

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, цеху, факультету (відділення))

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (спец. метод. пер. логот. комісії))

## *Пояснювальна записка*

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему «Удосконалення САК технологічної лінії виготовлення печива на  
ТОВ «Домінік Ко»»

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр спеціальності, напрям підготовки, спеціальності)

Бідаш Р. О.

(прізвище та ініціал)

Керівник Копоненко Д.В.

(прізвище та ініціал)

Рецензент Шефер О.В.

(прізвище та ініціал)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки

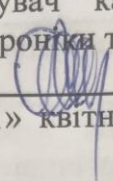
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики,  
електроніки та телекомунікацій

 О.В. Шефер

«01» квітня 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

*БІДАШУ Роману Олександровичу*

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення САК технологічної лінії виготовлення печива на ТОВ «Домінік Ко»»  
керівник проекту (роботи) Кононенко Дмитро Вікторович  
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03. 03. 2025 року  
№ 306/1– ф,а.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Вихідними даними до кваліфікаційної роботи є матеріали зібрані під час проходження практики. Технічна документація до технологічного обладнання.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технічна характеристика об'єкта. Стадії технологічного процесу. Характеристика комплексів обладнання. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації. Вибір виконавчих механізмів. Вибір машин та автоматів для технологічної лінії. Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизованої системи керування. Розрахунок системи автоматичного регулювання температури в тунельній печі в зоні випікання печива. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

Автоматизована система керування лінії виготовлення печива на ТОВ «Дом Ко». Первинні перетворювачі встановлені на місці та на щиті. Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування основним технологічним процесом виготовлення багатокомпонентного тіста. Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування додатковим технологічним процесом випікання печива. Програма функціонування автоматизованої системи контролю виготовлення печива. Результати моделювання САК температури печі. Удосконалений алгоритм технологічного процесу виготовлення печива заданої якості. Залежності технологічних параметрів від параметрів автоматизованого електропривода. Висновки

6. Дата видачі завдання 01.04.2025 р.

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
1	Технічна характеристика об'єкта. Стадії технологічного процесу.	22.04.25	I	20%	Пл. 1
2	Характеристика комплексів обладнання. Вибір машин та автоматів для технологічної лінії.	08.05.25		40%	Пл. 3
3	Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації. Вибір виконавчих механізмів.	22.05.25	II	60%	Пл. 5
4	Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизованої системи керування. Розрахунок системи автоматичного регулювання температури в тунельній печі в зоні випікання печива.	30.05.25		80 %	Пл. 7
5	Робота над висновками та оформлення кваліфікаційної роботи.	10.06.25	III	100%	Пл. 9-1

Студент

(підпис)

Бідаш Р.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кононенко Д.В.

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА.....	9
1.1. Характеристика продукції, сировини напівфабрикатів .....	9
1.2 Стадії технологічного процесу.....	9
1.3 Характеристика комплексів обладнання.....	11
1.4 Вибір машин та автоматів для технологічної лінії.....	14
1.4.1. Вибір гвинтового живильника.....	15
1.4.2. Вибір пластинчастого насосу.....	15
1.4.3. Вибір вакуумного емульсатора-гомогенізатора.....	16
1.4.4 Вибір тістомісильної машини.....	17
1.4.5 Вибір ламінатно-розкатного пристрою.....	19
1.4.6 Вибір розкатки тіста.....	21
1.4.7 Вибір тунельної печі.....	22
1.4.8 Вибір холодильного тунелю.....	22
1.4.9 Вибір вертикальної пакувальної машини.....	23
1.5 Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування.....	24
2. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	27
2.1. Вибір датчиків та їх технічна характеристика.....	27
2.1.1. Дозатор об'ємний бункерний DELTAMATIC D90E.....	27
2.1.2. Ваговий дозатор HASTAMAT VBS-6.....	28
2.1.3. Датчик маси SCAMIE AG.....	29
2.1.4. Датчик температури (KS-2).....	29
2.1.5. Тягонапоромір ТНМ-Ет-8м.....	31
2.1.6. Датчик вологості ТЕРА ДВ - 02 – 608.....	31
2.1.7. Датчик рівня (рівнемір ультразвуковий поплавковий РУ-ПТЗ).....	32
2.2 Вибір виконавчих механізмів.....	32
2.2.1 Частотний перетворювач CIMR-J7.....	34
2.2.2 Вибір магнітних пускачів.....	42

