залежно від розміру карамелі) та глазури, а також кількість цукру, що відділився від оболонки або іншого оздоблювального матеріалу.

Норми вологості начинок варіюються в залежності від їхньої рецептури та способу приготування. Начинки, що отримуються шляхом уварювання, такі як фруктово-ягідні, медяні, молочні та лікерні, мають більш високу вологість. Вологість фруктово-ягідних начинок зазвичай становить 19,5%. Найнижчою вологістю відрізняється масляно-цукрова начинка — всього 0,5%. Підвищення вологості начинки є неприпустимим, оскільки це знижує стабільність карамелі при зберіганні.

Для карамелі встановлені санітарно-гігієнічні норми, згідно з якими вміст токсичних елементів (мг/кг) не повинен перевищувати 1,0 для свинцю і миш'яку, 0,5 для кадмію, 0,01 для ртуті, 15 для міді та 30 для цинку. Вміст сірчистої кислоти в карамелі з фруктово-ягідними начинками має бути не більше 0,01%, а вміст афлатоксину В1 — не більше 0,005 мг/кг. Вміст радіонуклідів також обмежений: для цезію-137 не більше 140 Бк/кг, для стронцію-90 — не більше 100 Бк/кг. Вміст золи, нерозчинної в 10%-й соляній кислоті, не повинен перевищувати 0,2%. Крім того, вміст пестицидів, умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів, дріжджів, плісень не повинен перевищувати кількості, встановлені санітарними нормами.

При зберіганні карамелі необхідно уникати впливу прямого сонячного світла. Оптимальна температура зберігання становить 18 °С, а вологість — 75%. Якщо не дотримуватися цих умов, карамель може злипатися і утворювати грудки, а начинки можуть набувати неприємного смаку та аромату.

Строки зберігання карамелі при відповідних умовах становлять: від 15 днів для фігурної карамелі до 6 місяців для льодяникової карамелі та карамелі з фруктових-ягідними і крейдовими помадними начинками.

1.2 Технологічний процес виробництва карамелі

Особливості технологічного процесу виробництва карамелі зумовлені тим, що карамельна маса є нестабільною: сахароза прагне до кристалізації. При нагріванні рецептурної суміші відбуваються хімічні зміни сахарози, що призводять до утворення продуктів з високою гігроскопічністю, що погіршують зовнішній вигляд карамелі та зменшують термін її зберігання. Тому на всіх етапах виробництва важливо створити умови для стабільності карамельної маси. Для зменшення температури та скорочення часу видалення вологи суміш уварюють під вакуумом. Смакові добавки з кислотами вводять після охолодження маси. Крім того, для запобігання кристалізації сахарози важливо швидко охолоджувати уварену масу, оскільки зі зниженням температури в'язкість різко збільшується, що значно уповільнює процес кристалізації.

Поверхня готової карамелі повинна бути обов'язково захищена від впливу повітря. Без такої захисної обробки карамель, поглинаючи вологу з навколишнього середовища, швидко зволожується, злипається і втрачає свій привабливий вигляд. Найпоширенішим методом захисту є упаковка карамелі у вологонепроникну етикетку.

Технологічний процес виробництва карамелі поділяється на такі етапи та операції:

— Підготовка сировини до виробництва включає такі етапи: вивантаження з тари та зберігання цукру, патоки, заготовок і напівфабрикатів; просіювання

сухих інгредієнтів та фільтрація рідких компонентів; десульфитація, темперування та розчинення або розплавлення сировини для начинок;

— Готування карамельного сиропу включає дозування цукру, патоки (інвертного сиропу) та води, розчинення цукру, змішування з патокою та уварювання отриманої рецептурної суміші;

— Приготування карамельної маси здійснюється шляхом уварювання карамельного сиропу під вакуумом;

— Обробка карамельної маси включає охолодження, дозування кислоти, есенції та барвника, змішування маси з добавками, а також вирівнювання температури по всьому об'єму маси за допомогою проминки або витягування, при цьому маса насичується повітряними пухирцями;

— Готування начинок включає дозування, змішування та уварювання інгредієнтів за рецептом, додавання смакових добавок, а також змішування та темперування увареної суміші;

— Формування карамелі включає дозування карамельної маси, обкатування карамельного батона, дозування начинки, калібрування карамельного джгута з начинкою та формування виробів необхідної форми за допомогою штампування або різання;

— Охолодження відформованої карамелі включає попереднє охолодження на вузькому конвеєрі та остаточне охолодження в спеціальному охолоджувальному агрегаті;

— Завертка карамелі включає фасування загорненої карамелі в пакети та подальше упакування пакетів (або загорненої карамелі) в картонні коробки.

Початкові етапи виробництва карамелі з рідкими начинками здійснюються за допомогою комплексів обладнання для приготування карамельного сиропу та начинок. До складу цих комплексів входять ємності для зберігання інгредієнтів, пристрої для дозування рецептурних компонентів, змішувачі та варильні апарати.

Основний комплекс обладнання лінії призначений для приготування карамельної маси, формування та охолодження карамелі. Він включає дозатори

для карамельного сиропу, смакових добавок і барвників, вакуум-апарат, машини для охолодження і витягування маси, машину для темперування, дозатор для начинки, карамелеобкаточну, джгутовитягуючу та формуючу машини, а також вузький охолоджувальний конвеєр і спеціальний охолоджувальний агрегат.

Завершальні операції виробництва карамелі здійснюються за допомогою комплексу обладнання, що включає загорткові, фасувальні та пакувальні машини, а також систему конвеєрів, які з'єднують ці етапи.

На рисунку 1.1 зображена машинно-апаратурна схема лінії для виробництва карамелі з рідкими начинками.

Устрій і принцип дії лінії включають сироповарочну установку, яка призначена для приготування карамельного сиропу. Вона складається з блоку рецептурних збірників, двох сироповарочних агрегатів та щитів керування. Блок рецептурних збірників включає збірники для патоки, інвертного сиропу та води, а також два плунжерні насоси.

Сироповарочний агрегат включає збірник 3 з дозатором цукру, змішувач 4, плунжерний насос 5, змієвикову варильну колонку 6 з розширником 7, паровідокремлювач 8, вентилятор 11, збірник готового сиропу 9 із сітчастим фільтром та шестеренний насос 10.

Принцип дії сироповарочної установки базується на розчиненні цукру в патоці під тиском із додаванням води, що забезпечує скорочення виробничого циклу та зменшує час температурного впливу на сахарозу. Це дозволяє отримати карамельний сироп вищої якості та покращити стійкість готової карамелі.

Установка працює наступним чином. Насоси-дозатори 1 подають рідкі компоненти — патоку (або інвертний сироп) та воду — з рецептурних збірників 2 в прийомну лійку змішувача-розчинника 4. Одночасно цукор-пісок з бункера 3 подається в ту ж лійку дозатором.

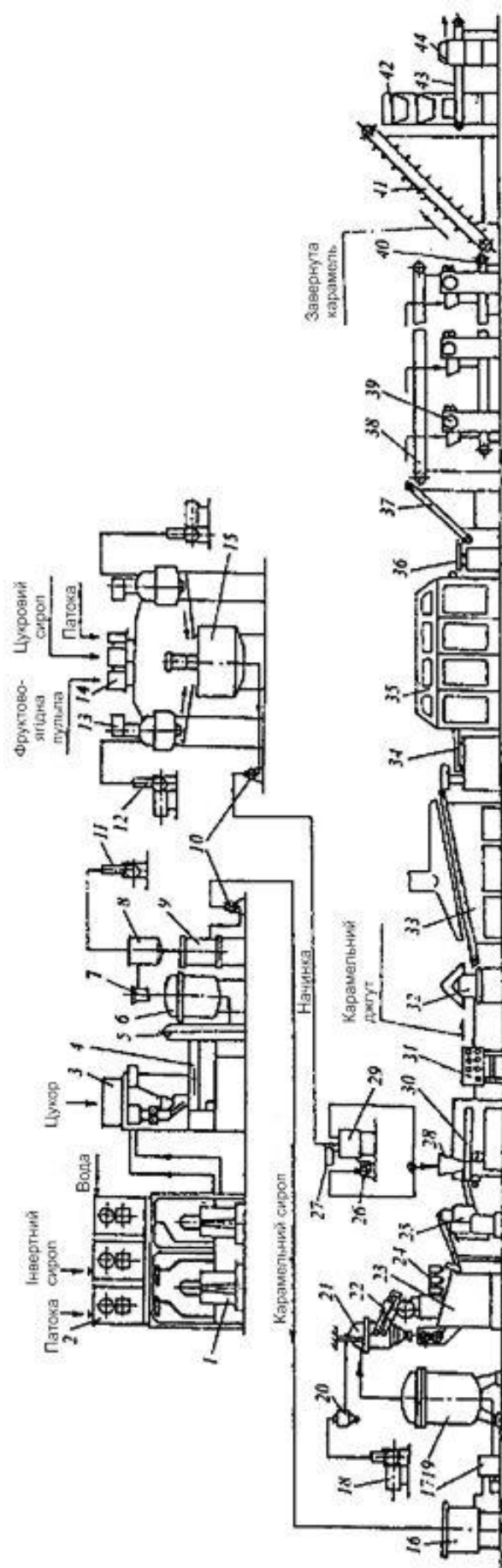


Рисунок 1.1 – Машинно-апаратурна схема лінії виробництва карамелі

Температура патоки і води, що подаються в змішувач, становить 65...70 °С, а температура інвертного сиропу не повинна перевищувати 40...50 °С. У змішувачі 4 рецептурна суміш обробляється протягом 3,0...3,5 хвилин і нагрівається до 65...70 °С. Ця суміш має вологість 17...18 % і являє собою кашку з не до кінця розчиненими кристалами цукру.

Плунжерним насосом 5 кашкоподібна суміш подається в змійовик варильної колонки 6. На виході з колонки змійовик з'єднано з розширником 7, у якому встановлений диск з отвором діаметром 10...15 мм. Цей диск створює опір потоку суміші, що рухається, і забезпечує надлишковий тиск у змійовику 0,17...0,20 МПа. Завдяки цьому тиску суміш нагрівається до вищої температури, ніж за звичайних умов, без підвищення концентрації розчину. При надлишковому тиску пари, що обігріває, в варильній колонці, в межах 0,45...0,55 МПа, температура сиропу на виході зі змійовика досягає 120...125 °С. Це підвищення температури сприяє більш швидкому розчиненню кристалів цукру в трохи меншій кількості води, ніж зазвичай при інших методах уварювання.

Вторинна пара, що утворюється в сиропі, видаляється через паровідокремлювач 8. Звідти разом з повітрям вона виводиться на зовні за допомогою вентилятора 11. Готовий сироп збирається в нижній конічній частині паровідокремлювача 8 і направляється до збірника сиропу 9, який оснащений фільтром з осередками діаметром 1 мм. Коли необхідно, готовий карамельний сироп перекачують до місць подальшого використання шестеренним насосом 10.

Лінія включає установку для приготування рідких начинок, що складається з блоку рецептурних збірників з дозуючими пристроями, двох вакуум-апаратів для начинки, збірника начинки та щитів керування. Блок рецептурних збірників 14 містить ємності для зберігання таких компонентів, як цукровий сироп, патока, фруктовো-ягідна пульпа, молочні продукти тощо, а також дозатори для цих інгредієнтів.

Вакуум-апарати для начинки 13 оснащені паровою сорочкою, механічною мішалкою та спускним штуцером з затвором. Робочий об'єм апарата через

трубопровід на верхній кришці з'єднаний з вакуум-насосом 12, який має конденсатор змішання для забезпечення ефективного процесу вакуумування.

Прийомний збірник начинки 15 оснащений водяною сорочкою, механічною мішалкою та спускним штуцером, який через трубопровід з'єднаний з шестеренним насосом 10 для подачі начинки до подальших етапів процесу.

Під час роботи установки компоненти дозуються та завантажуються в начиняльний вакуум-апарат відповідно до рецептури. Після герметизації варильного об'єму включають вакуум-насос і подають пару для нагріву. Під час уварювання начинки підтримується надлишковий тиск пари в межах 0,4–0,6 МПа, а залишковий тиск (розрідження) у варильному об'ємі становить 65–75 кПа. Процес уварювання триває 30–45 хвилин, поки вологість суміші не знизиться до 16–19%.

Готова начинка через напрямні жолоби потрапляє в прийомний збірник 15, де охолоджується до температури 80–85 °С. Потім вона перекачується насосом 10 в машину, що темперує, 29. До начинки через дозуючі пристрої 27 подаються кислота й ароматична есенція, які ретельно перемішуються з сумішшю. Готову начинку перекачують насосом 26 у начинконаповнювач 28 для подальшого використання.

Наявність двох варильних апаратів в установці забезпечує безперебійне приготування начинки: поки в одному апараті уварюється начинка, в іншому виконують допоміжні операції, і навпаки.

Процес уварювання карамельного сиропу для отримання карамельної маси відбувається у змієвиковому вакуум-апараті безперервної дії. Апарат включає нагрівальну секцію — змієвикову варильну колонку 19, випарну секцію — вакуум-камеру 21 з розвантажувальним механізмом 22, а також сепаратор-уловлювач 20, який через конденсатор змішування під'єднано до насоса 18.

Під час роботи вакуум-апарата карамельний сироп із витратного сиропного бака 16 безперервно подається плунжерним насосом-дозатором 17 у змієвик колонки 19 під надлишковим тиском 0,08–0,15 МПа. Одночасно в корпус колонки подається гріюча пара під тиском 0,4–0,6 МПа. Проходячи через

змійовик, сироп нагрівається, закипає та, змішуючись із виділеною з нього парою, потрапляє у вакуум-камеру 21.

Залишковий тиск (розрідження) у вакуум-камері підтримується в межах 85–95 кПа, що забезпечує продовження уварювання маси завдяки інтенсивному самовипаровуванню вологи в умовах розрідженого простору. Вторинна пара, яка виділяється з сиропу під час уварювання, разом із повітрям проходить через сепаратор-уловлювач 20, де затримуються частинки карамельної маси. Далі вторинна пара охолоджується, конденсується й разом із повітрям видаляється вакуум-насосом 18. Уварений карамельний сироп накопичується у вакуум-камері 21 і порціями по 15–20 кг кожні 1,5–2,0 хвилини вивантажується за допомогою розвантажувального пристрою 22.

Процес уварювання сиропу в змієвиковому вакуум-апараті займає від 1,5 до 2 хвилин. Після цього готова карамельна маса, з залишковою вологістю 2,0–3,5 % і температурою 110–130 °С, спрямовується до приймальної лійки охолоджувальної машини 23.

З прийомної лійки карамельна маса виходить безперервною стрічкою, проходячи між двома обертовими порожніми барабанами, охолоджуваними зсередини водою. Переміщаючись по нижньому барабану, маса потрапляє на похилу плиту, також охолоджувану водою. Стрічка завтовшки 3–6 мм і шириною 0,4–0,6 м швидко охолоджується на контакті з охолоджуваними поверхнями, утворюючи тверду кірку, що запобігає прилипанню маси до обладнання. Однак через низьку теплопровідність у середині стрічки температура знижується повільніше, і продукт залишається в рідкому стані.

Після попереднього охолодження під час руху по похилій плиті на поверхню карамельної стрічки з дозаторів 24 додаються барвник, кислота та есенція. У нижній частині плити стрічка проходить між загортальними пристроями, які згортають її у форму труби так, щоб добавки опинилися всередині. Потім стрічка прокочується валками, перетворюючись на багатошаровий шар. На охолоджувальній машині 23 карамельна маса протягом 20–25 секунд охолоджується до середньої температури 80–90 °С.

Далі стрічка карамельної маси транспортується конвеєром до робочих органів тягнучої машини 25, де пасма карамельної маси розтягуються та складаються. Протягом 1–1,5 хвилин такої обробки маса змішується з добавками, її температура вирівнюється по всьому об'єму, а також маса насичується повітряними пухирцями, що надає їй шовковистого блиску та позбавляє прозорості.

Карамельні вироби формуються за допомогою комплексу обладнання, що складається з трьох синхронно працюючих машин: карамелеобкаточної 30 з начинконаповнювачем 28, джгутовитягуючої 31 та карамелештампуючої 32.

Усередині корпусу карамелеобкаточної машини 30 розміщено шість обертових рифлених веретен, які формують конусоподібний жолоб. Через конвеєр на цей жолоб завантажується тягнена карамельна маса температурою 70–80 °С. Маса обертається навколо трубки начинконаповнювача 28, і поступово, в міру накопичення порції (батона) до 50 кг, обкатується веретенами, набуваючи форми конуса. Батон безперервно обертається навколо поздовжньої осі, яка співпадає з віссю трубки начинконаповнювача. На виході з машини вершина карамельного батона перетворюється в нескінчений джгут. При нагнітанні начинки в трубку центральна порожнина джгута заповнюється начинкою. Кількість начинки дозується в залежності від виду карамелі і становить від 23 до 33 % від загальної маси виробу.

З обкатної машини карамельний джгут безперервно передається до джгутовитягуючої машини 31. Джгут проходить через три пари калібрувальних роликів, в результаті чого його діаметр зменшується з 45–50 мм до 14–16 мм. Остаточний діаметр джгута залежить від виду виробленої карамелі.

Відкалібрований карамельний джгут безперервно надходить до карамелештампуючої машини 32, яка формує та розділяє його на окремі вироби відповідної довжини і форми з малюнком на поверхні. Зазвичай виробляють карамель довжиною 30 або 38 мм овальної або подовжено-овальної форми.

Відформована карамель температурою 60–70 °С безперервно передається на вузький стрічковий охолоджувальний конвеєр 33, з тонкими перемичками між

виробами. Протягом 12–15 секунд вона обдувається повітрям температурою 8–12 °С. За цей час на поверхні виробів утворюється тверда скоринка охолодженої маси, що запобігає деформації карамелі під час подальшого остаточного охолодження в охолоджувальному агрегаті.

Цей агрегат складається із завантажувального вібрототка 34, відводячого вібрототка 36 та охолоджувальної шафи 35. В охолоджувальній шафі розташовано сітчастий конвеєр і автономну систему охолодження та циркуляції повітря. Шафа 35 виготовлена у вигляді герметичної камери, де підтримується температура охолоджувального повітря 0–3 °С та відносна вологість не більше 60%.

Карамельний ланцюжок, що надходить із конвеєра 33, розкладається вібрототком 34 у вигляді петель по ширині сітчастого конвеєра, розташованого в шафі 35. Карамель рухається під розподільним повітреводом, через щілини якого подається охолоджувальне повітря. Протягом 1,5 хвилини температура карамелі знижується до 35–40 °С, а перемички між виробами стають твердими та тендітними. На виході з шафи 35 охолоджена карамель зсипається на відводячий вібрототок 36, де перемички між виробами остаточно руйнуються, а карамельна крихта відділяється від виробів. Карамель із вібрототка 36 подається проміжним конвеєром 37 на розподільний конвеєр 38, який забезпечує подачу виробів у живильники загорткових машин 39.