2.2.3. Обґрунтування та вибір терморегулятора з аналоговим керуванням.....	46
4.2.4. Сервопривід АМЕ 55 Danfoss.....	50
4.2.5. Засувка дросельна газова ЗДСПЕ-50.....	51
4.2.6. Сервопривід HERZ 1 7710.....	52
4.3. Обґрунтування вибору мікропроцесорних засобів.....	53
<b>3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>66</b>
3.1. Обґрунтування вибору засобів автоматизації.....	66
3.2. Обґрунтування вибору функціональної схеми.....	67
<b>4. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ТУНЕЛЬНІЙ ПЕЧІ В ЗОНІ ВИПІКАННЯ ПЕЧИВА.....</b>	<b>72</b>
4.1. Визначення передаточної функції САР.....	72
4.2. Визначення стійкості системи за критерієм Найквіста.....	77
4.3. Побудова логарифмічних характеристик.....	79
4.4. Побудова графіків перехідного процесу.....	82
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>87</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>88</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>91</b>

## ВСТУП

Провідним комплексом виробництва печива є отримання багатошарового пласта тіста. Цей процес пов'язаний з формуванням двох типів структур: внутрішньої структури шарів тіста і багатошарової макроструктури пласта.

Формування внутрішньої структури шарів відбувається при замісі тіста, коли створюються умови для повнішого набухання білків муки. Цьому сприяє мала кількість цукру і жиру в тісті, велика вологість, підвищена температура тіста і тривалий процес. Такий режим замісу тіста створює оптимальні умови для утворення в тісті губчастої структури клейковини, яка спричиняє специфічні фізичні властивості тіста, — пружність і еластичність.

Пружні властивості тіста істотно впливають на процес формування тістових заготовок. При додатку навантаження заготовки приймають нову форму, але не здатні зберегти після зняття навантаження. Пружність тіста виявляється в тому, що заготовки після зняття навантаження миттєво відновлюють колишню форму, а унаслідок еластичності ця форма відновлюється поступово протягом деякого проміжку часу.

У зв'язку з тим, що ізотропна внутрішня структура пружного тіста не володіє пластичністю, виникає необхідність отримання ще одного напівфабрикату, з якого можна відформувати тістові заготовки для випічки виробів. Таким напівфабрикатом є багатошаровий пласт, утворений в результаті багатократноплющення і складання шарів тіста.

При формуванні багатошарового пласта забезпечують отримання анізотропної макроструктури. Для цього пласт тіста піддається плющенню з правильним чергуванням поворотів тіста на кут  $90^\circ$ . Напруга, що виникає при цьому, рівномірно розподіляється по подовжніх і поперечних осях пласта. Таким чином, анізотропна макроструктура пласта забезпечує як динамічну, так і статичну рівновагу сил, що викликають деформації тістових заготовок. Післязняття навантаження відбувається однакова зміна довжини і ширини заготовок без істотного спотворення форми.

У пласті тіста після плющення, тобто зняття навантаження, відбувається релаксація — зменшення і вирівнювання внутрішньої напруги, що викликає деформацію тістових заготовок. Релаксація тіста відбувається і тоді, коли воно знаходиться у спокої післяплющення пласта. Залежно від кількості клейковини в тісті сумарна тривалість його витримки складає від 2-х до 3-х год. В результаті пружна складова деформації зменшується, а пластична складова зростає.

В умовах безперервно-поточкового виробництва виникає необхідність скорочення тривалості витримки тіста. Для цього в печивонетісто на хімічних розпушувачах вводять добавки, що швидко ослабляють пружність клейковини, наприклад піросульфід натрію. У дріжджове печивоне тісто додають ферментні препарати (ензими), які прискорюють процес бродіння тіста, ферментативний розпад клейковини і ослаблення її пружності.

Багатократне плющення і складання пластів зтяжного і печивоного тіста формують його шарувату і пористу структуру. При плющенні відбувається рівномірний розподіл повітря: надлишок повітря видаляється, крупні повітряні порожнини подрібнюються, завдяки чому тісто набуває дрібнопористої структури. Одним з ефективних способів поліпшення якості листкового тіста є введення жирового прошарку між пластами тіста при складанні. Жир перешкоджає склеюванню пластів, які при розтяганні перетворюються на тонкі шари.