Карамель, що подається на завертку, повинна відповідати заданим розмірам і формі, бути без деформацій, відкритих швів і налиплих крихт. Її поверхня повинна бути сухою, не липкою. Карамель має бути рівномірно охолоджена та мати таку міцність, яка виключає її руйнування під час завертки. На машинах 39 карамель загортається поштучно в етикетку. Найбільш продуктивні загорткові машини використовують рулонні етикетки для загортання карамелі.

Загорнена карамель надходить на збірний конвеєр 40, після чого через проміжний конвеєр 41 потрапляє в дозуючий пристрій 42, де пакується в торговельну тару — картонні коробки. Далі коробки передаються конвеєром 43 на машину, що формує бандеролі 44, і потім відвантажуються в експедицію.

2 Оцінка АСУТП процесу виробництва карамельної маси та розробка схеми структури системи контролю температури суміші в змішувачі

Виготовлення цукрових кондитерських виробів, на відміну від борошняних, включає особливі процеси, властиві лише цьому типу виробництва, такі як обжарка та дроблення какао бобів, отримання з них крупки, масла, порошку тощо, а також уварювання сиропу для виготовлення карамельної маси та інші. Для цих процесів широко застосовуються машини й апарати для теплової обробки сировини, напівфабрикатів і виробів (темперуючі, помадозбивальні машини, холодильні камери та інші), а також обладнання для механічної обробки сировини, напівфабрикатів і готової продукції (очищувально-сортувальні, подрібнюючі, джгутовитягуючі машини та ін.).

Аналіз процесів виготовлення цукрових кондитерських виробів показує, що ці виробництва, подібно до виробництва борошняних кондитерських виробів, мають переважно послідовну структуру. Крім того, багато основних завдань автоматичного управління на ключових етапах технологічного процесу збігаються, таких як підготовка компонентів у необхідних пропорціях і кількості, забезпечення заданих технологічних режимів через автоматичне регулювання основних параметрів процесів тощо.

2.1 Аналіз АСУТП процесу виробництва карамелі.

Сучасні системи управління підрозділами харчових підприємств середньої та великої потужності здебільшого складаються з двох ієрархічних рівнів (рис. 2.1).

Перший рівень включає: первинні перетворювачі (датчики), сигналізатори досягнення заданих параметрів, засоби управління виконавчими механізмами та пусковою апаратурою з контролерами. Технічно перспективним є використання інтелектуальних датчиків та ВП у зв'язку з контролерами або ПТК через цифрову польову шину Fieldbus H1.

Для з'єднання контролерів з пристроями різних виробників доцільно застосовувати стандартний протокол HART, який інформує оператора про порушення в мережі польових пристроїв та контролерів. Локальні пульти управління технологічним процесом та обладнанням, як правило, розташовуються безпосередньо на місці об'єкта управління.

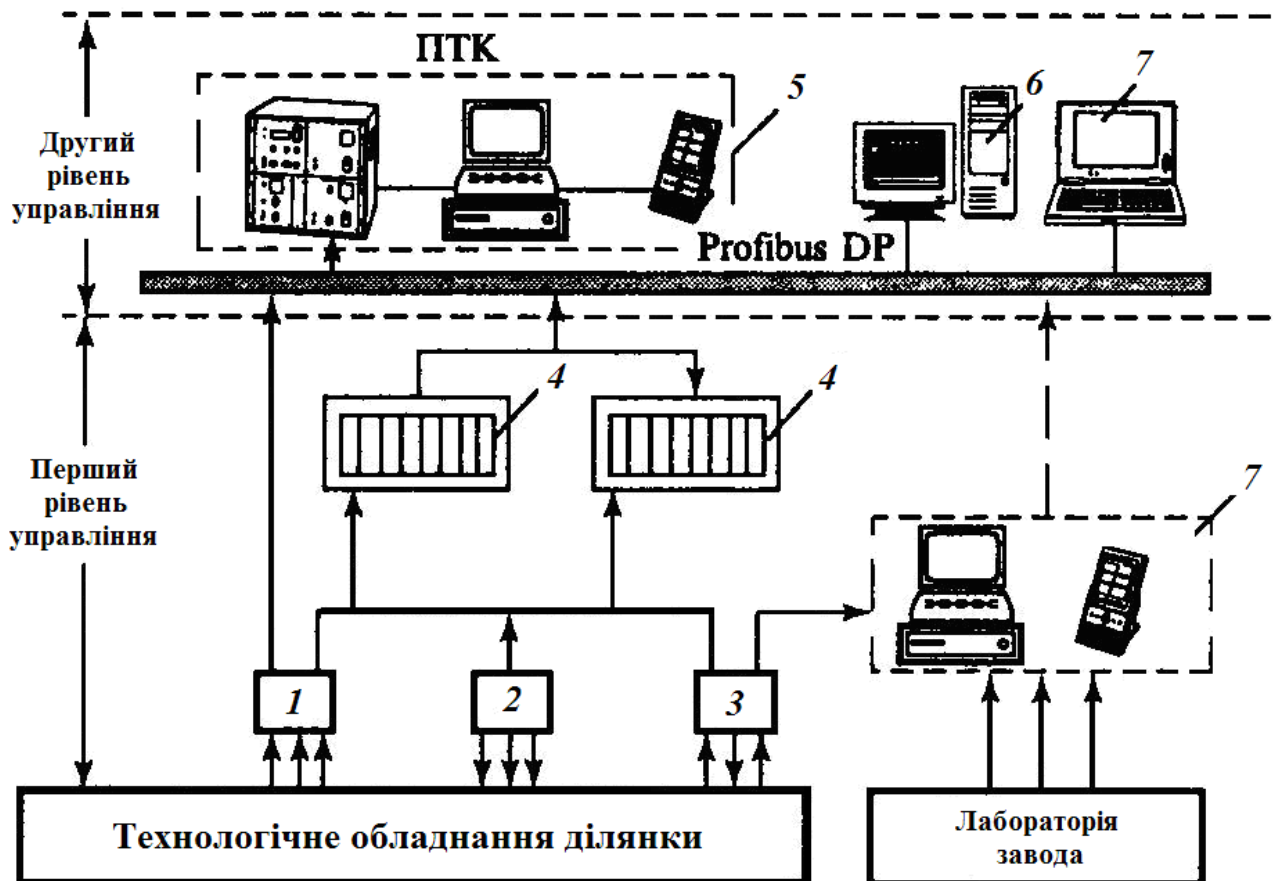


Рисунок 2.1 – Схема структури АСУТП процесу виробництва шоколадних мас:

1 – датчики технологічних параметрів; 2 – електропневматичні виконавчі механізми, пускова електроапаратура; 3 – локальні пристрої керування технологічним процесом; 4 – мікропроцесорні локальні контролери; 5 – програмно-технічний комплекс (ПТК); 6 – сервер бази даних (БД); 7 – автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора (технолога, інженера, хіміка-аналітика тощо)

Вибір апаратури зазвичай здійснюється з урахуванням таких критеріїв:

- відповідність технічних характеристик вимогам технічного завдання;
- наявність необхідної сертифікованої документації;
- вартість технічних засобів.

На першому рівні АСУТП виконує такі функції:

- збір інформації з датчиків про стан об'єкта та технологічного обладнання.

При наявності локальних контролерів також здійснюється:

- первинна обробка інформації (фільтрація, лінеаризація та масштабування) вхідних аналогових сигналів;

- формування керуючих дій для управління виконавчими пристроями системи;

- передача інформації на другий рівень системи автоматизації об'єкта.

Технічні рішення на другому рівні включають використання програмно-технічного комплексу (ПТК), сервера бази даних, а також АРМ оператора-технолога і АРМ хіміка-аналітика для контролю та управління технологічним процесом.

АСУТП другого рівня виконує такі функції:

- приймання та обробку інформації через ПТК, сервер СУБД, базу даних, а також АРМ оператора-технолога та АРМ хіміка-аналітика;

- формування керуючих дій;

- контроль і управління технологічним процесом та виконавчими пристроями;

- передача інформації на вищий рівень управління через мережеві структури (Fieldbus DP).

Для отримання карамельної маси широко застосовується двоступенева технологічна схема, яка включає етапи приготування та уварювання сиропу. У схемі керування процесом уварювання карамельної маси (рис. 2.2) для приготування сиропу використовують цукор-пісок, очищений від феропридатків, який через дозатор I потрапляє в змішувач V. У цей змішувач також подаються патока, інвертний сироп і водопровідна вода з рецептурних збірників II, III та IV відповідно. Патоку попередньо нагрівають до 70 °С. У змішувачі V, оснащеному паровою сорочкою, відбувається перемішування інгредієнтів і часткове

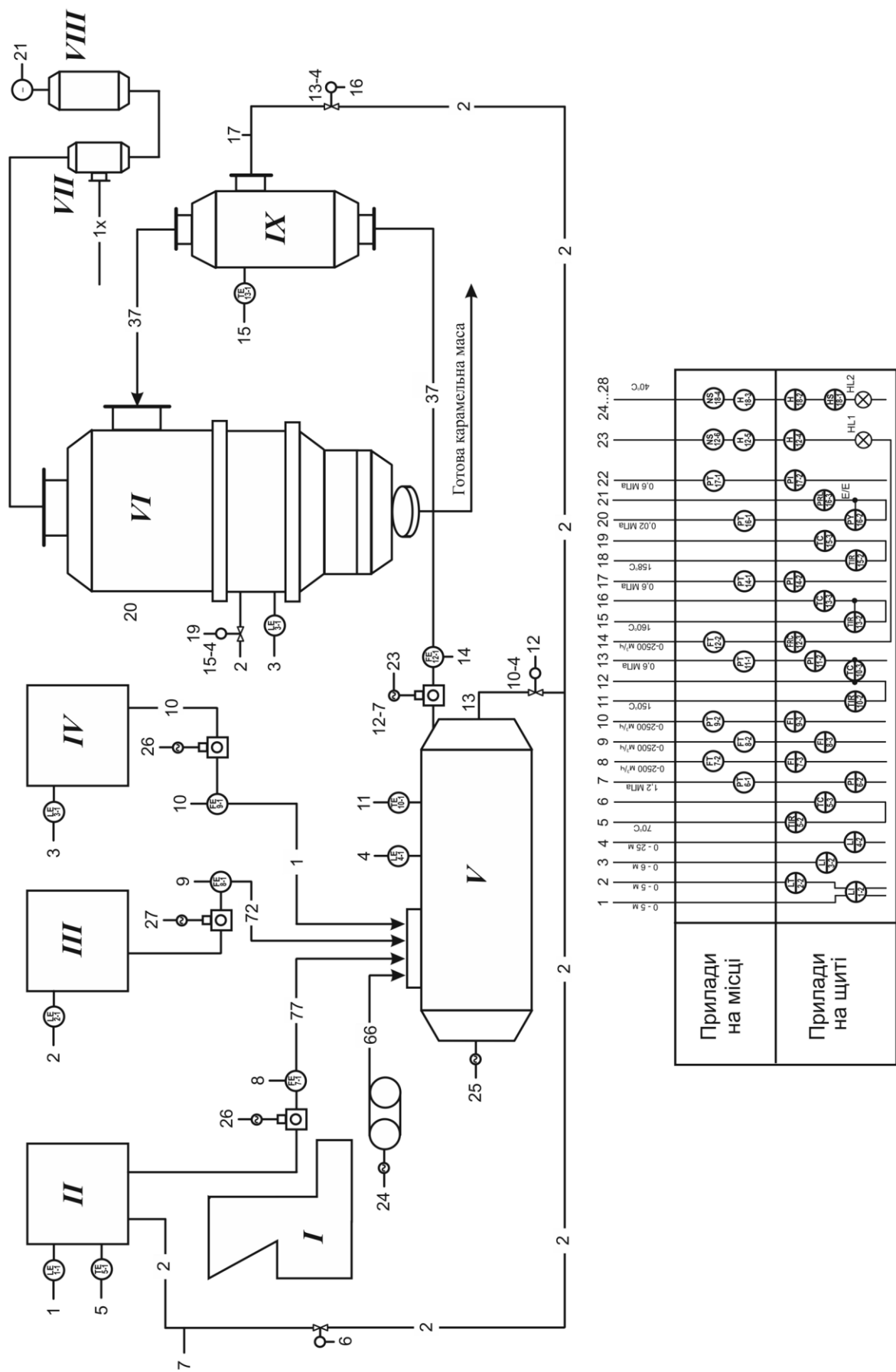


Рисунок 2.2 – АСУТП уварювання карамельної маси

розчинення цукру-піску. Концентрація сухих речовин у сиропі становить 84–88%. Для прискорення розчинення компонентів у змішувач додається пара під постійним тиском. Сироп, що постійно перемішується, нагрівають до 130–150 °С, після чого він надходить на подальше уварювання в змійовик вакуум-апарата IX, звідки готовий напівфабрикат подається у вакуум-камеру VI. Завершується процес приготування карамельної маси видаленням вторинної пари вакуум-насосом через конденсатор змішування VII.

Схема управління (рис. 2.2) виконує такі ключові завдання: забезпечення необхідного складу карамельної маси та приготування цукрового сиропу в кількості, достатній для виробництва карамелі.

Процес уварювання карамельної маси може бути реалізований за допомогою АСУТП, що працює в супервізорному режимі (рис. 2.1).

АСУТП для виробництва карамельної маси є розподіленою системою управління невеликого масштабу, що включає підсистеми збору та відображення даних, автоматичного регулювання, дискретно-логічного управління, а також захисту та блокувань для запобігання аварійним ситуаціям.

Рівні патоки, інвертного сиропу, води та суміші, необхідні для приготування сиропу, контролюються в відповідних збірниках і змішувачі за допомогою ємнісних рівнемірів (1-1) – (4-1). Сигнали з рівнемірів передаються на АЦП (ADAM-5017H), телемонітор і АЦПУ (1-2) – (4-2) для відображення на пультах ПТК і АРМ технолога.

Температура патоки в збірнику II (контур 5) регулюється зміною подачі пари в сорочку. Система автоматичного регулювання температури включає термоопір ТСМ (5-1) і (ADAM-5017H або ADAM-5013), сигнал з якого передається для відображення на телемоніторі та АЦПУ (5-2) на ЕОМ, що працює в режимі ПТК. Далі сигнал надходить на регулюючий канал КР-300 (5-3), і сформований регулюючий вплив передається на ЦАП (ADAM-5024) та клапан (5-4), встановлений на лінії подачі пари в сорочку збірника II. Аналогічно регулюються температури суміші в змішувачі V (контур 10), напівфабрикату в

варочному казані IX (контур 13) і увареної карамельної маси у вакуум-камері VI (контур 15).

Тиск пари, що подається до парових сорочок збірника патоки, змішувача, варочного казана та вакуум-камери, контролюється за допомогою датчиків тиску (6-1, 11-1, 14-1 і 17-1), підключених через перетворювачі, що нормують, до АЦП (ADAM-5Q17H). Сигнали передаються до відповідних пристроїв для відображення та запису значень тиску на телемоніторі та АЦПУ (6-2, 11-2, 14-2 і 17-2), які розташовані на пультах ПТК та АРМ технолога.

Схема керування передбачає контроль за витратами патоки, інвертного сиропу та води, які подаються у змішувач. Для вимірювання витрат використовуються індукційні витратоміри (7-1)-(9-1), сигнали з яких через блоки перетворення і АЦП (ADAM-5017H) (7-2)-(9-2) надходять до відповідних пристроїв для реєстрації, а також до АЦПУ (7-3)-(9-3) пульта ПТК та АРМ технолога. Для автоматичного регулювання витрати карамельного сиропу, приготовленого в змішувачі, використовується індукційний витратомір (12-1), який з'єднаний через блок перетворення сигналів АЦП (ADAM-5017H) (12-2) з регулюючим каналом КР-300 (12-3). Регулювання здійснюється через електропривод (12-7), а значення реєструються на ЦАП (ADAM-5024).

У схемі керування уварюванням карамельної маси передбачено два режими роботи електродвигунів транспортерів і апаратів лінії: дистанційний та місцевий. Для вибору режиму керування на пультах ПТК та АРМ технолога розташовані кнопки і перемикачі.

Схема системи управління виробництвом карамелі, представлена на рис. 2.3, включає етапи: отримання та обробка карамельної маси, приготування начинок (тягнуча машина VI), обробка маси (витягувач X) та її формування (штампувальна машина XI), а також охолодження готових виробів. Система керування передбачає регулювання рівнів продукту в різних збірниках, а також підтримку температури та тиску в основних точках процесу в межах заданих значень.

Регулювання тиску пари, що гріє, у вакуум-апараті III здійснюється системою автоматичного регулювання (САР), яка включає манометр з нормованим електричним виходом (5-1), підключений до АЦП (ADAM-5017). Цей сигнал надходить на регулюючий канал КР-300 (5-2), що управляє виконавчим механізмом (5-3) клапана подачі пари через ЦАП (ADAM-5024). Розрідження в вакуум-апараті регулюється шляхом зміни режиму роботи мікроповітряного насоса IV. Сигнал вакуумметра з нормованим електричним виходом (7-7) через АЦП (ADAM-5017) передається на регулюючий канал КР-300 (7-2), де управлінський сигнал через ЦАП (ADAM-5024) впливає на виконавчий механізм (7-3), що регулює подачу холодної води. Ця САР інтегрована з електроприводом (7-7) вивантаження карамельної маси. Блокування системи здійснюється для того, щоб уникнути різких змін тиску, які виникають при вивантаженні, коли вакуум-апарат підключається до атмосфери.

Рівень у збірнику карамельного сиропу I контролюється за допомогою датчиків (1-1) і (1-2), які мають нормований електричний сигнал на виході. Цей сигнал передається на АЦП (ADAM-5017) і логіко-програмний канал контролера КР-300 (1-3). Контролер формує керуючу напругу, яка через ЦАП (ADAM-5024) впливає на виконавчий механізм (1-7) клапана подачі сиропу.

Подібним чином регулюються рівні в збірнику начинки VII, темперуючій машині VIII та у збірнику перед підкаточною машиною IX (в межах контурів 21, 26, 30).

Температура сиропу та готової карамельної маси, що перекачується насосом II, контролюється термоелектричними перетворювачами типу J і АЦП (ADAM-5017H або ADAM-5018) (13-1) та (14-1), сигнали з яких надходять на пристрої для відображення (телемонітор і АЦПУ) (13-2) пульта ПТК і АРМ технолога. Температури вхідної та вихідної води в охолоджуючій машині V вимірюються термоопорами типу ТСМ і АЦП (ADAM-5017H) або модулем (ADAM-5013) (76-7) та (77-7), що дозволяє через перемикаючий пристрій (16-2) відображати їх на телемоніторі та АЦПУ (16-3) пульта ПТК і АРМ технолога. Температура начинки на вході в підкаточну машину контролюється термоелектричним

перетворювачем типу Т і АЦП (ADAM-5017H) (36-1) або модулем (ADAM-5018), з виходом на пристрій відображення (телемонітор і АЦПУ) (36-2). Стабілізація температури карамельної маси в охолоджуючій машині здійснюється за допомогою вбудованого програмного каналу контролера КР-300 (15).

Температура начинки в темперуючій машині VIII регулюється за допомогою позиційної САР, що включає модуль (ADAM-5013) (24-1), логіко-програмний канал контролера КР-300 (24-2), ЦАП (ADAM-5024) і електромагнітний клапан (24-3), який контролює потік води через сорочку. Аналогічно регулюється температура в охолоджувальній шафі XII, де для охолодження використовується розсіл. Для автоматичного регулювання витрати начинки, яка подається в підкаточну машину, встановлено електромагнітний витратомір (34-1) з нормованим електричним виходом на АЦП (ADAM-5017), що забезпечує відображення на моніторі або АЦПУ (34-2) пульта ПТК. Логіко-програмний канал КР-300 (34-3) формує керуючий сигнал через ЦАП (ADAM-5024), який управляє виконавчим механізмом (34-4), встановленим на трубопроводі. Вологість увареної карамельної маси вимірюється непрямим методом (психометричним) через визначення температури кипіння, що здійснюється за допомогою датчика (модуль ADAM-5013) (10-1), (10-2). Нормований сигнал передається для відображення значення вологості (відсотки відносної вологості) на телемоніторі та АЦПУ (10-3) пульта ПТК і АРМ технолога.

Схема керування потокової лінії карамельного виробництва передбачає можливість автоматичного або ручного запуску електродвигунів, а також ручного запуску електродвигунів машин і апаратів лінії. Для цього на місці та на пульті ПТК встановлені кнопки та ключі для вибору режиму, які також дублюються на АРМ технолога.

2.2 Оцінка та вибір компонентів системи автоматичного контролю температури карамельної суміші в змішувачі

Розглянемо контур управління температурою карамельної суміші в змішувачі V (рис. 2.2). У цій АСУТП для процесу уварювання карамельної маси використовується пропорційний принцип управління, реалізований через логіко-програмний канал КР-300. Цей метод забезпечує стабільність системи регулювання, однак якість управління не є оптимальною. Покращити якість регулювання можна шляхом розробки системи автоматичного контролю з використанням оптимального регулятора.

У цій системі автоматичного регулювання об'єктом є змішувач карамелі, в якому потрібно підтримувати температуру суміші на заданому рівні. Температура регулюється шляхом подачі пари в сорочку змішувача. Ефективність процесу визначається температурою t_{Π}'' продукту в змішувачі, а основною метою регулювання є підтримка цієї температури на необхідному рівні.

Зв'язок між температурою t_{Π}'' та параметрами процесу можна визначити за допомогою рівняння теплового балансу.

$$G_{\Pi}c_{\Pi}(t_{\Pi}'' - t_{\Pi}') = G_Tc_T(t_T' - t_T''), \quad (2.1)$$

де G_{Π} , G_T — витрати відповідно продукту та гарячого теплоносія; c_{Π} , c_T — питома теплоємність продукту та гарячого теплоносія; t_{Π}', t_T' — температури продукту та гарячого теплоносія на вході в теплообмінник; t_{Π}'' — температура гарячого теплоносія на виході з теплообмінника.

Розв'язуючи це рівняння відносно t_{Π}'' , отримуємо:

$$t_{\Pi}'' = (G_Tc_T / G_{\Pi}c_{\Pi})(t_T' - t_T'') + t_{\Pi}' \quad (2.2)$$

Розхід продукту G_{Π} визначається іншими етапами технологічного процесу, а не процесом нагріву, тому його неможливо стабілізувати та

використати для коригування регулюючого впливу. Зміна G_{Π} спричинить значні збурюючі впливи на теплообмінник. Температури t_{Π}' , t_T' та питомі теплоємності c_{Π} , c_T залежать від умов інших технологічних процесів, тому їх неможливо стабілізувати під час нагрівання. До збурювань, які не можна усунути, належать зміни температури навколишнього середовища та зміни властивостей теплопередаючої стінки через відкладення солей або корозію.

Аналіз об'єкта регулювання показав, що більшість збурюючих впливів неможливо усунути. Тому для регулювання необхідно вибрати температуру t_{Π}'' як основний параметр, а регулюючий вплив здійснювати шляхом зміни розходу G_T .

Теплообмінники, як об'єкти регулювання температури, мають значні запізнювання, тому вибір місця для встановлення датчика і закону регулювання потребує особливої уваги.

Як контролювані величини слід використовувати розхід теплоносія, його початкову та кінцеву температури, а також тиск. Інформація про поточні значення цих параметрів є необхідною для нормального пуску, налагодження та експлуатації процесу.

Оскільки процес теплообміну є досить складним і врахувати всі його особливості в математичній моделі важко, зазвичай використовується спрощена модель, яка враховує питомі теплоємності як постійну величину. Об'єкт регулювання в такій моделі представлений аперіодичною ланкою першого порядку

$$W_{OP}(p) = \frac{k_{OP}}{T_{OP} \cdot p + 1}. \quad (2.3)$$

Враховуючи всі збурення, що впливають на об'єкт регулювання та їх різну природу, можна представити узагальнене збурення як «білий» шум. Це стаціонарний випадковий процес з заданим математичним очікуванням та середньоквадратичним відхиленням, що підпорядковується нормальному закону розподілу амплітуд.

Для вимірювання температури суміші в АСУТП використовуються термоперетворювачі опору (ТС). Вони призначені для вимірювання температури різних речовин, таких як тверді, рідкі, газоподібні та сипучі. ТС дозволяють здійснювати вимірювання як у нейтральних, так і в агресивних середовищах. Термоперетворювачі виготовляються з чутливими елементами з платини (ТСП) або міді (ТСМ).

Параметри термоперетворювачів опору наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Умовні позначення номінальної статичної характеристики, діапазону вимірюваних температур та середовища вимірювання

Модифікація ТС	Умовне позначення НСХ	Діапазон вимірюваних температур, °С	Середовище вимірювання
1	2	3	4
ТС-1088, ТС-1088А, ТС1288, ТС-1288А	50П	-50...+500	Рідкі та газоподібні середовища, тверді тіла. Для ТС-1288 додатково сипучі середовища та повітря вантажних вагонів
	Pt100	-50...+600	
	100П	-50...+350	
	50М, 100М	-50...+200	
ТС-1088Э, ТС1288Э	46П, 50П	-50...+500	
	Pt100, Pt500	-50...+600	
	100П	-50...+350	
	50М, 53М, 100М	-50...+200	
1	2	3	4
ТС-1388, ТС-1388А	50П	-50...+500	Вимірювання температури малогабаритних
	100П, Pt100, Pt500	-50...+350	

	50M, 100M	-50...+200	підшипників та поверхні твердих тіл
ТС-0295	50П	-50...+200	Вимірювання температури при гарячій і холодній переробці харчових продуктів
	100П, Pt100		
	50M, 100M		
ТС- 1187Exd	46П, 50П	-50...+350	Вимірювання температури рідких та газоподібних середовищ у вибухонебезпечних зонах
	100П, Pt100		
	50M, 53M, 100M	-50...+200	

ТС є пристроєм, що реагує на температуру, який складається з чутливого елемента з захисною оболонкою, внутрішніх з'єднувальних проводів і зовнішніх виводів для підключення до електричних вимірювальних пристроїв.

У даній АСУТП уварювання карамельної маси для вимірювання температури суміші застосовується термоперетворювач опору ТСМ-0295/1. Давайте детальніше розглянемо його характеристики (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Ключові технічні характеристики ТСМ-0295/1

Параметри	Значення
1	2
НСХ	50П, 100П, 50M, 100M, Pt100
Діапазон вимірювання	-50...+200 °С; -50...+180 °С
Клас допуску	А; В; С
Кількість чутливих елементів	1;2
Схема підключення	1; 2; 3; 4; 5

1	2
Довжина монтажної частини	100, 140, 160, 200 мм
Показник теплової інерції	6 с
Умовний тиск	0,4 Па
Матеріал захисного чохла	Цільна труба 12Х18Н10Т
Кліматичні умови	Група виконання ДЗ: -50...+50 °С
Степінь захисту	IP54
Середній наробіток на відмову	15000 годин
Середній строк служби	6 років
Міжповірочний інтервал	2 роки

Згідно з таблицею 2.2, для підключення датчика застосовуються п'ять варіантів схем (рис. 2.3).

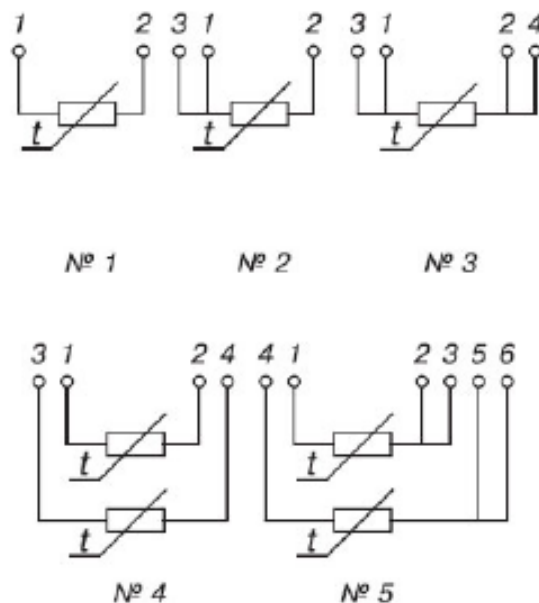


Рисунок 2.3 – Варіанти схем підключення датчика ТСМ-0295/1

На рисунку 2.4 представлений вигляд термоперетворювача опору ТСМ-0295/1.

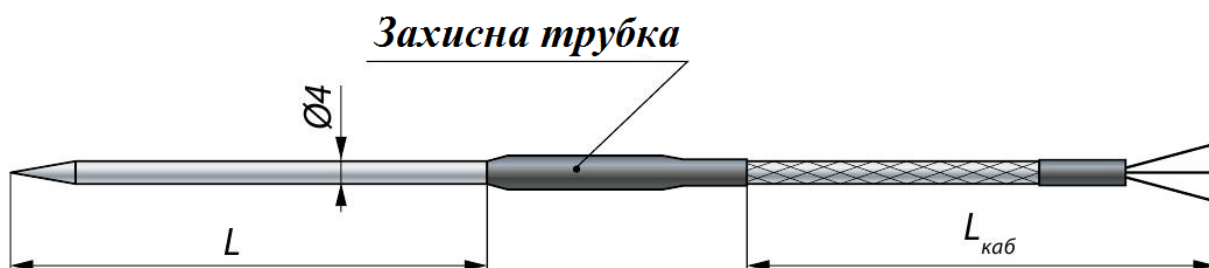


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд термоперетворювача опору ТСМ-0295/1

Передаточна функція датчика температури, що є аперіодичною ланкою першого порядку, має наступний вигляд

$$W_{дт}(p) = \frac{k_{дт}}{T_{дт} \cdot p + 1}. \quad (2.4)$$

Для регулювання подачі пари використовується електромагнітний клапан. Клапан електромагнітний бронзовий 15-Б-859-П (рис. 2.5) призначений для використання як запірний пристрій з дистанційним управлінням на трубопроводах різних систем.

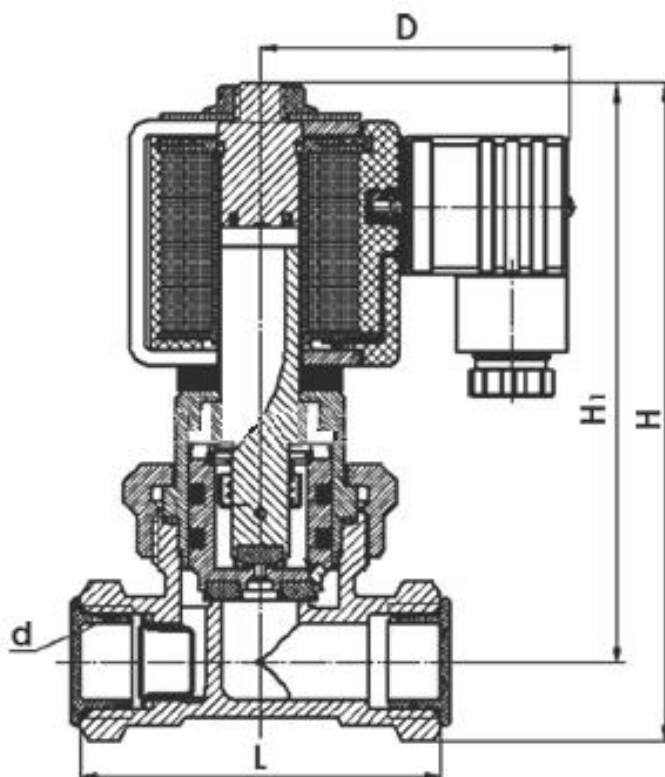


Рисунок 2.5 – Електромагнітний клапан моделі 15-Б-859-П

У системі автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі електромагнітний клапан може працювати в імпульсному режимі. Для цього регулятор повинен генерувати керуючі сигнали у вигляді широтно-імпульсно модульованих сигналів. Відсоток заповнення інтервалу сигналом визначатиме необхідний розхід пари, що подається в обігрівачу сорочку змішувача.

Після аналізу елементів системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі можна побудувати структурну схему цієї системи (рис. 2.6).

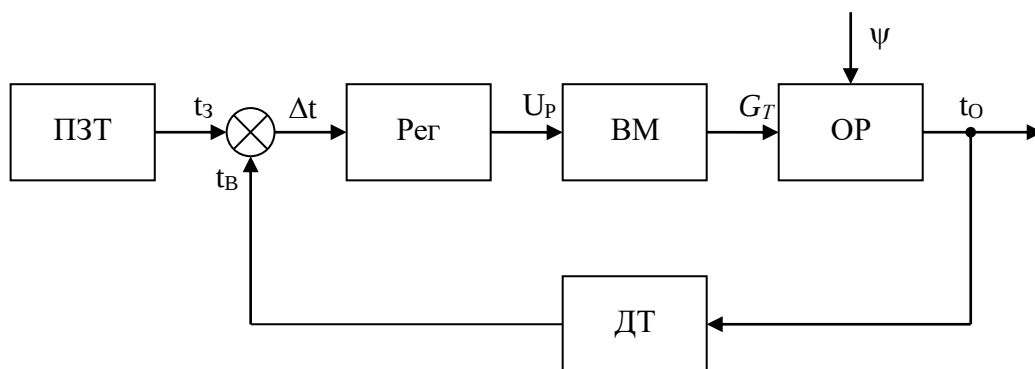


Рисунок 2.6 – Схема структури системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі

В даній схемі об'єктом регулювання (ОР) є змішувач карамелі, де необхідно підтримувати температуру суміші на заданому рівні. Температура об'єкта регулювання t_O вимірюється датчиком (ДТ), сигнал з якого оцифровується t_B і порівнюється з заданою температурою t_3 , що задається програмним задавачем температури (ПЗТ). Різниця між фактичною температурою і заданою значенням Δt передається на регулятор (Рег), який, використовуючи обраний закон регулювання, формує керуючий сигнал U_P для виконавчого механізму (ВМ). Виконавчим механізмом є електромагнітний клапан, що регулює подачу пари G_{II} в обігрівачу сорочку змішувача.

3 Розробка системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі

3.1 Обрання методу розробки регулятора

Наукову основу динамічного проектування становлять методи синтезу оптимальних систем управління, які повинні відповідати ряду вимог:

- максимально враховувати реальні умови експлуатації при забезпеченні найвищої ефективності;
- бути простими та зручними у практичному застосуванні;
- передбачати використання квадратичного критерію якості.

Нині існує безліч підходів і методів для розробки оптимальних регуляторів. Для визначення подальшого алгоритму синтезу, який буде використано для створення системи, необхідно ознайомитися з набором існуючих методів синтезу та провести їх аналіз, щоб вибрати найбільш підходящий для конкретного випадку.

Один з найпоширеніших методів синтезу — це метод амплітудно-фазових характеристик у різних модифікаціях. Хоча цей метод має значні переваги, такі як простота та наочність, він також має кілька важливих недоліків. Зокрема, при виборі параметрів коректуючих контурів не враховуються енергетичні витрати на управління, що може призвести до надмірного завищення потужності виконавчих механізмів. Окрім того, метод амплітудних характеристик не дозволяє визначити, який порядок коректуючого пристрою слід вибрати, а також не дає чіткої відповіді на питання про граничну якість перехідного процесу в замкнутій системі "об'єкт + регулятор" за умови накладених обмежень (наприклад, властивостей об'єкта), тобто на якому етапі доцільно ускладнювати проектувану систему.

Підходи, що використовують методи синтезу замкнених систем, еквівалентних розімкненим, вимагають обов'язкової стійкості як об'єкта, так і системи вимірювань. Однак ефективність практичних рішень, заснованих на цих

методах, зазвичай є досить низькою і часто призводить до труднощів у визначенні структури оптимальної системи.

Підходи, що базуються на теорії інваріантності, в основному орієнтовані на системи детермінованого управління.

Детерміноване оптимальне управління для розімкнених систем, зазвичай, не враховує реальні стохастичні умови практичних задач. У таких задачах управління вирішуються на обмеженому часовому інтервалі.

Варіаційні задачі детермінованого управління з пасивним зворотним зв'язком, зокрема багатоцільові задачі "аналітичного конструювання", застосовують такі основні методи, як динамічне програмування, принцип максимуму тощо. Ці задачі є ефективними для систем, у яких час роботи наближається до часу "пам'яті" системи.

На сьогодні найкращі результати функціонування складних динамічних об'єктів досягаються переважно в оптимальних системах, синтезованих із використанням технологій, заснованих на ідеях калманівського або вінерівського методів оптимальних фільтрів.

Особливістю першого підходу є використання фільтрів Калмана–Б'юсі в прямому та зворотному зв'язках систем, що дозволяє оцінювати стохастичний стан об'єктів керування та застосовувати для цієї мети оптимальне управління замкнутими системами, ґрунтуючись на результатах отриманих оцінок.

У задачах оптимального стохастичного управління ефективність результатів залежить від успішного розв'язування рівнянь Ріккати. Стійкість системи на нескінченному часі забезпечується при умові асимптотичної стійкості як об'єкта, так і спостерігача.

Основною рисою вінеровського підходу до створення оптимальних систем за умов стохастичних впливів є попередній вибір оптимальних структур регуляторів та оцінка ефективності і якості майбутньої системи, а потім її розробка і доопрацювання на практиці. Такий підхід забезпечує конкурентоспроможність системи. Важливою перевагою використання методу Вінера–Колмогорова для синтезу оптимальних систем є те, що цей процес

автоматично гарантує стійкість замкнутої системи. Результати вирішення практичних завдань за допомогою цих алгоритмів синтезу свідчать про їх високу ефективність у разі стохастичних впливів. У системах, синтезованих за зазначеними алгоритмами, можна досягти підвищення точності стабілізації на один-два порядки.

Отже, на основі проведеного аналізу технологічного процесу збору зернових як динамічної системи, з урахуванням взаємозв'язків між технологічними параметрами та енергетичними витратами під час обробки, для досягнення максимальної точності стабілізації необхідно застосовувати метод, викладений у роботі [5]. Його основу становлять результати структурної ідентифікації моделей динаміки досліджуваного об'єкта, отримані за результатами експерименту, проведеного в реальних експлуатаційних умовах.