Слід зазначити, що навіть після тривалої обробки печивоного тіста прояв його пружних властивостей зберігається. Тому тістові заготовки можливо одержати тільки з багат шарового пласта, що калібрується, методом різання. Заготовки мають просту конфігурацію (круг, квадрат і т.п.), на їх поверхні за допомогою гострого інструменту можна зробити лише простий малюнок або напис. З метою виходу частини газів, що утворюються при розкладанні розпушувачів, і видалення вологи тістові заготовки необхідно проколювати шпильками. При недостатній кількості проколовши печиво виходить роздутим.

Для випічки печивоу застосовується температурний режим випічки-сушки, який відрізняється більшою тривалістю і пониженою температурою в порівнянні з випічкою інших видів печива. Це пояснюється тим, що в тісті міститься більше вологи, що підлягає випаровуванню. Зниження температури дозволяє збільшити тривалість переміщення вологи від внутрішніх шарів до поверхневих, оскільки з підвищенням температури прискорюються структурні зміни в тісті, що перешкоджають видаленню вологи.

Тому процес випічки ділять на п'ять періодів, яким відповідають п'ять температурних зон пекарної камери з певними значеннями відносної вологості. Конкретні значення параметрів режиму випічки залежать від продуктивності печі, рецептури і вологості тіста і інших чинників.

# 1.ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА

## 1.1. Характеристика продукції, сировини і напівфабрикатів

Печиво - різновидпечива, що має анізотропну шарувату структуру, що утворюється при випічці заготовок, вирізаних з багатошарового пласта тіста.

Асортимент печивоу розділяють за способами приготування тіста: на дріжджах, на хімічних розпушувачах або при спільному застосуванні цих компонентів.

Смакові якості і засвоюваність печивоу організмом людини обумовлені тим, що готові вироби відрізняються крихкістю і розсипчастою структурою, а також здатністю намокати - здатністю поглинати значну кількість води. Хімічний склад печива обумовлений складом сировини: пшенична мука, крохмаль, цукор, жири і ін. У складі печивоу висока частка пшеничної муки.

Печиво краще виробляти з муки із слабкою клейковиною. При використанні муки з сильною клейковиною печиво виходить деформованим, з нерівною поверхнею і нерідко зпухирями.

Основним напівфабрикатом виробництва є багатошаровий пласт, утворений в результаті плющення (вальцювання) пружного (затяжного) тіста в тонкі шари, складання цих шарів і повторного їх плющення. З цього пласта ротаційним способом вирізують заготовки і випікають з них готові вироби.

Печиво заздалегідь відважують порціями і фасують насипом в пакети зфольги або полімерної плівки.

## 1.2.Стадії технологічного процесу

Виробництво печивоу можна розділити на наступні основні стадії і операції:

1) підготовка сировини до виробництва: зберігання, темперування, змішування, просіювання сипких або фільтрування рідких видів сировини; подрібнення і плавлення твердих жирів; приготування розчинів харчових

добавок: солі, хімічних розпушувачів і др.; приготування дріжджової розводки;

- 2) дозування рецептурних компонентів;
- 3) приготування емульсії;
- 4) заміс тіста;
- 5) вилежування печивоного тіста на хімічних розпушувачах для релаксації;
- 6) вистоювання печивоного дріжджового тіста для бродіння і ферментації;
- 7) приготування багат шарового пласта шляхом плющення і складання шарів тіста;
- 8) калібрування багат шарового пласта і формування тістових заготовок;
- 9) випічка і охолодження тістових заготовок;
- 10) упаковка готових виробів в споживчу і торгову тару.

Початкові стадії технологічного процесу виробництва виконуються за допомогою комплексів обладнання для зберігання, транспортування і підготовки до виробництва муки, крохмалю, цукру, жиру і інших видів сировини. Для зберігання сировини використовують мішки, металеві ємкості і бункери. Сипкі компоненти в мішках транспортують за допомогою навантажувачів або без тари - норіями, ланцюговими і гвинтовими конвеєрами. Рідкі компоненти і напівфабрикати перекачують насосами.