Отже, завданням синтезу системи автоматичного регулювання температурного режиму автоклава є визначення структури та параметрів оптимального регулятора, який забезпечуватиме підтримку температури відповідно до заданого програмного сигналу.

У термінах роботи [5] задача синтезу системи стабілізації при випадкових впливах полягає у наступному. Задана структурна схема системи (рис. 3.1), на входах якої діють вектори центрованих стаціонарних випадкових процесів ψ_0 , φ_0 . Також припускаємо, що динаміка взаємозв'язку між входом та виходом об'єкта керування є відомою і описується системою звичайних диференціальних рівнянь

$$P_0 x_0 = M_0 u + \psi_0, \quad (3.1)$$

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

u – m -вимірний вектор управлінських сигналів;

P_0 – Поліноміальна матриця розміром $n \times n$, що відповідає оператору диференціювання s . Поліном, визначений детермінантом цієї матриці, має лише стійкі корені.

M_0 – Поліноміальна матриця розміром $n \times m$.

ψ_0 – n -вимірний вектор стаціонарних випадкових збурень з нульовим математичним очікуванням і дробово-раціональною матрицею спектральних

щільностей $S_{\psi_0\psi_0}$. Вектор вихідних координат об'єкта керування вимірюється повністю через систему неідеальних датчиків, динаміка яких описується матрицею передаточних функцій K_0 , а похибки вимірювання характеризуються вектором φ_0 стаціонарних випадкових центрованих процесів з відомою матрицею спектральних щільностей $S_{\varphi_0\varphi_0}$.

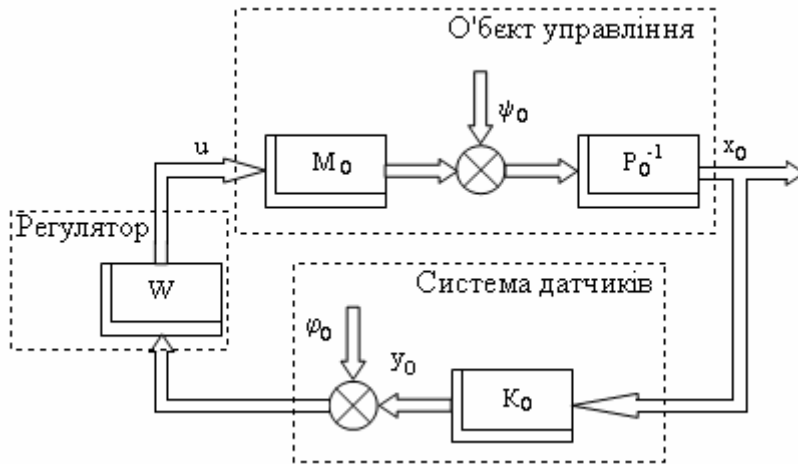


Рисунок 3.1 – Схема структури багатовимірної системи стабілізації.

Потрібно визначити структуру та параметри матриці передаточних функцій регулятора W таким чином, щоб замкнена система „об'єкт-регулятор” була стійкою і забезпечувала мінімізацію заданого функціоналу якості.

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(S'_{x_0x_0} R + S'_{uu} C) ds, \quad (3.2)$$

де j — уявна одиниця.,

tr — символ операції обчислення сліду матриці;

$S_{x_0x_0}$ — матриця спектральних щільностей змін вихідних координат системи розміру $n \times n$;

“ / ” — символ операції транспонування матриці;

R — додатно визначена поліноміальна матриця ваг розміру $n \times n$;

S_{uu} матриця спектральних щільностей варіацій вектора сигналів управління системи розміру $m \times m$;

C — невід'ємно визначена поліноміальна матриця ваг розміру $m \times m$;

$s=j\omega$ — комплексний аргумент.

У роботі [5] доведено, що для стійкого об'єкта керування матриця передаточних функцій оптимального регулятора W , яка задовольняє умови задачі синтезу, визначається як добуток двох матриць передаточних функцій

$$W = F_u^\psi (F_x^\psi)^{-1}, \quad (3.3)$$

де

F_u^ψ — Фізично здійснювана матриця передаточних функцій замкненої системи „об'єкт-регулятор”, що описує перехід від вектора збурень ψ_0 до вектора сигналів управління u , який мінімізує критерій якості (3.2).;

F_x^ψ - Матриця передаточних функцій замкненої системи „об'єкт-регулятор”, що описує перехід від вектора збурень ψ_0 до вектора вихідних координат x , отримана з рівняння зв'язку, вперше обґрунтованого в роботі [5].

$$F_x^\psi = P^{-1}(MF_u^\psi + E_n), \quad (3.4)$$

де

P — Поліноміальна матриця розміру $n \times n$, що описує динаміку розширеного об'єкта керування з урахуванням системи датчиків.

$$P = K_{10} P_0 K_0^{-1}; \quad (3.5)$$

M — Поліноміальна матриця розміру $n \times m$, що описує чутливість розширеного об'єкта до змін сигналів управління.

$$M = K_{10} M_0; \quad (3.6)$$

K_{10} — Результат видалення полюсів ліворуч або розкладу MFD ліворуч для добутку матриць $P_0 K_0^{-1}$;

„-1” у верхньому індексі позначає операцію обертання матриці.

Фізично здійснювана та стійка матриця передаточних функцій F_u^ψ згідно з базовим методом синтезу [5] дорівнює

$$F_u^\psi = -\Gamma^{-1}(N_0 + N_+)D^{-1}, \quad (3.7)$$

де

Γ – Дробово-раціональна та стійка матриця розміру $m \times m$ разом з оберненою, отримана в результаті вінеровської факторизації праворуч від наступної суми матриць

$$\Gamma = \left[M_* P_*^{-1} K_{0*}^{-1} \begin{pmatrix} E_n \\ O_n \end{pmatrix} R(E_n \quad O_n) K_0^{-1} P^{-1} M + C \right]^+, \quad (3.8)$$

У якому верхньому індексі „+” позначає операцію факторизації праворуч, E_n — одинична матриця розміру $n \times n$, O_n — нульова матриця розміру $n \times n$, а індекс „*” позначає операцію ермітового спряження матриці.

D - Дробово-раціональна та стійка матриця розміру $n \times n$ разом з оберненою, отримана в результаті вінеровської факторизації ліворуч від наступного добутку матриць.

$$D = \left[(E_n \quad P) S_{\xi\xi}^{\prime} \begin{pmatrix} E_n \\ P_* \end{pmatrix} \right]^+, \quad (3.9)$$

У якому верхньому індексі „+” позначає операцію факторизації ліворуч, а $S_{\xi\xi}^{\prime}$ — транспонована матриця спектральних щільностей вектора ξ , утвореного векторами ψ_0 та φ_0 (рис. 3.1), таким чином, що

$$\xi = \begin{bmatrix} \psi_0' K_{10}' & \varphi_0' \end{bmatrix}; \quad (3.10)$$

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

$$N = \Gamma_*^{-1} M_* P_*^{-1} K_{0*}^{-1} \begin{pmatrix} E_n \\ O_n \end{pmatrix} R(E_n \quad O_n) K_0^{-1} [P^{-1}(E_n \quad P) - (O_n \quad E_n)] S_{\xi\xi}^{\prime} \begin{pmatrix} E_n \\ P_* \end{pmatrix} D_*^{-1}. \quad (3.11)$$

Отже, згідно з розглянутим алгоритмом (3.3)-(3.11) для визначення структури та параметрів оптимального регулятора необхідно здійснити наступні кроки:

- вибрати вагові коефіцієнти R та C ;
- знайти вираз для $\Gamma_* \Gamma$ та виконати його факторизацію;
- обчислити вираз DD^* та здійснити його факторизацію;
- розрахувати вираз для T та виконати його сепарацію;

- визначити передаточну функцію F_u^ψ ;
- з рівняння зв'язку отримати передаточну функцію F_x^ψ ;
- використовуючи знайдені F_u^ψ та F_x^ψ , обчислити передаточну функцію регулятора за рівнянням (3.10).

Для прийняття рішення щодо подальшого використання отриманих результатів необхідно провести аналіз якості роботи системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі з оптимальним регулятором.

3.2 Розробка регулятора.

Згідно зі структурною схемою системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі (рис. 2.6), до її складу входять об'єкт регулювання, датчик температури, регулятор та виконавчий механізм. На основі аналізу літературних джерел та технічних характеристик компонентів системи можна визначити їх передаточні функції:

$$W_{OP}(s) = \frac{k_{OP}}{T_{OP}s + 1}; \quad (3.12)$$

$$W_{DT}(s) = \frac{k_{DT}}{T_{DT}s + 1}; \quad (3.13)$$

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM}s + 1}. \quad (3.14)$$

Щодо збурень, які впливають на об'єкт регулювання, слід зазначити, що їх природа та джерела настільки різноманітні, що загальний вплив можна моделювати як стаціонарний випадковий процес з нульовим математичним сподіванням і спектральною щільністю, що характеризується обмеженим «білому» шумом:

$$S_{\psi\psi}(s) = \frac{\sigma_\psi^2}{\pi} \left| \frac{1}{T_\psi s + 1} \right|^2. \quad (3.15)$$

Щодо похибки вимірювання φ_0 , то її спектральну щільність також будемо вважати у вигляді «білого» шуму:

$$S_{\varphi_0\varphi_0}(s) = \frac{\sigma_{\varphi_0}^2}{\pi}. \quad (3.16)$$

Для використання алгоритму синтезу регулятора (3.3)-(3.11) необхідно здійснити структурні перетворення системи (рис. 2.6) до форми, зображеної на рис. 3.1. Це включає визначення поліномів $M_0(s)$, $P_0(s)$ та $K_0(s)$, а також обчислення спектральної щільності $S_{\psi_0}(s)$ для нової структурної схеми.

Задамо необхідні параметри для виразів (3.12) – (3.16) та проведемо необхідні розрахунки вихідних даних для синтезу регулятора.

$$k_{OP} = 0,2; T_{OP} = 20 \text{ с}; k_{BM} = 20 \text{ }^\circ\text{C/B}; T_{BM} = 5 \text{ с}; k_{TD} = 1; T_{TD} = 6 \text{ с};$$

$$\sigma_{\psi} = 1 \text{ }^\circ\text{C}; T_{\psi} = 0.1 \text{ с}; \sigma_{\varphi_0} = 0,5.$$

$$M_0(s) = 0.04 \quad (3.17)$$

$$P_0(s) = (s + 0.05)(s + 0.2) \quad (3.18)$$

$$K_0(s) = \frac{0.1667}{(s + 0.1667)} \quad (3.19)$$

$$S_{\psi_0\psi_0}(s) = \frac{7957.7472 (s + 0.2)(s - 0.2)}{(s + 10)(s - 10)} \quad (3.20)$$

$$S_{\varphi_0\varphi_0}(s) = 0.079577 \quad (3.21)$$

Далі знайдемо поліноми $M(s)$ та $P(s)$ за допомогою виразів (3.5) та (3.6), при цьому внаслідок видалення полюсів ліворуч отримано значення $K_{10} = 0.1667$.

$$M(s) = 0.0067 \quad (3.22)$$

$$P(s) = (s + 0.05)(s + 0.2)(s + 0.1667) \quad (3.23)$$

Для застосування алгоритму синтезу регулятора визначимо вагові коефіцієнти функціоналу якості.

$$R = 1; \quad C = 1. \quad (3.24)$$

Підставивши вихідні дані з виразів (3.20), (3.21) та (3.23) у формули (3.9), (3.10) і виконавши факторизацію отриманого результату, було знайдено значення D .

$$D = \frac{0.28209(s + 10.01)(s + 0.2)(s^2 + 3.206 \cdot s + 5.263)}{(s + 10)} \quad (3.25)$$

Наступний етап алгоритму синтезу передбачає знаходження дробово-раціональної функції Γ шляхом факторизації правої частини виразу (3.8).

$$\Gamma = \frac{(s^2 + 0.3535s + 0.04123)}{(s + 0.05)(s + 0.2)} \quad (3.26)$$

Підготовка дробово-раціональної матриці N для сепарації та її сепарація були виконані за допомогою алгоритму (3.11), застосованого до даних, визначених виразами (3.19) – (3.26), що дозволило отримати наступний результат.

$$N_0 + N_+ = \frac{5.6366}{(s + 0.05)} \quad (3.27)$$

Застосування формули (3.7) до даних, визначених виразами (3.25) – (3.27), дозволило отримати варіаційну матрицю передаточних функцій оптимальної системи від вектора зовнішніх збурень ψ_0 до сигналу управління u

$$F_u^\psi = \frac{19.9814(s + 10)}{(s + 10.01)(s^2 + 0.3535s + 0.04123)(s^2 + 3.206s + 5.263)} \quad (3.28)$$

Отриманий результат (3.28) разом з виразами $\backslash(P \backslash)$ та $\backslash(M \backslash)$, заданими за допомогою рівнянь (3.22) та (3.23), дозволив знайти передаточну функцію оптимальної системи стабілізації від вектора збурень ψ_0 до вектора вихідних координат x_0 на основі рівняння зв'язку (3.4).

$$F_x^\psi = \frac{(s + 0.3205)(s^2 + 3.189s + 5.24)}{(s + 0.1667)(s + 0.2)(s^2 + 0.3535s + 0.04123)(s^2 + 3.206s + 5.263)} \quad (3.29)$$

Знайдені вирази F_u^ψ та F_x^ψ дозволили розрахувати передаточну функцію оптимального регулятора W , яка забезпечує стійкість системи та мінімізує критерій якості (3.2) згідно з алгоритмом (3.3).

$$W = \frac{19.9814 (s + 10) (s + 0.1667) (s + 0.2)}{(s + 0.3205) (s + 10.01) (s^2 + 3.189s + 5.24)} \quad (3.30)$$

Частотна характеристика регулятора представлена на рис. 3.2

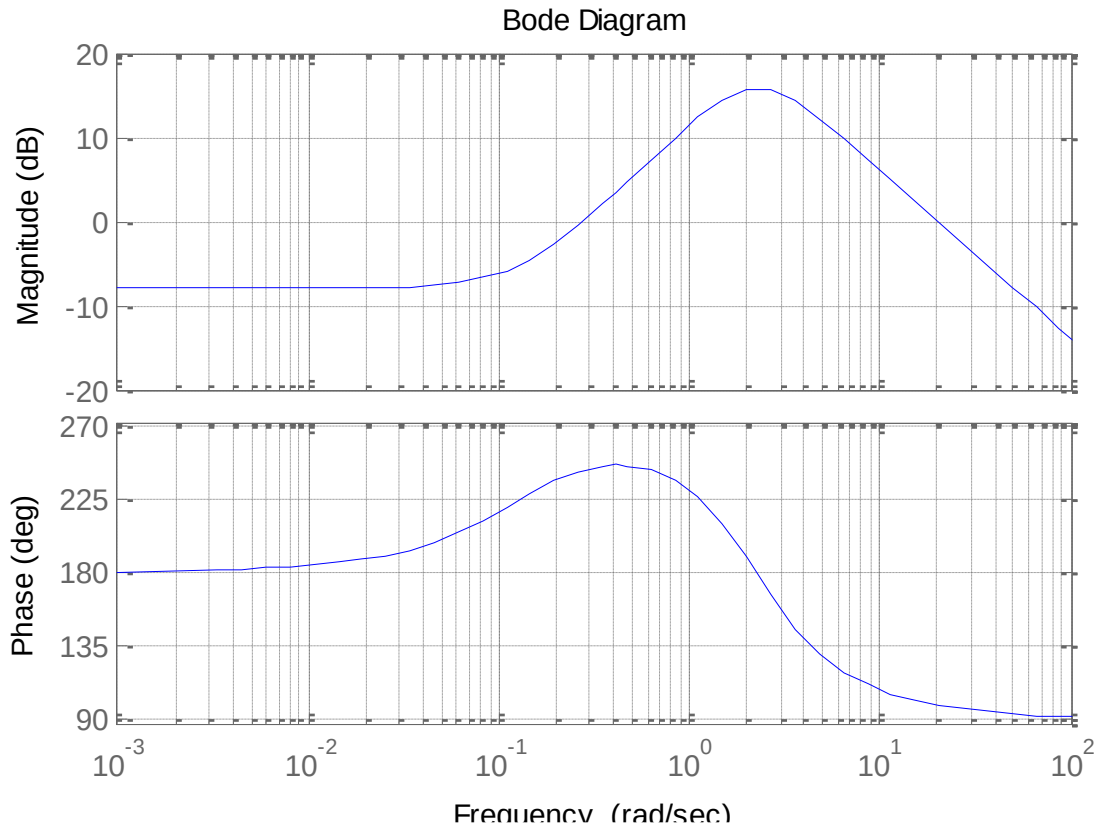


Рисунок 3.2 – Частотна характеристика оптимального регулятора.

Отже, задача синтезу оптимального регулятора для системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі вирішена повністю.

3.3 Моделювання роботи системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі.

Для перевірки працездатності системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі та оцінки якості регулювання, використовуючи розрахований регулятор, було застосовано метод імітаційного моделювання. У середовищі MATLAB за допомогою пакету Simulink була створена модель системи, що відповідає структурній схемі, зображеній на рисунку 2.6.

Елементи системи автоматичного регулювання задавались за допомогою блоку «Transfer Fcn» з розділу Continuous бібліотеки Simulink. У цьому блоці передаточні функції елементів системи визначаються через коефіцієнти поліномів чисельника та знаменника (рис. 3.3).

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

Для моделювання збурюючого впливу був використаний блок «Band-Limited White Noise» з розділу Sources бібліотеки Simulink (рис. 3.4). Цей блок генерує випадковий сигнал з нормальним розподілом амплітуд і рівномірною амплітудо-частотною характеристикою, що відповідає «в білому шуму». У цьому блоці налаштовуються такі параметри: Noise power – потужність збурюючого впливу в межах частотної смуги сигналу; Sample time – час між відліками сигналу шуму (час дискретизації); Seed – початкове значення для генератора випадкових чисел.

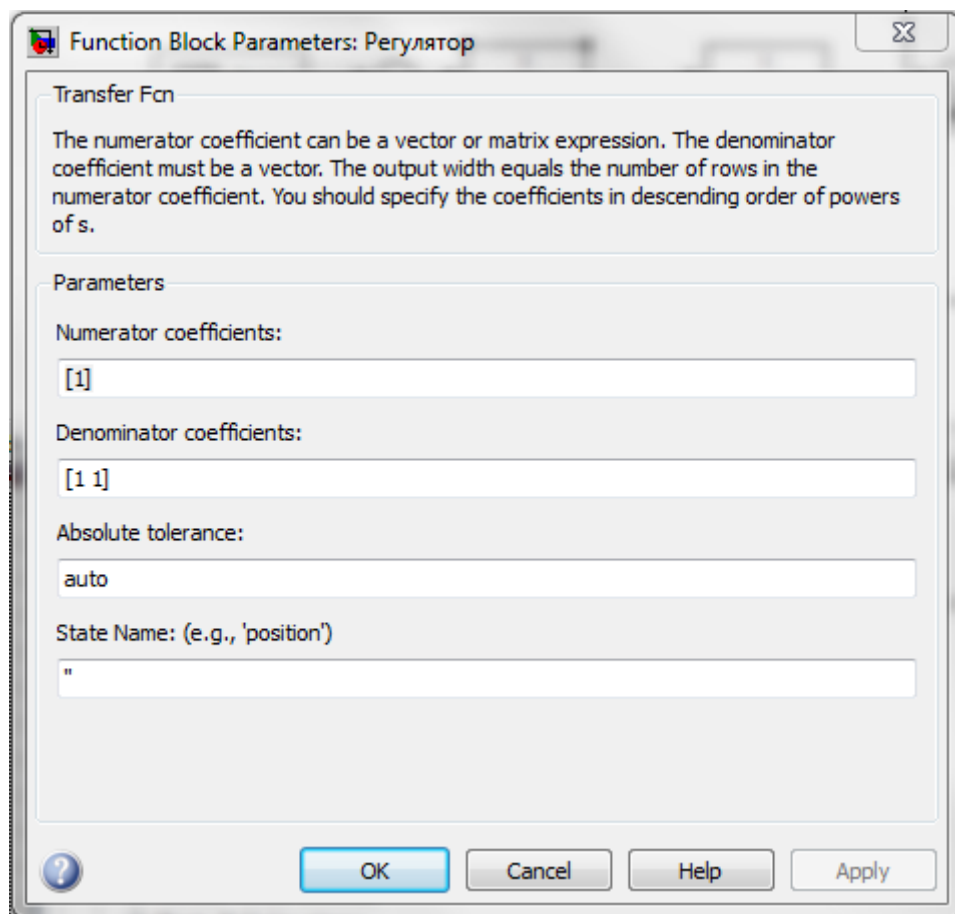


Рисунок 3.3 – Параметри блоку «Transfer Fcn»

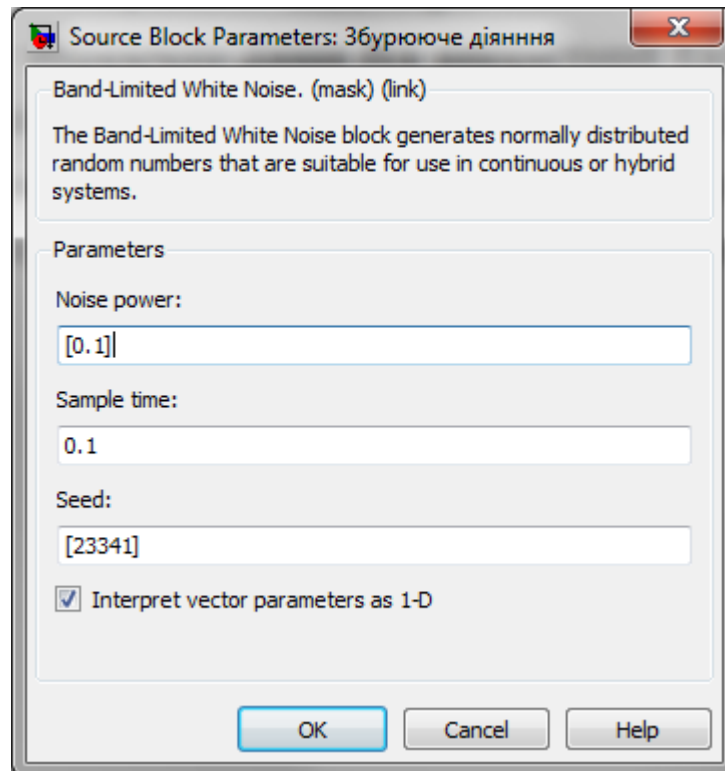


Рисунок 3.4 – Параметри блоку «Band-Limited White Noise»

Отже, цей блок генерує випадковий сигнал з нормальним розподілом, при цьому за допомогою параметра Sample time можна визначити обмеження по смузі частот, що задані у виразі (3.15).

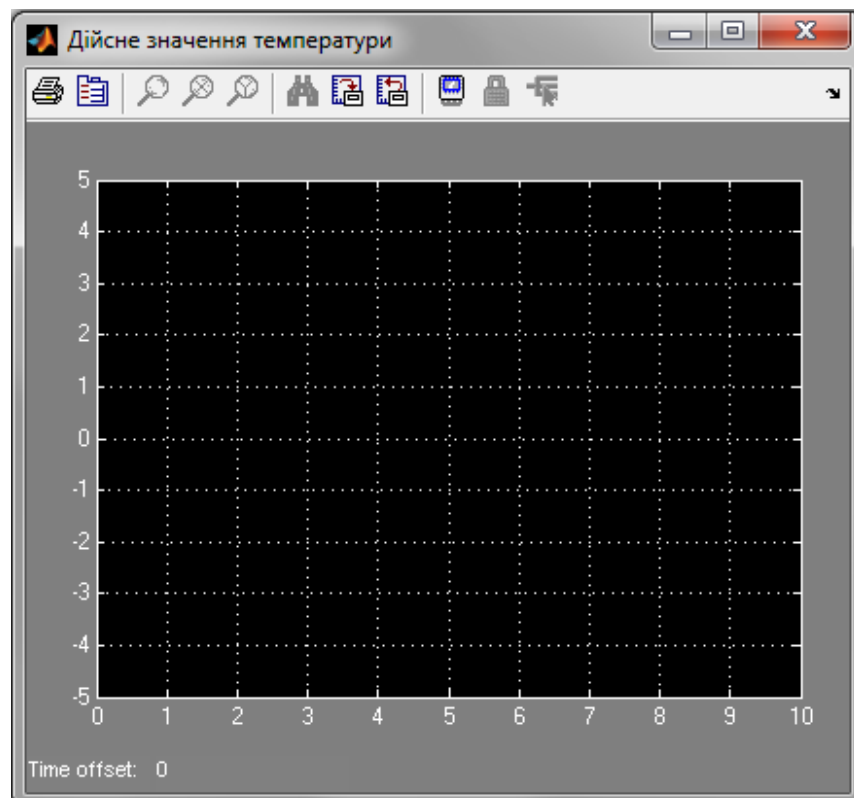


Рисунок 3.5 – Блок «Score»

Для моніторингу поточного значення температури та збурюючого впливу був використаний блок «Scope» з розділу Sinks бібліотеки Simulink (рис. 3.5).

В результаті побудови була створена модель системи автоматичного регулювання температурного режиму автоклава (рис. 3.6).

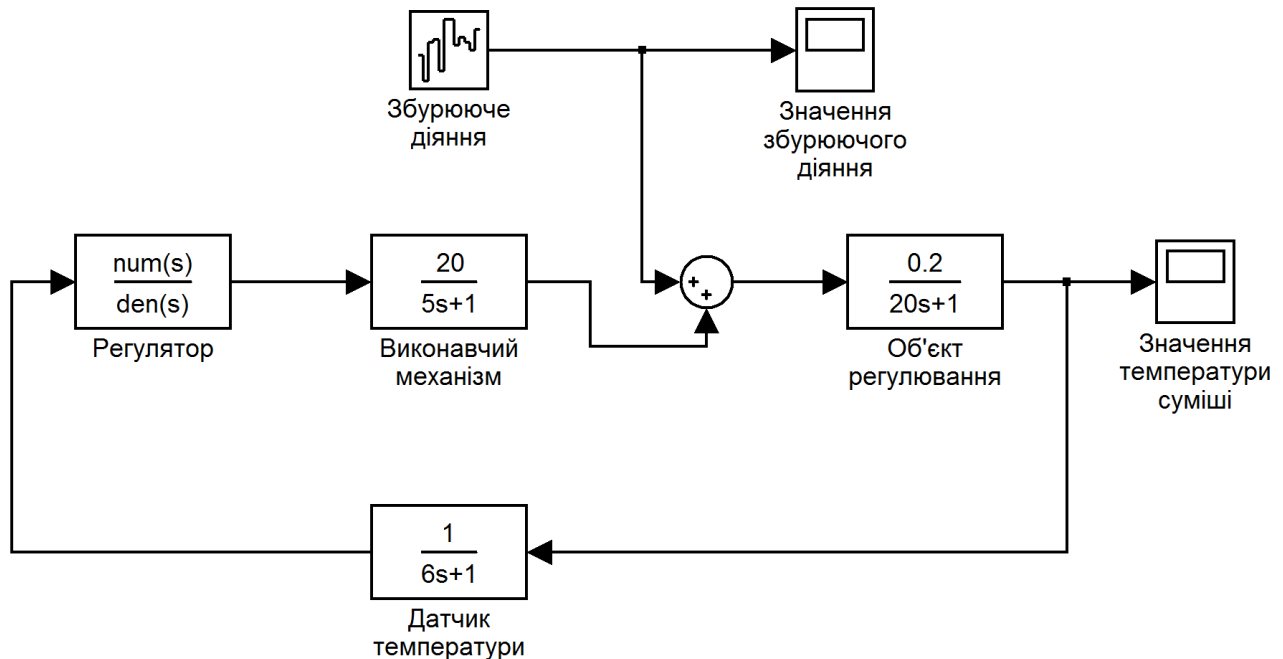


Рисунок 3.6 – Модель системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі

Моделювання проводилося протягом 100 секунд. В результаті були отримані графіки зміни збурюючого впливу (рис. 3.7) та відхилення температури суміші карамелі в змішувачі від заданого значення (рис. 3.8).

Як видно з графіків, температура суміші карамелі в змішувачі коливається в межах $\pm 0,3$ °C, тоді як збурюючий вплив змінювався в широкому діапазоні, що перевищує ± 5 °C. Аналіз статистичних даних цих графіків показав наступні результати:

- Щодо збурюючого впливу
середнє значення становить 0,02 °C;
середньоквадратичне відхилення дорівнює 2,26 °C.
- Щодо температури суміші:
середнє значення становить 0,002 °C;
середньоквадратичне відхилення дорівнює 0,12 °C.

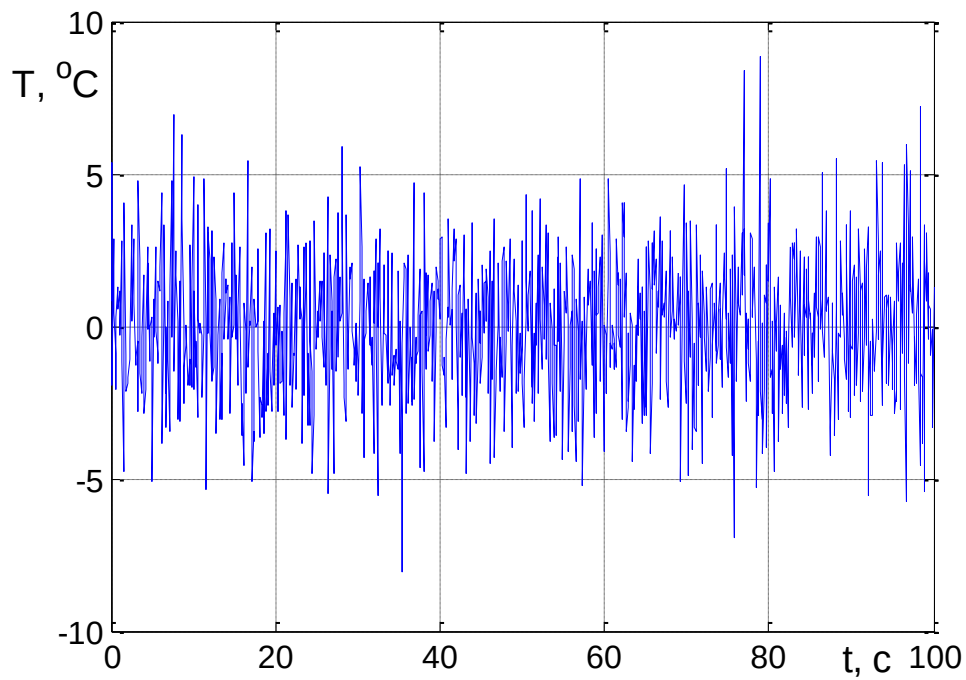


Рисунок 3.7 – Графік зміни збурюючого впливу

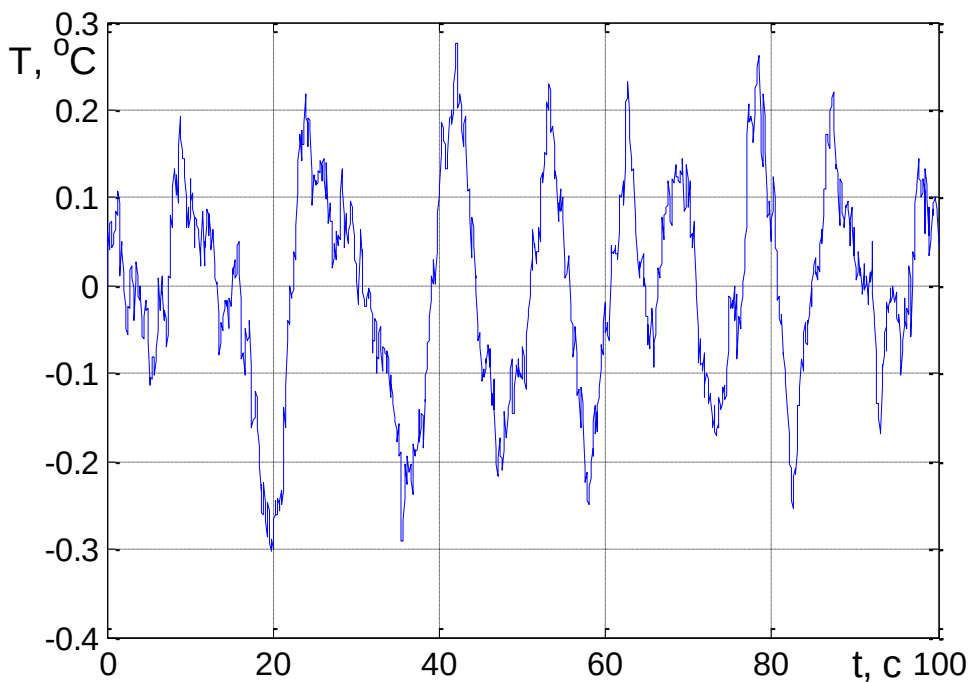


Рисунок 3.8 – Графік зміни температури суміші карамелі в змішувачі.

Як видно, система автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі дозволила зменшити середньоквадратичне відхилення в 18 разів.

Аналіз об'єкта регулювання, проведений у розділі 2, показав, що об'єкт є досить складним. До змішувача подаються речовини з різною фізичною та

хімічною природою. Для розробки системи автоматичного регулювання об'єкт було змодельовано як аперіодичну ланку першого порядку, при цьому інерційність об'єкта регулювання описувалася сталою часом $T_{op} = 20$ с. Однак ця стала може змінюватися в процесі роботи лінії з виробництва карамельної маси. Тому для оцінки якості роботи системи автоматичного регулювання було проведено дослідження при різних значеннях постійної часу об'єкта регулювання: $T_{op} = 2; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50$ с. Це дослідження дозволить оцінити стійкість системи та визначити якість її роботи при зміні динаміки об'єкта регулювання.

Як видно з графіка (рис. 3.8), середнє значення середньоквадратичного відхилення температури суміші карамелі в змішувачі становило $0,2$ °C. Це підтверджує, що система зберігала стійкість, незважаючи на зміну параметрів об'єкта регулювання.

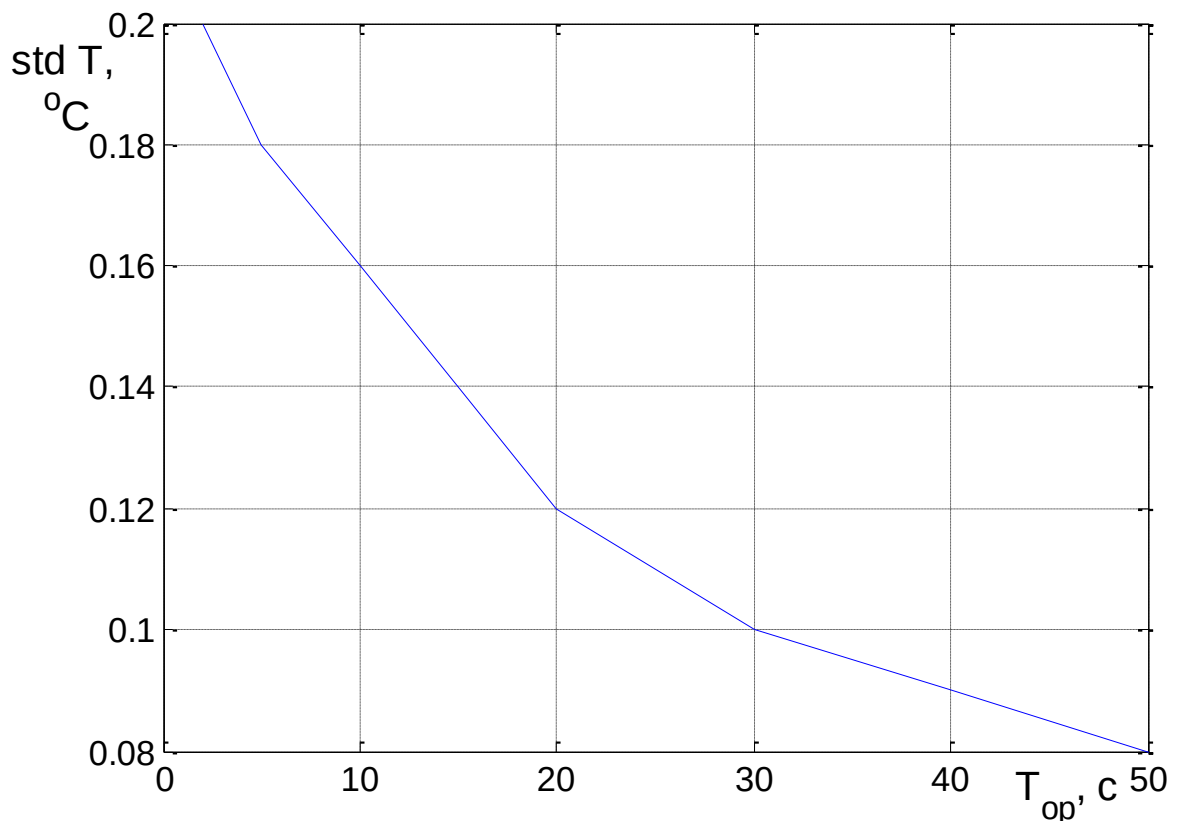


Рисунок 3.9 – Графік залежності середньоквадратичного відхилення температури суміші карамелі в змішувачі від зміни сталої часу об'єкта регулювання

4 Практична реалізація системи автоматичного регулювання

4.1 Визначення Z-перетворення функції передачі регулятора

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

$$W = \frac{19.9814 (s + 10) (s + 0.2) (s + 0.1667)}{(s + 0.3205) (s + 10.01) (s^2 + 3.189s + 5.24)} \quad (4.9)$$

Здійснимо розклад передаточної функції регулятора на елементарні дробы:

$$W_P(s) = \frac{0.03722}{s + 10.01} + \frac{0.08564}{s + 0.3205} + \frac{19.86s + 0.6556}{s^2 + 3.189s + 5.24} \cdot \quad (4.10)$$

Тепер проведемо Z-перетворення за допомогою середовища MatLab при дискретизації з інтервалом $T_0 = 0.1$ с.

$$W_P(z) = \frac{0.0024}{z - 0.3674} + \frac{0.0084}{z - 0.9685} + \frac{1.688z - 1.683}{z^2 - 1.682z + 0.7269} \cdot \quad (4.11)$$

$$W_P(z) = \frac{0.0024 \cdot z^{-1}}{1 - 0.3674 \cdot z^{-1}} + \frac{0.0084 \cdot z^{-1}}{1 - 0.9685 \cdot z^{-1}} + \frac{1.688 \cdot z^{-1} - 1.683 \cdot z^{-2}}{1 - 1.682 \cdot z^{-1} + 0.7269 \cdot z^{-2}} \quad (4.12)$$

На основі отриманої дискретної передаточної функції регулятора формулюємо різницеві рівняння:

$$u[n] = u_1[n] + u_2[n] + u_3[n];$$

$$u_1[n] = 0.0024 x[n-1] + 0.3674 u_1[n-1];$$

$$u_2[n] = 0.0084 x[n-1] + 0.9685 u_2[n-1];$$

$$u_3[n] = 1.688 x[n-1] - 1.683 x[n-2] + 1.682 u_3[n-1] - 0.7269 u_3[n-2].$$

Схема програмної реалізації представлена на рисунку 4.1.