Заміс печивоного тіста виконується в машинах тістомісилок періодичної дії, в яких рецептурні компоненти дозують за допомогою вагових дозаторів і об'ємних мірників. Для вистоювання печивоного дріжджового тіста застосовують підкатні діжі або бродильні апарати безперервної дії.

Провідний комплекс лінії включає тістовальцюючий агрегат безперервної дії — ламінатор, систему калібруючих валків і формуючу машину з ріжучим ротором.

Кінцеві стадії технологічного процесу виконуються на комплексі устаткування, що включає кондитерську піч, тунельний холодильний конвеєр, фасувальні машини і транспортуючі пристрої.

### 1.3. Характеристика комплексів обладнання

Рідкі рецептурні компоненти (молоко, меланж і ін.) після фільтрації зберігаються у витратних ємності 5, з яких насосами бзавантажуються в об'ємні дозатори (мірники) 2. Блоки жиру розтоплюють і після фільтрації завантажують у витратну ємність 9, забезпечену нагрівальною сорочкою. Постійна температура підтримується завдяки пропусканню через сорочку теплої води необхідної температури. З цієї місткості розплавлений жир перекачують насосом 7 в бункерний дозатор 1 або шляхом перемикання кранів 8 здійснюють циркуляцію жиру. Вона необхідна в перервах між операціями дозування жиру, а також, якщо температура жиру знаходиться за межами оптимального інтервалу 38...42 °С.

Просіяний цукор живильником 4 завантажують в бункерні ваги 3. Для приготування печивонного тіста зазвичай застосовують цукор-пісок, оскільки в порівнянні з цукровим тістом в печивонному міститься більше вологи, збільшені температура і тривалість замісу, що покращує умови розчинення кристалів цукру. Проте застосування цукрової пудри переважне.

Мука з різних партій з різною якістю клейковини, крохмаль і подрібнені відходи розміщуються в бункерах 16. Для приготування рецептурної суміші ці сипкі компоненти в необхідних співвідношеннях вивантажуються з бункерів 16 за допомогою системи живильників 17, зважуються на вагах 18 і накопичуються у виробничому бункері 19. З нього при подачі стислого повітря в продуктопровід 21 і при перемиканні роторного живильника 20 зважена порція сипкої борошняної суміші подається в завантажувальну воронку машини тістомісилки 13.

Емульсію готують в емульгасорі 10, в який послідовно завантажують рецептурні компоненти при безперервному обертанні місильної лопаті. Спочатку завантажують воду, рідкі компоненти і цукор, перемішують їх протягом 2... 3 хв до цілковитого розчинення цукру, а потім додають жир, хімічні розпушувачі і ароматизатори, продовжуючи перемішувати ще 3...4 хв.

Готову емульсію зливають у витратний бак 11, в якому вона постійно перемішується при температурі 38...40 °С. Температуру регулюють вбудованим електронагрівачем. Насосом 12 емульсію в місильну машину 13 або шляхом перемикання кранів здійснюють циркуляцію емульсії в баку 11.

Замість тіста проводиться в машині тістомісилки періодичної дії 13. Замість печивонного дріжджового тіста в машині 13 починається із завантаження дріжджової розводки, потім при обертанні місильних лопатей протягом 4...6 хв одночасно і паралельно подають порції емульсії і борошняної сипкої суміші. Залежно від рецептури і властивостей сировини одержують дріжджове тісто вологістю 26...30 % при температурі 26...30 °С протягом 15... 18 хв.

Готове дріжджове тісто вивантажують з машини 13 в підкатні діжі 14, з яких тісто за допомогою підйомника 15 через воронку 26 завантажується на пластинчастий конвеєр 22 бродильного апарату безперервної дії 23. Цей апарат забезпечений автоматичною системою підтримки оптимальних параметрів повітряного середовища в бродильній камері: температура 30°C ±3°C і відносна вологість 75%±5 %. Для зволоження тіста вмонтовано форсунку 24, що розпилює воду при необхідності. Для забезпечення постійної температури встановлено калорифер 25. Конвеєр 22 забезпечує переміщення тіста від входу до виходу апарату 23 протягом 2 год, необхідних для протікання процесів бродіння і ферментації тіста. Готове печивоне дріжджове тісто з конвеєра 22 поступає в приймальну воронку ламінатора 28.