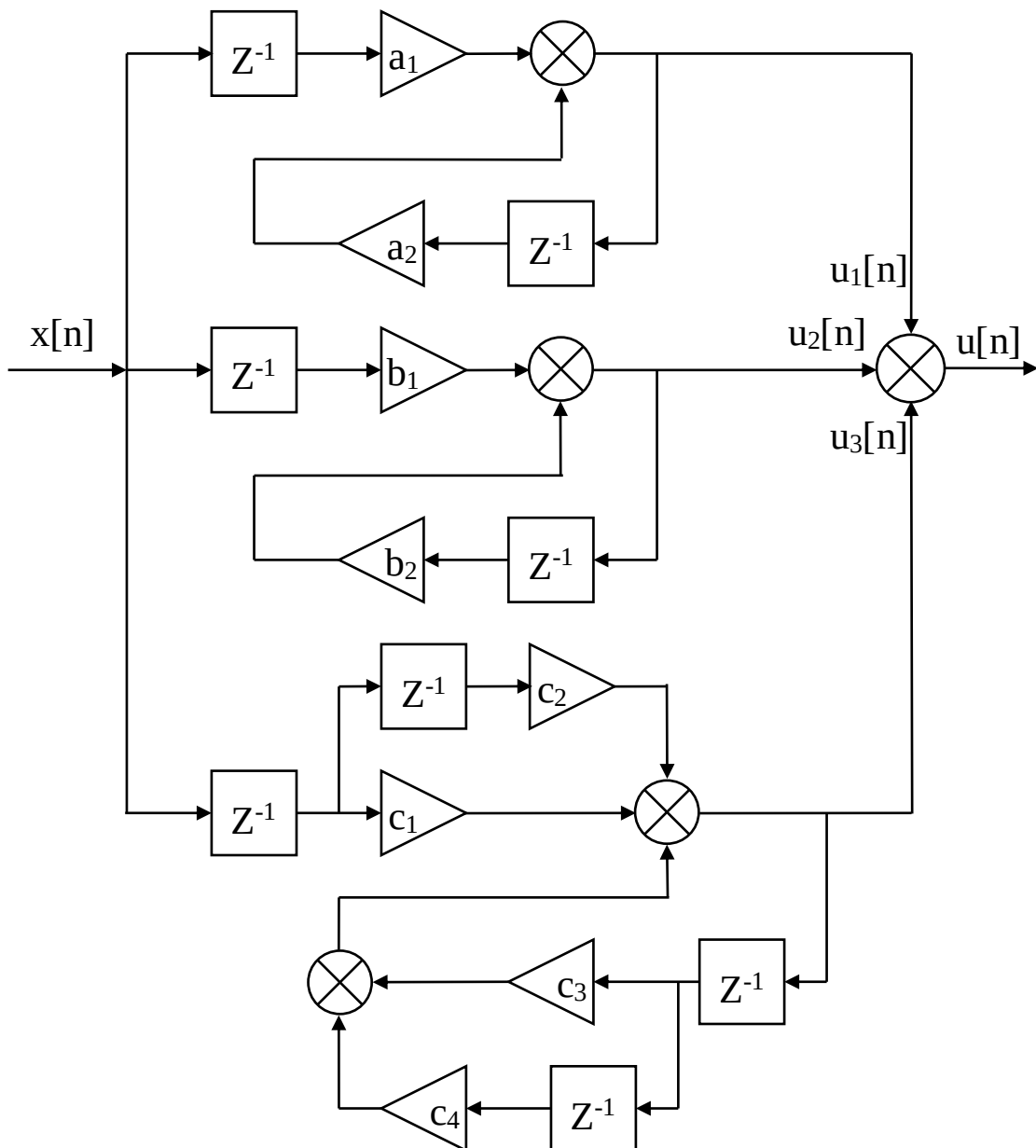


Рисунок 4.1 – Схема алгоритму програмної реалізації регулятора

де коефіцієнти мають значення:

$a_1 = 0.0024$; $a_2 = 0.3674$; $b_1 = 0.0084$; $b_2 = 0.9685$;

$c_1 = 1.688$; $c_2 = 1.683$; $c_3 = 1.682$; $c_4 = -0.7269$.

На основі отриманої схеми програмної реалізації необхідно розробити регулятор з використанням мікропроцесора.

4.2 Розробка електричної схеми структури системи

Електрична структурна схема системи включає в себе наступні компоненти:

- датчик температури суміші карамелі (ДТСК);
- датчик витрати патоки (ДВП);

- датчик витрати інвертного сиропу (ДВІС);
- датчик витрати води (ДВВ);
- датчик витрати карамельного сиропу (ДВКС);
- задатчик температури суміші карамелі (ЗТСК);
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- однокристальна мікро-ЕОМ (ОМЕОМ);
- блок індикації (БІ);

Розроблена в цьому проекті система призначена для регулювання температури суміші карамелі в змішувачі та моніторингу кількох параметрів на вході змішувача, таких як витрати патоки, інвертного сиропу, води, а також витрати карамельного сиропу на виході. Для вимірювання цих параметрів використовуються відповідні датчики температури та витрат. Задання необхідної температури суміші карамелі здійснюється за допомогою температурного задавального пристрою.

Аналогові сигнали від датчика температури (ДТСК), датчиків витрат (ДВП, ДВІС, ДВВ, ДВКС) та задатчика температури (ЗТСК) подаються на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), який є частиною блока контролера. АЦП перетворює ці аналогові сигнали в цифрову форму, зручну для подальшої обробки. Цифровий сигнал, що виходить з АЦП, передається на однокристальну мікроелектронну обчислювальну машину (ОМЕОМ), яка виконує функції збору та обробки даних, прийняття рішень та формування відповідного управляючого сигналу згідно з заданим алгоритмом. Управління роботою АЦП (вибір каналу, ініціація перетворення, тактування тощо) також здійснюється через ОМЕОМ.

Для відображення інформації про поточні та задані значення в систему введено блок індикації (БІ), який управляється мікро-ЕОМ. На цифрових індикаторах відображаються значення параметрів технологічного процесу. Крім того, на блок індикації виводяться сигнали, що інформують про стан змішувача, які також генеруються мікро-ЕОМ.

Управляючий сигнал від мікро-ЕОМ направляється на електромагнітний клапан.

4.3 Розробка функціональної електричної схеми системи

Датчик температури представляє собою інтегральний перетворювач типу «температура-напруга». Датчики витрат є магнітно-індуктивними витратомірами, що генерують вихідний сигнал у вигляді напруги. Аналогові сигнали з виходів датчиків, що пропорційні вимірюваним параметрам, надходять на активні фільтри нижніх частот (7-11), які призначені для усунення індустріальних перешкод. Після фільтрації сигнали передаються на підсилювачі (12-16), що підвищують їх до необхідного рівня. Підсилені та очищені сигнали з виходів підсилювачів (12-16) надходять на входи IN0-IN4 аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 17. Сигнал від задатчика температури 6 подається на вхід IN5 АЦП 17. Задатчик температури 6 є перетворювачем «опір-напруга» і являє собою змінний резистор, який включений у дільник напруги.

Вибір каналу АЦП 17 здійснюється за допомогою мікро-ЕОМ 18, яка формує сигнали вибору каналу у двійковому вигляді на виходах P2.0-P2.2. Номер каналу передається на адресні входи AD0-AD2 вбудованого дешифратора АЦП. Двійковий номер каналу фіксується в АЦП 17 за допомогою сигналу LE (Latch Enable), який генерується на виході P3.6 мікро-ЕОМ 18.

Тактування АЦП здійснюється за допомогою сигналу ALE, який генерується мікро-ЕОМ на кожному машинному циклі та подається на вхід CLK АЦП.

Для ініціації перетворення, мікро-ЕОМ 18 формує сигнал на виводі P3.4, який подається на вхід STCNV (Start Converting) АЦП 17. Після завершення перетворення, АЦП генерує сигнал на виводі EOC (End of Converting), який надходить на вхід INT0 мікро-ЕОМ 18 для активації переривання. У відповідь

на цей сигнал мікро-ЕОМ формує сигнал на виводі P3.7, який подається на вхід OE (Output Enable), дозволяючи АЦП підключити свої внутрішні регістри до виходів D0-D7, після чого мікро-ЕОМ зчитує отримані дані з АЦП через лінії P0.0-P0.7.

Порт P1 мікро-ЕОМ 18 використовується для керування 6-розрядним цифровим світлодіодним індикатором 19, на якому відображаються поточні або задані значення температури. У цій схемі застосовано принцип програмної динамічної індикації. Суть методу полягає в тому, що через лінії порту P1 по черзі виводяться дані для кожного розряду індикатора, а також номер відповідного розряду. Цей процес повторюється циклічно для всіх розрядів. Через лінії P1.0-P1.3 передаються двійкові дані, які надходять на вхід перетворювача кодів 20. Перетворювач виконує перетворення двійкового коду у формат, придатний для семисегментного цифрового індикатора. Виходи перетворювача підключені до індикатора 19.

З виходів P1.4 та P1.5 передається номер активного розряду в двійковому форматі, який надходить на входи дешифратора 21. Дешифратор 21 перетворює цей двійковий код у позиційний. Таким чином, на виході дешифратора формується сигнал, що відповідає номеру активного розряду, і цей сигнал передається на блок ключів 22, який вмикає відповідний ключ, активуючи потрібний розряд на індикаторі 19.

У наступному циклі будуть виведені інші дані в наступний розряд. Таким чином, дані послідовно, по черзі, циклічно відображатимуться в усіх розрядах індикатора.

Управлінський сигнал, що надходить на електромагнітний клапан, генерується на виході P2.6.

4.4 Розробка принципової електричної схеми системи

Оскільки система складається з кількох блоків, кожен з них буде розглянутий окремо.

Блок датчиків і регулюючих пристроїв.

Для контролю температури в змішувачі рекомендується використовувати прилади серії «SITRANS T» виробництва SIEMENS — вгвинчувані термометри опору низького тиску зі сполучною головкою, без консолі.

Термометр опору, що вгвинчується, для низького тиску зі сполучною головкою (без консолі) призначений для вимірювання температур у діапазоні від -50 до +200 °C. Він також може постачатися з вбудованим вимірювальним перетворювачем температури. Вимірювальні резистори в цьому датчику розміщені в керамічному корпусі.

Рекомендується вибрати термометр опору з одним вимірювальним резистором Pt100, який буде підключений за допомогою трьохпровідної схеми.

Оскільки в даному виробництві немає строгих вимог до вибухозахисту, термометр опору буде оснащений вимірювальною вставкою без вибухозахисту та матиме монтажну довжину 360 мм.

Термометр опору призначений для установки в резервуарах і трубопроводах для вимірювання температури з урахуванням гігієнічних вимог. Завдяки міцній конструкції, він підходить для використання в різних технологічних процесах харчової, фармацевтичної та біотехнічної промисловості. Також термометр опору може поставлятися з вбудованим вимірювальним перетворювачем. Для цього існує серія перетворювачів з різними типами головок.

Для вимірювання витрати використовуються магнітно-індуктивні витратоміри серії MAGFLO від фірми SIEMENS, які призначені для вимірювання витрати електропровідних рідин.

Магнітно-індуктивні витратоміри призначені для вимірювання витрати більшості електропровідних рідин, суспензій, паст та інших подібних матеріалів.

Єдиною вимогою є наявність мінімальної електропровідності на рівні 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Температура, тиск, в'язкість та щільність не мають впливу на точність вимірювання.

Магнітно-індуктивні витратоміри застосовуються в таких галузях:

- водопостачання та очищення стічних вод;
- хімічна та фармацевтична промисловість;
- харчова промисловість та виробництво безалкогольних напоїв;
- гірничодобувна, цементна та видобуток корисних копалин;
- целюлозно-паперова промисловість;
- сталеплавильна галузь;
- енергетика та водопостачання для охолодження.

Модульна система, завдяки широкому вибору комбінацій та конструкцій, забезпечує оптимальне вирішення для будь-якого завдання вимірювання.

Для вимірювання витрати зазначених параметрів у попередньому розділі варто звернути увагу на магнітно-індуктивний вимірювальний датчик MAGFLO MAG 1100 Food, який спеціально розроблений для застосування в харчовій та пиво-безалкогольній промисловості.

Основні сфери використання магнітно-індуктивних вимірювальних датчиків SITRANS F M MAGFLO включають:

- харчову промисловість;
- пиво-безалкогольну промисловість;
- фармацевтичну промисловість.

Принцип вимірювання витрати базується на законі електромагнітної індукції Фарадея, згідно з яким вимірювальний датчик перетворює витрату в електричну напругу, пропорційну швидкості потоку.

Для цього випадку доступні витратоміри з діаметрами від 10 до 100 мм. Для вимірювання витрати оберемо витратомір діаметром 80 мм. Крім того, доцільно замовити вимірювальний датчик з вбудованим перетворювачем

MAG 6000 I. Це модульне виконання дозволяє працювати в діапазоні температур навколишнього середовища від -20 до +60°C.

Для вимірювання вологості тіста рекомендується використовувати мікрохвильовий вологомір MICRORADAR - 114C, оскільки він забезпечує високу точність і має широкий діапазон вимірювання.

Датчики підключаються до блоку мікроконтролера через роз'єми XP1 - XP5. Через ці роз'єми також подається напруга живлення на датчики, яка додатково фільтрується за допомогою конденсаторів C1, C5, C9, C13 та C17 у блоці контролера

Блок контролера.

Сигнал від датчика надходить на вхід активного фільтра, який є низькочастотним фільтром другого порядку. Схему фільтра було обрано з офіційного сайту виробника, і вона є стандартним рішенням для використаного підсилювача. В якості підсилювача DA1.2 використано здвоєний операційний підсилювач типу MCP602 від компанії National Semiconductor. Одна частина підсилювача застосована у фільтрі DA1.1, а інша частина (DA1.2) використовується як неінверсуючий підсилювач напруги. Коефіцієнт підсилення для DA1.2 визначається через співвідношення опорів R4 та R3. Всі вимірювальні канали в системі є ідентичними.

Напруга від задатчика температури подається через роз'єм XP6, де вона додатково фільтрується за допомогою конденсатора C21.

Задатчик температури представляє собою перетворювач типу «опір-напруга», що є змінним резистором СП5-19. Він підключений через роз'єм до дільника напруги, сформованого резисторами R21 і R22, при цьому останні виконують роль обмежувальних елементів.

Фільтровані та підсилені сигнали від датчиків подаються на входи IN0 - IN4 АЦП DD1, відповідно. Сигнал від задатчика температури подається на вхід IN5 цього ж АЦП. Для виконання перетворення використано 8-канальний 8-розрядний АЦП типу ADC0809 від компанії National Semiconductor.

Вибір необхідного каналу АЦП здійснюється за допомогою мікро-ЕОМ DD2, яка формує сигнали вибору каналу у двійковому вигляді на виходах P2.0-P2.2. Номер каналу передається на адресні входи AD0-AD2 вбудованого дешифратора АЦП. Двійковий номер фіксується в АЦП за допомогою сигналу LE (Latch Enable), що змінює своє значення з «1» на «0» під впливом мікро-ЕОМ, програмно. Тактування АЦП здійснюється сигналом ALE, який генерується мікро-ЕОМ на кожному машинному циклі і подається на вхід CLK АЦП. Після запису номера каналу АЦП готовий до процесу перетворення.

Для ініціації перетворення АЦП мікро-ЕОМ DD2 програмно генерує сигнал на виводі P3.4, який подається на вхід STCNV (Start Converting) для запуску процесу перетворення. Перетворення починається з переднього фронту сигналу і триває протягом 8 тактових циклів. По завершенню перетворення АЦП формує сигнал на виході EOC (End of Converting), що має активний рівень «1», і цей сигнал надходить на вхід запиту на переривання INT0 мікро-ЕОМ DD2. Оскільки для активації переривання потрібен рівень «0», в схему введено інвертор на DD3.1. У відповідь на ці дії мікро-ЕОМ генерує сигнал «1» на виводі P3.7, який подається на вхід OE (Output Enable) для активації виходу, після чого АЦП підключає свої внутрішні регістри до виходів D0-D7, і мікро-ЕОМ DD2 зчитує дані з АЦП через лінії P0.0-P0.7.

Основною складовою системи є однокристальна мікро-ЕОМ DD2, яка виконує функції збору та обробки даних, прийняття рішень і формування відповідних сигналів управління згідно з визначеним алгоритмом. В схемі використано мікро-ЕОМ типу AT89S51 виробництва Atmel. Тактування мікроконтролера здійснюється вбудованим генератором тактових імпульсів, до виводів якого підключений зовнішній ланцюг для встановлення частоти на компонентах C28 та C29ZQ1. Апаратний скидання мікроконтролера при подачі живлення забезпечується за допомогою диференціюючого ланцюга на резисторах R25 і конденсаторі C30, що генерує короткий імпульс скиду на

вхід Reset контролера. Для вибору режиму роботи з внутрішньою пам'яттю програми на вхід DEMA через резистор R24 подається логічний рівень «1».

Цифровим індикатором керує роз'єм XS10 блоку контролера.

Для програмування мікро-ЕОМ в схемі передбачений роз'єм XS9. Програмування виконується за допомогою спеціального програматора через інтерфейс SPI.

Живлення блоку контролера здійснюється від напруги +12 В, поданої через роз'єм XP7. Для гальванічної розв'язки між цифровою та аналоговою частинами блоку в схемі використані перетворювачі DA6 та DA7 типу P610U-1205ELF компанії Реак, які перетворюють постійну напругу +12 В на +5 В. На виходах перетворювачів встановлені фільтруючі (блокуючі) конденсатори C22-C27.