Тістовальцювальна машина безперервної дії — ламінатор 28 — складається з декількох пар гладких і рифлених валків і системи стрічкових конвеєрів, змонтованих на загальній станині, забезпечених регулювальними пристроями і контрольно-вимірювальними приладами. Ламінатор має дві приймальні воронки, дном кожною з них є пара валків. Вони прокатують дві стрічки тіста, які поступають на горизонтальний конвеєр, накладаються один на одного і вилежуються. Потім тричі повторюється операція плющення і вилежування двох шарів стрічки тіста, при цьому товщина шарів істотно зменшується. На

виході зламінатора виконується операція багатократного шарування одержаної стрічки з розворотом на  $90^\circ$  і формуванням багатошарового пласта тіста.

Цей пласт калібрується по товщині на тісторозкатувальному столі 29 за допомогою двох пар валків 30. Товщина багатошарового пласта зменшується і доводиться до розміру, що становить 0,5.. 0,3 товщини готових виробів. Остання пара валків має гладкі шліфовані поверхні і додає тісту глянець.

Для протікання еластичної деформації прокатаного пласта потрібний певний проміжок часу, тому пласт поступає на конвеєр, довжина якого підбирається залежно від фізичних властивостей тіста. Щоб тісто не прилипало до валків, на верхню поверхню пласта наносять муку апаратом 31.

Далі конвеєр подає багатошаровий калібрований пласт тіста під формуючий ротор 32. Він є циліндром діаметром близько 80 мм, на якому закріплені матриці з ріжучими кромками. У корпус кожної матриці встановлено денце, до якого кріпляться трафарети з малюнком і написом, а також шпильки для проколювання тістової заготовки. Після формування заготовок на поверхню тіста наносять сіль та спеції апаратом 33 для надання смакових якостей печивоу.

Відформовані тістові заготовки перекладаються без порушення рядності з конвеєра на сітчастий конвеєр 35 печі 36. Просічена стрічка багатошарового пласта тіста приймається підбираючим конвеєром і передається на поворотний конвеєр 34 для завантаження в одну з приймальних воронок ламінатора 28.

Випічка дрібнопечивоу продовжується 2,5...3,5 хв при наступних температурах по зонах ( $^\circ\text{C}$ ): 150...180; 200...215; 295...305; 275...285; 230...245  $^\circ\text{C}$ . Конкретні значення параметрів випічки залежать від продуктивності печі, рецептури, розмірів тістових заготовок, вологості тіста і готових виробів і інших чинників.

Для підтримки заданих значень вологості при випіканні встановлено розпилювальну камеру 37 із вмонтованою форсункою 38. Система запалювання газової суміші у камері згорання є досить складною, так як мусить відповідати всім нормам по техніці безпеки. Газ в камеру подають по трубопроводу через

форсунку 39, запальник 40 служить для вироблення постійної іскри, яка у свою чергу підпалює газову суміш запалюючим пристроєм 41.

Випечене печиво передається на тунельний охолоджуючий конвеєр 42. На ньому при необхідних контрольованих параметрах повітряного середовища тунелю протягом 4...5 хв виробі охолоджуються до температури 40...45 °С.

Охолоджені готові вироби знімаються на конвеєр 43 для подальшої упаковки. Пристрій лінії передбачає два варіанти упаковки продукції залежно від асортименту виробів. Печивоне печиво завантажується у фасувальну машину 44 для упаковки в пакети і картонні коробки. Короби з готовою продукцією укладають на візки і відправляють на склад.

## **1.4. Вибір машин та апаратів для технологічної лінії**

### **1.4.1. Вибір гвинтового живильника**

Він призначений для транспортування сипучих матеріалів розміром не більше 2 мм у ваговій дозатор.