Для регулювання температури карамельної суміші в змішувачі використовується електромагнітний клапан, що працює з вхідним сигналом у діапазоні 4...20 мА.

Блок індикації.

Порт P1 мікро-ЕОМ через роз'єм XS10 передає сигнали управління для індикатора. У цій схемі реалізовано принцип програмної динамічної індикації, при якому в певний момент часу через лінії порту P1 в одному байті передаються дані та номер активного розряду. В інший момент часу передаються дані та номер наступного розряду, і так далі по циклу, причому кількість циклів відповідає кількості розрядів індикатора. Дані передаються в двійковому вигляді через лінії P1.0-P1.3 і надходять на входи перетворювача кодів DD1 типу KP514ИД2. Цей перетворювач перетворює двійковий код на код для семисегментного цифрового індикатора. Виходи перетворювача підключені до катодів індикаторів HG2, HG3, а також HG5, HG6 типу A551. Хоча в схемі передбачено 6 індикаторів, фактична індикація є 4-розрядною. Індикатори HG1 та HG4 використовуються лише для відображення значень, що перевищують 100. У цьому випадку HG1 та HG4 працюють паралельно з HG2 та HG5, причому їх катоди В і С завжди підключені через транзистор

VT3 до землі, що відповідає цифрі «1». Таким чином, при відображенні значень більше 100 на лінії P3.6 генерується сигнал «1», який через інвертори на DD2.4 і DD2.3 підсилюється та відкриває транзистор VT3, що дозволяє відобразити цифру «1».

З виходів P1.4 та P1.5 через роз'єм XS7 блока контролера у двійковому вигляді передається номер активного розряду, який надходить на входи дешифратора DD3 типу K555ИД4. Дешифратор перетворює цей двійковий код на позиційний. Таким чином, на виході дешифратора з'являється сигнал, що відповідає номеру активного розряду, і цей сигнал передається на блок ключів, який складається з транзисторів VT4-VT7. Транзистори підключають анод індикатора до напруги живлення, що активує відповідний розряд індикатора.

У наступному циклі інші дані будуть відображатися в наступному розряді. Таким чином, дані будуть циклічно виводитися у всі розряди індикатора послідовно, по черзі.

Коли ключі в блоці контролера відкриваються, сигнали від них передаються через роз'єм XS10 на світлодіодні індикатори HL2 та HL3, які вмикаються для показу відхилення температури від встановлених меж. Світлодіод HL1 сигналізує про подачу живлення на блок індикації, яке надходить через роз'єм XS10.

Сигнал аварії надходить на блок індикації через роз'єм XS10, потім через інвертор DD2.1 подається на світлодіод HL4, який індикує наявність аварії. Одночасно цей сигнал передається через інвертор DD2.2 та електронний ключ, що виконаний на транзисторах VT1 і VT2. При відкриванні ключа вмикається звуковий сигнал, що підключається до клем AL+ та AL- блоку індикації.

Висновки

1. У роботі розглянуто технологічний процес виробництва карамелі, зокрема, проведено аналіз характеристик готової продукції та сировини, а також описано основні етапи технологічного процесу.
2. В роботі здійснено аналіз автоматизованої системи управління технологічним процесом виробництва карамелі, визначено її структуру та основні складові.
3. Розроблена структурна схема системи автоматичного регулювання температури карамельної суміші в змішувачі, проведено аналіз її компонентів та визначено завдання автоматизації.
4. Аналіз методів синтезу оптимального регулятора було проведено, і на основі вибраного підходу здійснено синтез регулятора для системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі.
5. Моделювання роботи системи автоматичного регулювання температури суміші карамелі в змішувачі показало, що застосування цієї системи дозволило зменшити вплив збурень у 18 разів. Дослідження якості роботи системи при зміні параметра об'єкта регулювання в широких межах виявило, що середньоквадратичне відхилення температури суміші становить 0,2 °C.
6. У проекті розроблено структурну, функціональну та принципову схеми оптимального цифрового регулятора і блоку індикації, а також алгоритм програмної реалізації регулятора.

Список літератури

1. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій.- К.:Вища школа,1995.-519 с.
2. Стеклов В.К. Проектування систем автоматичного керування.- К.:Вища школа,1995.-231 с.
3. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Дубиняк С.Г. Теорія технічних систем .- К.: Тернопіль, 1998.-310с.
4. Блохін Л.М., Буриченко М.Ю. Статистична динаміка систем управління: Підручник. – К.: НАУ, 2003. – 208 с.
5. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Бріцький О.І. Теорія автоматичного управління. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.
6. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., – К.: Либідь, 2007. - 656 с.
7. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підручник/ Ладанюк А.П.,Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. – К.: Аграрна освіта, 2001 – 224 с.
8. Matlab Documentation.[Електронний ресурс]. - Режим доступу: - <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/control>.
9. Simulink Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Вид. 3-є, перероб і доп. / В. Ц. Жидецький. – Львів: УАД, 2006. – 336 с.
10. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці :підруч. 3-є вид., перероб і доп. Львів : УАД, 2006. 336 с.
11. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.
12. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.
13. Конституція України. Київ : Вид-во Паливода А. В., 2019. 76 с.

14. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 12.10.2024).

15. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 01.11.2024).

16. Про систему громадського здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#n840> (дата звернення 01.11.2024).

17. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 28.10.2024).

18. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14> (дата звернення 08.11.2024).

19. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 20.10.2024).

20. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 19.10.2024).

21. Жидецький В. Ц. Охорона праці користувачів комп'ютерів. Львів : Афіша, 2000. 176 с.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Законодавчі та нормативні акти України з питань охорони праці

Охорона праці (ОП) – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [10, 11].

Правові основи законодавства щодо ОП в нашій державі складають: Конституція України; Закони України: «Про охорону праці», «Основи законодавства України про охорону здоров'я», «Про систему громадського здоров'я», «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування»; Кодекс цивільного захисту України (КЦЗ); Кодекс законів про працю України (КЗпП) [10, 11, 12].

В ст. 43 Конституції України [13] записано: «Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується», «Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом», «Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється».

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України). Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, а також оплачуваної щорічної відпустки, встановленням скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час [10, 11, 13].

У тексті ст. 46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках,

передбачених законом [10, 11, 13].

Основоположним законодавчим документом в галузі ОП є Закон України «Про охорону праці» [14], дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації, незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах. Верховна Рада України прийняла Закон України «Про охорону праці» 14 жовтня 1992 року. Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює, за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи, організації, або уповноваженим ним органом, і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні [10, 11, 14].

Аналіз організації ОП в народному господарстві України початку 90-х років минулого століття показує, що система управління цією важливою сферою трудових відносин, форми й методи роботи не відповідали тим процесам, котрі почали набирати сили у напрямі реформування економіки та всієї системи державного та господарського управління. Методи адміністративно-командного впливу на посадових осіб та працівників за порушення вимог ОП вже не діяли, а інших важелів впливу не було. Трудова, виконавська, технологічна дисципліна істотно знижувалися. Невизначеність обов'язків та повноважень з ОП новостворюваних структур, в процесі роздержавлення, приватизації та поступової відмови від галузевого принципу управління народним господарством, ще більше ускладнювала стан справ. Негативний вплив справляла і відсутність законодавчо закріплених обов'язків з ОП для органів державної виконавчої влади різного рівня - від уряду до державних адміністрацій областей, районів, міст та інших територіальних формувань. Тому прийняття Закону України «Про охорону праці» в 1992 році було об'єктивно зумовлене ситуацією, що склалася на той час в нашому суспільстві [10, 11].

Специфічною особливістю українського Закону, що регламентує правову

основу ОП, є високий рівень прав і гарантій робітникам. Вперше в історії держави робітникам було надано право відмовитися від роботи, у випадку існування на виробництві загрози для їхнього життя і здоров'я або життя і здоров'я інших осіб. Розширено права робітників у соціальних гарантіях відшкодування збитків, у випадку пошкодження їх здоров'я на виробництві. Передбачається нова система фінансування охорони праці, формування системи страхування від нещасних випадків і профзахворювань, посилюється централізація планування. Договірне регулювання з питань ОП поставлено на високий рівень, передбачається значна участь громадських інституцій у цьому процесі [10, 11, 14].

З позицій законодавчої регламентації прав і гарантій робітникам, у сфері ОП, та їх забезпечення, Закон України «Про охорону праці» та нормативно-правові документи щодо його реалізації одержали високу оцінку експертів Міжнародної організації праці [10, 11].

До позитивних моментів Закону України «Про охорону праці», безперечно, належить закріплення за державою функцій нагляду та управління ОП. У колишньому СРСР ця функція була покладена на громадські організації, в особі профспілок [10].

Відповідно до ст. 49 Закону України «Про охорону праці», за порушення законодавчих та інших нормативних актів з ОП, створення перешкод для діяльності посадових осіб органів державного нагляду за ОП і представників професійних спілок, винні особи притягаються до дисциплінарної, адміністративної та кримінальної відповідальності, згідно із законодавством [14].

В системі законодавства щодо охорони здоров'я та гігієни праці ключове місце займають Закони України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» [15], від 19 листопада 1992 року, і «Про систему громадського здоров'я» [16], від 6 вересня 2022 року. Вони передбачають розробку й реалізацію адміністрацією підприємств, установ, організацій санітарних та протиепідемічних заходів; здійснення, в необхідних випадках, лабораторного

контролю за дотриманням вимог санітарних норм стосовно рівнів шкідливих факторів виробничого середовища; формування органів та установ державної санепідеміологічної служби, при надзвичайній події чи ситуації, що становить небезпеку для здоров'я населення; відшкодування, в установленому порядку, працівникам та іншим громадянам збитків, яких завдано їх здоров'ю, в результаті порушення санітарного законодавства.

Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [17], від 8 лютого 1995 року, є основоположним у ядерному законодавстві України. Він встановлює пріоритет безпеки людини та навколишнього природного середовища, права і обов'язки громадян у сфері використання ядерної енергії, регулює діяльність, пов'язану з використанням ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання, встановлює також правові основи міжнародних зобов'язань України щодо використання ядерної енергії [10, 11, 17].

Враховуючи міжнародний досвід, був розроблений та набув чинності Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» [18], від 23 вересня 1999 року. Цей Закон гарантує право громадян на соціальний захист, яке проголошується Конституцією України (ст. 46) [13], зокрема, в разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності. Окрім того, він створює правове поле, фінансові й організаційні механізми для успішного розв'язання триєдиного завдання:

- запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням;
- відновлення здоров'я та працездатності потерпілих на виробництві;
- компенсації потерпілим матеріальних збитків, внаслідок ушкодження здоров'я.

КЦЗ України [19], прийнятий 2 жовтня 2012 року і введений у дію з 1 липня 2013 року, замінив собою низку законів, що існували раніше, в тому числі: «Про Цивільну оборону України», «Про пожежну безпеку, «Про аварійно-рятувальні служби», «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» та ін.

КЦЗ дає визначення таких законодавчих термінів, як цивільний захист, аварійно-рятувальна служба, об'єкт підвищеної небезпеки, пожежа, пожежна охорона, стихійне лихо, аварія, катастрофа, надзвичайна ситуація, епідемія, евакуація тощо [19].

Цивільний захист, зокрема, згідно цього Кодексу – це функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього середовища та майна від надзвичайних ситуацій, шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період [11, 19].

КЗпП України [20] – це Кодекс, який регулює в Україні трудові правовідносини. Регулювання таких правовідносин фокусується на процесові оплатного виконання роботи (на відміну від регулювання оплатного виконання роботи в цивільних правовідносинах, яке фокусується передусім на її результатів). Тобто КЗпП регулює процедуру прийняття на роботу і звільнення, час роботи і відпочинку, заохочення та стягнення з працівників, гарантії для останніх із боку роботодавця тощо. Кодекс було прийнято ще в радянський період, 10 грудня 1971 року, і, після відновлення незалежності України, він не приймався в новій редакції, було лише додано та оновлено частину статей. Головним спрямуванням КЗпП зазначено сприяння зростанню продуктивності праці і поліпшенню її якості.

В КЗпП, зокрема, зазначені наступні положення: забороняється залучати до надурочних робіт вагітних жінок і жінок, які мають дітей віком до трьох років (ст. 176), а також осіб молодших 18 років (ст. 192); забороняється застосування праці жінок на важких роботах і роботах із шкідливими або небезпечними умовами праці (ст. 174). В ст. 153 КЗпП зазначено про обов'язковість створення власником підприємства безпечних та нешкідливих умов праці [10, 11, 20].

Основою загальнодержавних нормативних документів в галузі ОП є Нормативно-правові акти з ОП (НПАОП), які до початку 2003 року носили назву Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП), – це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових

норм, обов'язкових для виконання. Законодавством передбачено, що залежно від сфери дії НПАОП можуть бути міжгалузевими і галузевими [10, 11].

Всі НПАОП вносяться до Державного Реєстру. Реєстр ДНАОП, що діють на території України, виданий Держнаглядом охорони праці в 1997 році. З 2003 року ведеться реєстр НПАОП, який постійно поповнюється [11].

Складовою частиною права в галузі гігієни праці є постанови та положення (норми) затверджені Міністерством охорони здоров'я України (наприклад, «Положення про медичний огляд працівників певних категорій», «Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх», «Граничні норми підймання і переміщення важких речей жінками», «Граничні норми підймання і переміщення важких речей неповнолітніми» та ін.), санітарні правила і норми стосовно окремих факторів виробничого середовища, певних технологічних процесів і конкретних виробництв та інші нормативні документи [10, 11, 12].

Правове поле в галузі пожежної безпеки доповнюють Правила пожежної безпеки в Україні, постанови Верховної Ради України, укази та розпорядження Президента України, декрети, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України, рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, прийняті у межах їх компетенції. Забезпечення пожежної безпеки підприємств, установ, організацій покладається на їх власників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачено відповідними договорами [10, 11, 12].

Також нормативну базу складають Державні стандарти України (ДСТУ), Державні будівельні норми (ДБН), Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС), норми технічного проектування та інші нормативні акти, виходячи із сфери їх дії.

Власники підприємств, установ, організацій або уповноважені ними органи розробляють, на основі НПАОП, і затверджують власні положення, інструкції або інші нормативні акти про охорону праці, що діють у межах

підприємства, установи, організації.

До основних нормативних актів підприємства належать:

- Положення про систему управління ОП на підприємстві;
- Положення про службу ОП підприємства;
- Положення про комісію з питань ОП підприємства;
- Положення про роботу уповноважених трудового колективу з питань ОП;
- Положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань ОП;
- Положення про організацію і проведення первинного та повторного інструктажів, а також пожежно-технічного мінімуму;
- Наказ про порядок атестації робочих місць щодо їх відповідності нормативним актам про ОП;
- Положення про організацію попереднього і періодичного медичних оглядів працівників;
- Положення про санітарну лабораторію підприємства;
- Інструкції з ОП для працюючих за професіями і видами робіт;
- Інструкції про порядок зварювання і проведення інших вогневих робіт на підприємстві;
- Загальнооб'єктові та цехові інструкції про заходи пожежної безпеки;
- Перелік робіт з підвищеною небезпекою;
- Перелік посад посадових осіб підприємства, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з ОП;
- Наказ про організацію безкоштовної видачі працівникам певних категорій лікувально-профілактичного харчування;
- Наказ про організацію безкоштовної видачі молока або інших рівноцінних харчових продуктів працівникам підприємства, що працюють у шкідливих умовах;
- Наказ про порядок забезпечення працівників підприємства спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

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

А.2 Шкідливі та небезпечні фактори виробництва в процесі експлуатації системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі

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

Небезпека – це наслідок такої дії певних факторів на людину, яка при їх невідповідності фізіологічним характеристикам людини зумовлює феномен самої небезпеки [10, 11, 12].

Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності працівника [10, 11, 12].

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може привести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника [10, 11, 12].

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

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

визначаються як несприятливі, або дискомфортні, а при вираженому несприятливому ефекті – як екстремальні [10].

Небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Дослідження, проведені фахівцями Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) показали [10, 21], що у професійних операторів та канцелярських службовців, які у своїй діяльності використовують відеотермінали (ВДТ), частіше зустрічаються порушення органів зору, опорно-рухового апарату, центральної нервової, серцево-судинної, імунної та статеві систем, захворювання шкіри. Необхідно зазначити, що вже в перші роки впровадження ВДТ в Європі та США була зафіксована значна кількість скарг операторського персоналу на загальне недомогання, передчасне стомлювання, головний біль, порушення функцій органів зору, які здійснювали несприятливий психофізіологічний вплив на самопочуття та працездатність операторів. Однак, в той час основна увага приділялась розвитку техніки, а людина залишалась без необхідного захисту.

В умовах сучасного виробництва, яке характеризується масовим характером та широким застосуванням комп'ютерної техніки попередні пріоритети зазнали суттєвої трансформації. У центрі уваги вітчизняних та зарубіжних фахівців є питання щодо визначення характеру та умов праці користувачів комп'ютерів, функціональних змін у динаміці виконання трудових завдань, захворюваності та стану здоров'я, розробки засобів захисту [10, 11, 21].

Дослідження медиків-гігієністів, психологів, світлотехніків та фахівців з охорони праці та ергономіки показали, що сучасна професія користувача ВДТ належить до розумової праці, яка характеризується: високою напруженістю зорових функцій; одноманітною позою; великою кількістю стереотипних висококоординованих рухів, що виконуються лише м'язами кистей рук на фоні малої загальної рухової активності; значним нервово-емоційним компонентом, особливо в умовах дефіциту часу; роботою з великими масивами інформації, що викликає активізацію уваги та інших вищих психічних функцій. Крім того, при

роботі з дисплеями на електронно-променевих трубках виникає вплив на користувача цілої низки факторів фізичної природи – електростатичні поля, радіочастотне та рентгенівське випромінювання тощо.

Встановлено [10], що стан організму користувача значно залежить від типу роботи з ВДТ та умов її виконання. В загальному усі користувачі комп'ютерів поділяються на професіоналів та непрофесіоналів. До останніх можна віднести осіб, які використовують комп'ютер епізодично і він є для них не основним, а тільки допоміжним засобом (науково-технічні працівники, бібліотекарі, студенти, школярі, торгівельні працівники та ін.).

Необхідно зазначити, що такий поділ є досить умовним, оскільки дане питання ще не достатньо розроблене і потребує детального вивчення. Проте, зрозуміло, що для кожної категорії користувачів комп'ютерів характерні свої особливості впливу комплексу несприятливих факторів трудового процесу та умов праці.

В Інституті медицини праці Академії медичних наук України проводились дослідження інтенсивності захворюваності осіб, що використовують у своїй роботі комп'ютер. Була вивчена захворюваність працівників з різною тривалістю використання комп'ютерів та характером діяльності самих користувачів. Розглядалися три групи користувачів: у першу увійшли системні інженери-програмісти (тривалість роботи за комп'ютером більше 6 год. на день), у другу – інженери-економісти, які у своїй роботі використовують уже розроблене програмне забезпечення (тривалість роботи від 4 до 6 год.), у третю – математики-постановники завдань, які використовували комп'ютери не більше ніж 2 год. на день. Дані про захворюваність різних груп користувачів комп'ютерів та контрольної групи наведено у Табл. А.1 [21].

Так, здорових серед обстежених користувачів ВДТ виявилось у кілька разів менше, ніж у контрольній групі. З наведених даних видно, що фізіологічні порушення частіше спостерігаються у користувачів, які довше та інтенсивніше використовували ВДТ.

Таблиця А.1 – Рівень захворюваності (%) осіб, тривалість та інтенсивність використання ВДТ у яких була різною

Виявлені результати досліджень	Користувачі ВДТ			Контрольна група
	1 група	2 група	3 група	
Функціональні порушення ЦНС (астенопічний синдром та ін.)	15,6	8,2	6,3	2,7
Хвороби системи кровообігу	57,7	60,3	29,2	23,0
Хвороби органів дихання	20,0	21,7	11,2	4,1
Хвороби органів травлення	40,0	38,6	29,8	18,9
Здорові	6,7	20,1	29,8	46,6

Крім того, за даними ряду авторів у користувачів, які інтенсивно використовують комп'ютер в умовах значних розумових напружень досить часто (40-70%) виникають психологічні та поведінкові порушення (нервозність, роздратування, тривога, нерішучість, замкнутість тощо) [10, 11, 21].

Працівниками кафедри охорони праці та екології Української академії друкарства та Українського науково-дослідного інституту поліграфічної промисловості ім. Т. Шевченка проведені дослідження умов праці та особливостей трудового процесу на комп'ютеризованих робочих місцях низки підприємств, що займаються видавничо-поліграфічною діяльністю (редакції, видавництва, друкарні). Було, зокрема, встановлено, що за суб'єктивними показниками (скарги) робота з ВДТ викликає різноманітні симптоми негативного впливу на здоров'я користувачів. В Табл. А.2 та Табл. А.3 наведені характеристики скарг операторів комп'ютерного набору та редакторів і коректорів, які в процесі своєї роботи використовували комп'ютер [21].

Результати досліджень наглядно ілюструють, що у працівників різних професійних груп, що працюють за ВДТ комп'ютера переважають “очні” симптоми. Часті також головний біль та загальна втома, особливо в кінці робочого дня. Причому у коректорів та редакторів такі симптоми зустрічаються частіше. Досить значний відсоток скарг пов'язаний з опорно-м'язовою системою (біль в області спини та шиї, втома м'язів рук), особливо в операторів комп'ютерного набору. Характерним також є той факт, що чим більший стаж роботи за комп'ютером, тим очевидніший його несприятливий вплив на здоров'я

користувача.

Таблиця А.2 – Характеристика скарг операторів комп'ютерного набору

№ пп.	Симптоми впливу комп'ютера	Кількість працівників, що повідомили про симптоми від загальної кількості опитаних (%)		
		Стаж роботи		
		до 1 року	1-3 роки	3-5 років
1	Біль та різь в очах	58,8	67,5	88,7
2	Головний біль	17,6	23,3	42,5
3	Біль в області спини та шиї	18,5	21,2	32,2
4	Загальна втома	29,4	25,7	42,6
5	Втома м'язів рук	15,1	22,3	38,7
6	Підвищена роздратованість	11,7	21,6	35,3
7	Порушення нічного сну	8,3	15,5	20,6
8	Погіршення пам'яті	7,2	12,3	17,1

Таблиця А.3 – Характеристика скарг редакторів і коректорів, які в процесі роботи використовували комп'ютер

№ пп.	Симптоми впливу комп'ютера	Кількість працівників, що повідомили про симптоми від загальної кількості опитаних (%)		
		Стаж роботи		
		до 1 року	1-3 роки	3-5 років
1	Біль та різь в очах	50,2	64,3	84,6
2	Головний біль	24,7	42,4	55,7
3	Біль в області спини та шиї	12,1	17,7	22,5
4	Загальна втома	32,2	47,3	56,3
5	Втома м'язів рук	11,3	17,5	21,8
6	Підвищена роздратованість	18,4	32,8	44,3
7	Порушення нічного сну	12,7	24,3	32,4
8	Погіршення пам'яті	10,3	21,5	30,5

Під час проведення досліджень на багатьох комп'ютеризованих робочих місцях у видавництвах, редакціях та друкарнях виявлено відхилення від гігієнічних та ергономічних вимог, що регламентовані відповідними нормами.

Так, оператори комп'ютерного набору часто працюють у несприятливих мікрокліматичних умовах, при недостатньому природному та нераціональному штучному освітленні, підвищеному рівні шуму тощо. Окрім того, комп'ютеризовані робочі місця, як правило, не оснащені спеціальними виробничими меблями, які мають необхідні регулювання для забезпечення

оптимальної робочої пози користувача. Сам же трудовий процес характеризується значними психоемоційними навантаженнями, особливо при правці та коректурі тексту, монотонною, загальною гіподинамією на фоні значних фізичних навантажень, що припадають лише на кисті рук (оператор комп'ютерного набору набирає за зміну залежно від кваліфікації та складності тексту 25-40 тисяч знаків). Враховуючи несприятливий вплив цілого комплексу різноманітних виробничих факторів у користувачів можуть розвинути певні розлади здоров'я, що пов'язані з роботою за комп'ютером.

При роботі з ВДТ основне навантаження припадає на всі елементи зорового аналізатора. Ще в перші роки експлуатації комп'ютерів з відеотерміналами з'явилися масові скарги на порушення зору, під яким розуміють здатність сприймати величину, форму та колір предметів, їх взаємне розміщення та відстань між ними. Проведені у 70-ті роки обстеження у США [10, 21] встановили, що майже у половини професійних операторів ВДТ є різноманітні порушення зорової функції. Враховуючи виняткову важливість даного питання, з огляду на масовий характер сучасної професії користувача комп'ютера, в різних країнах світу були проведені фундаментальні дослідження щодо впливу відеотермінала комп'ютера на очі та зір користувача. Однак, необхідно зазначити, що опубліковані результати численних досліджень не завжди відповідним чином корелюються між собою. Так в опублікованому в 1985 році звіті Національної ради з науки (США) зроблено висновки про те, що такі захворювання операторів комп'ютерів, як глаукома, катаракта, запалення райдужної оболонки ока не пов'язані з роботою за ВДТ. В той же час, за даними Б. Г. Кнаве електромагнітне випромінювання від ВДТ може викликати катаракту, тобто помутніння кришталика ока.

Сучасні медичні обстеження кількох десятків тисяч професійних користувачів комп'ютерів, проведені у Німеччині та Італії показали, що частота порушень зору в них на 15-20% більша ніж серед працівників, які в своїй діяльності не використовують ВДТ. Наукова група Національної ради наукових досліджень США сформулила термін «астенопія», який визначається як «будь-

які суб'єктивні зорові симптоми чи емоційний дискомфорт, що є результатом зорової діяльності». Симптоми астенопії були класифіковані на «очні» (біль, печія та різь в очах, почервоніння повік та очних яблук, ломоти у надбрівній частині та ін.) та «зорові» (пелена перед очима, подвоєння предметів, мерехтіння, швидка втома під час зорової роботи та ін.) [10, 11, 12, 21].

А.3 Заходи з усунення або зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів виробництва в процесі експлуатації системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі

Результати досліджень [10, 21] показали, що виникнення одного з істотних джерел негативних фізіологічних впливів на користувачів ВДТ пов'язане з дискомфортними зоровими умовами через неправильно спроектоване освітлення: пряме та відбите від екранів, бліковість, вуалюючи відбиття, несприятливий розподіл яскравості в полі зору, невірна орієнтація робочого місця відносно світлових отворів. Погана якість символів, що представлені на екрані, також може викликати зоровий дискомфорт, бути стресовим фактором тощо.

Вимоги до освітлення для візуального сприймання користувачами інформації з двох різних носіїв (з екрана ВДТ та паперового носія) різні. Надто низький рівень освітленості погіршує сприймання інформації при читанні документів, а надто високий призводить до зменшення контрасту зображення знаків на екрані [10, 11, 21]. Тому в полі зору користувача має бути забезпечений відповідний розподіл яскравості. Відношення яскравості екрана ВДТ до яскравості оточуючих цього поверхонь не повинно перевищувати у робочій зоні 3:1 [21].

Наближено можна вважати, що при 10% зменшенні освітленості працездатність знижується на 1%. Коли за характером роботи вимагається комбінація цих двох носіїв інформації, освітленість можна варіювати від 300 лк до 700 лк, причому чим рідшою є зміна полів зору в процесі роботи (з екрана на

документ та навпаки), тим вищим може бути рівень освітленості. 300-500 лк – оптимальна освітленість робочих приміщень для роботи з ВДТ [18, 21]. Стрибки яскравості при зміні колів зору мають бути мінімальними, тобто інтенсивність освітлення поверхні, де знаходяться рукописи та документи, не повинна перевищувати яскравості екрана дисплея.

Згідно з СанПіН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гігієнічні вимоги до персональних електронно-обчислювальних машин і організація роботи», освітлення у приміщеннях з ВДТ має бути змішаним (природним та штучним). Доцільно щоб орієнтація світлових отворів для приміщень з ВДТ була на північ. Природне освітлення повинно здійснюватися у вигляді бічного освітлення та відповідати нормальним рівням, за ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

При природному освітленні слід передбачати наявність сонцезахисних засобів, що знижують перепади яскравості між природним світлом та свіченням екрана ВДТ. З цією метою можна використовувати плівки з металізованим покриттям або жалюзі з вертикальними ламелями, що регулюються.

Розташувати робоче місце, обладнане ВДТ, необхідно таким чином, щоб в поле зору користувача не потрапляли вікна або освітлювальні прилади; вони не повинні знаходитися й безпосередньо за його спиною. Слід добиватися зменшення відбиття на екрані від різних джерел штучного та денного світла. Коли штучне освітлення змішується з природним, рекомендується використовувати лампи, за спектральним складом найбільш близькі до сонячного світла. Бажано обирати світильники з розсіювачами, а всі блискучі деталі освітлювального обладнання, які можуть потрапити в поле зору, мають бути замінені на матові.

Штучне освітлення у приміщеннях з ВДТ треба здійснювати у вигляді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які слід розташовувати над робочими поверхнями у рівномірно-прямокутному порядку. Для запобігання засвітленню екранів ВДТ прямими світловими потоками лінії світильників повинні бути розташовані з достатнім бічним зміщенням відносно рядів робочих

місць або зон, а також паралельно до світлових отворів. Бажане розміщення вікон з одного боку робочих приміщень. При цьому кожне вікно повинно мати світлорозсіюючі штори з коефіцієнтом відбивання 0,5...0,7 [21].

На робочому місці має бути забезпечена рівномірна освітленість за допомогою переважно відбитого або розсіяного світлорозподілу. Світлових відблисків з клавіатури, екрана та від інших частин ВДТ у напрямі очей користувача не повинно бути. Для їх виключення необхідно застосувати спеціальні екранні фільтри, захисні козирки або розташовувати джерела світла паралельно напрямку погляду на екран ВДТ з двох його сторін. Дискомфорт від відбиття світла, зменшується при збільшенні яскравості екрана та зниженні рівня навколишнього освітлення.

При нераціональній орієнтації екрана на ньому виникає удаване зображення. Психологічно воно розташовується позаду екрана. Наприклад, відображення особи користувача звичайно знаходиться на відстані близько 22 см позаду екрана. В принципі, необхідні різні рівні акомодатії, щоб спостерігати текст на екрані та отримане відображення; це може подразнювати та, ймовірно, викликати дискомфорт.

Проведемо розрахунок системи штучного виробничого освітлення для приміщення машинного залу, де працюють оператори системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі.

А.4 Розрахунок системи виробничого освітлення для приміщення машинного залу, де працюють оператори системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі

Машинний зал має розміри:

- довжина $A = 24$ м;
- ширина $B = 9$ м;
- висота $H = 3$ м.

Підвісна стеля обладнана світильниками УВЛН2 (чотирилампові) із люмінесцентними лампами ЛБ-40. Коефіцієнти відбитка світлового потоку від

стелі, стін та підлоги відповідно дорівнюють: $r_p = 60\%$, $r_s = 50\%$, $r_{pol} = 30\%$.
Визначимо необхідну кількість світильників при загальній системі освітлення.

Розрахунок проведемо за методикою, викладеною у [11, 12].

Для машинних залів рівень робочої поверхні над підлогою 0,8 м. При цьому $h = 2,2$ м. У світильників УВЛН найвигідніше співвідношення $\lambda = L/h = 1,4$. Тоді відстань між рядами світильників буде обчислюватись за формулою:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,2 \approx 3 \text{ м.} \quad (\text{A.1})$$

Розташовуємо світильники вздовж довгого боку приміщення. Відстань між стінами і крайніми рядами світильників $l \approx (0,3 \dots 0,5) \cdot L$. При ширині $B = 9$ м. знаходимо кількість рядів за формулою:

$$n = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (\text{A.2})$$

або

$$n = \frac{9 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 3.$$

Для машинних залів при загальному освітленні норма освітленості дорівнює $E = 400$ лк.

Номінальний світловий потік лампи ЛБ-40 становить $\Phi_n = 3120$ лм.

Отже, можемо записати для світильника:

$$\Phi_{св} = 4 \cdot \Phi_n. \quad (\text{A.3})$$

$$\Phi_{св} = 4 \cdot 3120 = 12480 \text{ лм.}$$

Визначаємо необхідну кількість світильників у ряду за співвідношенням:

$$N = (E \cdot K_z \cdot S \cdot z) / (n \cdot \Phi_{св} \cdot \eta \cdot \gamma), \quad (\text{A.4})$$

де K_z – коефіцієнт запасу, що враховує заповнення світильників та знос джерел світла в процесі експлуатації; для помешкань ОЦ, що освітлюються люмінесцентними лампами ($K_z = 1,4 \dots 1,5$, за умови чищення світильників не рідше двох разів у рік);

S – площа, що освітлюється, м²;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення ($z = 1,1 \dots 1,2$);

n – кількість рядів світильників;

γ – коефіцієнт затінення, який запроваджується для помешкань із фіксованим положенням працюючих (приймається рівним $\gamma = 0,8 \dots 0,9$);

η – ККД (визначають по довідниковим даним у залежності від типу світильника, коефіцієнтів відбитка підлоги, стін, стелі, індексу приміщення і).

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{216}{2,2 \cdot (24 + 9)} \approx 3,0. \quad (\text{A.5})$$

Звідси, за довідниковими даними [11, 21], обираємо $\eta = 0,4$.

Підставивши числові дані до співвідношення (A.4), одержимо:

$$N = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 216 \cdot 1,1}{3 \cdot 12480 \cdot 0,4 \cdot 0,8} = 12 \text{ шт.}$$

При довжині одного світильника $l_{св} = 1,33$ м, загальна довжина світильників:

$$N_{св} = l_{св} \cdot N = 1,33 \cdot 12 = 16 \text{ м.} \quad (\text{A.6})$$

Залишаємо між світильниками відстані:

$$R = (A - N_{св}) / (N - 1) = (24 - 16) / 11 = 0,73 \text{ м.} \quad (\text{A.7})$$

Таким чином, для забезпечення необхідної норми штучного освітлення для приміщення машинного залу, де працюють оператори системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі необхідне виконання наступних вимог:

- відстань між рядами світильників – 3 м;
- кількість світильників – 12 шт;
- загальна довжина світильників – 16 м;
- відстань між світильниками – 0,73 м;
- кількість світильників в ряду – 3 шт.

Схема розташування світильників у приміщенні машинного залу, де працюють оператори системи автоматичного керування температурою суміші в

змішувачі при виробництві карамелі, наведена на Рис. 5.1.

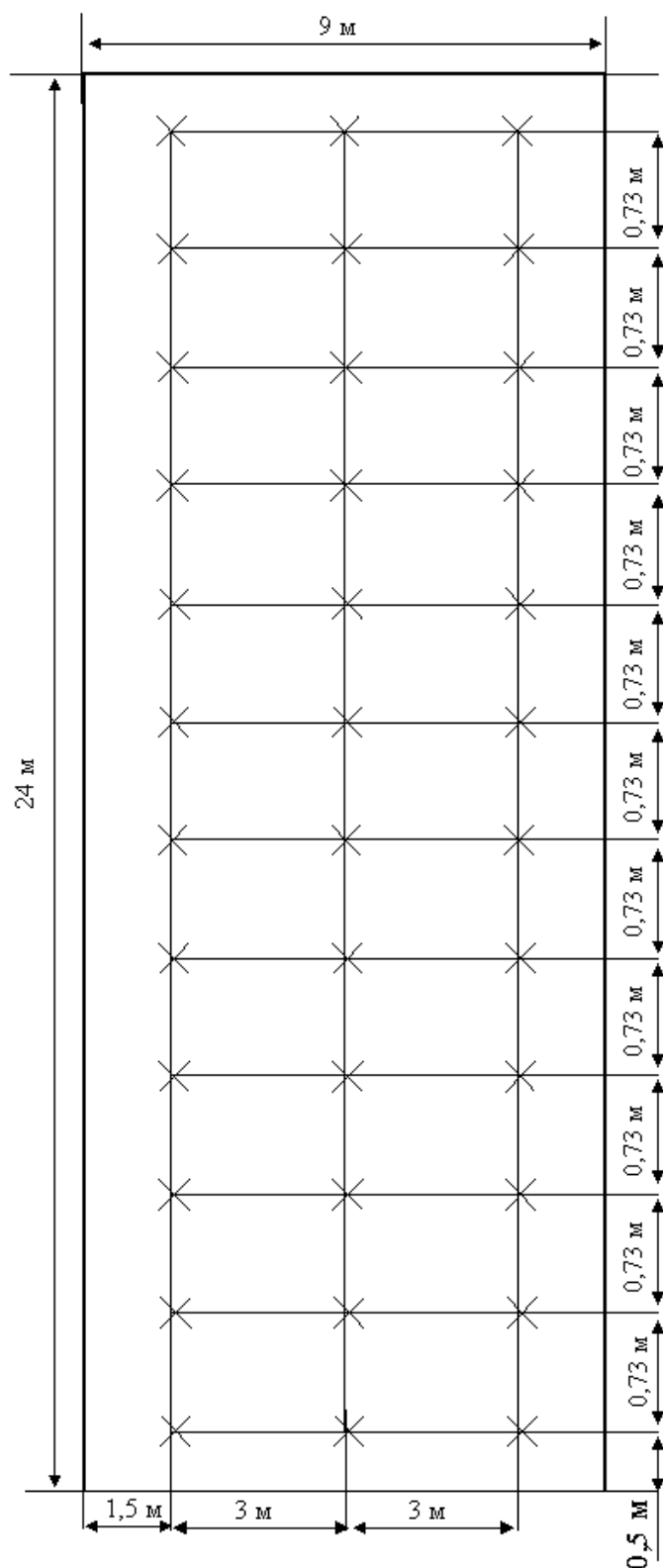


Рисунок А.1 – Схема розташування світильників у приміщенні машинного залу, де працюють оператори системи автоматичного керування температурою суміші в змішувачі при виробництві карамелі