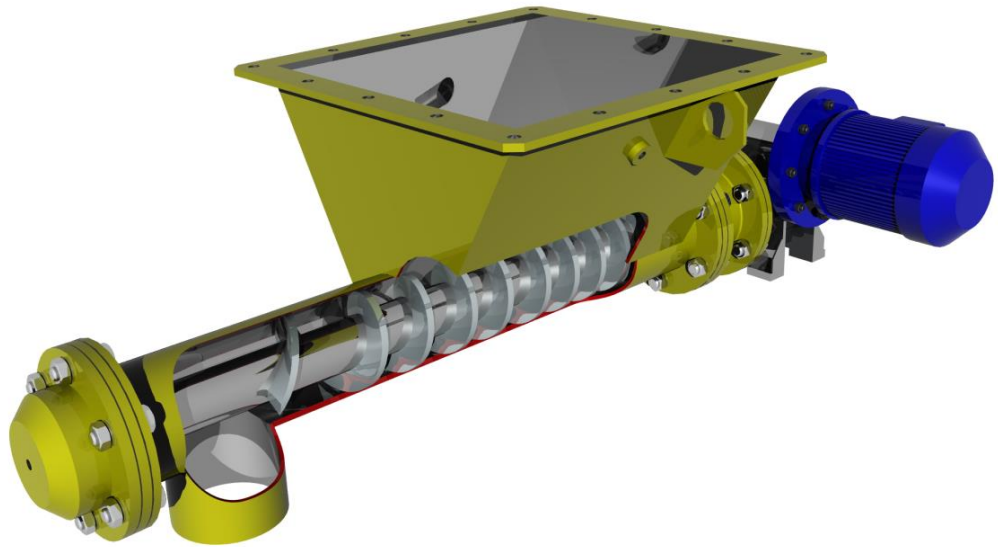


Рисунок 1.1 – Живильник гвинтовий ПВ-0, 075

Живильники застосовується як самостійний апарат для завантаження невеликих технологічних машин в харчовій та в інших галузях промисловості. При необхідності регулювання продуктивності живильника здійснюється частотним перетворювачем.

#### **1.4.2. Вибір пластинчастого насосу**

Призначений для перекачування в'язких, пластичних жировмісних харчових мас (глазур, какао терте, пюре, патока, пралінові маси, згущене молоко та інші).

Основними частинами пластинчастих насосів є корпус, ротор і пластини - замикачі. Ротор виконаний у вигляді циліндра, на бічній поверхні якого є радіальні пази з розташованими в них пластинами, останні притискаються до корпусу відцентровою силою і можуть легко переміщатися в пазах ротора. При обертанні ротора зовнішні торці пластин весь час притиснуті до внутрішньої поверхні корпусу. Під час роботи насоса на всмоктуючій стороні утворюється розрідження і маса заповнює простір між відповідними пластинами. Пластини забезпечують необхідний тиск на рідину і витісняють її в нагнітальний

патрубок. Оскільки ротор розташований ексцентрично, то при обертанні його пластини, перебуваючи безперервно в контакті зі стінкою корпусу. Пластинчасті насоси, як і шестерні, мають реверсивності, тобто при зміні напрямку обертання ротора вони змінюють напрямок потоку в трубопроводах.

### **1.4.3. Вибір вакуумного емульсатора-гомогенізатора**

Модуль універсальний гомогенізований емульсатор призначений для емульсування, змішування і термічної обробки рідких, в'язких і пастоподібних продуктів (плавлені сири, термізовані сиру, десерти, креми, муси, супи і соуси, підливи, сирні приготування з сиром і зеленню, солодкі начинки, комбіновані масла, тісто, паштети, креми, мазі, гелі, лакофарбові матеріали і багато інших)

Принцип роботи. Робоча ємність агрегату має сорочку для нагрівання й охолодження продукту і теплоізоляційний кожух. Для більш повної вивантаження продукту чаша розташована на поворотних опорах з фіксатором. Для прискорення нагрівання передбачено сопло уприскування гострого пара безпосередньо в продукт. Кришка легко відкидається тому завдяки газонаповненими амортизаторами, встановленими ззаду, а в закритому положенні герметично фіксується чотирма затисками.



Рисунок 1.2 – Емульсатор-гомогенізатор вакуумного типу МР-УГМ-300

Для внесення компонентів всередину чаші під час робочого циклу на кришці розташована воронка.

#### **1.4.4. Вибір тістомісильної машини**

"Прима-300" - двошвидкісна автоматична тістомісильна машина зі спіральним місильним органом, центральним відсікачем, підкатною циліндричною товстостінною діжею з нержавіючої сталі ємністю 300 літрів. Призначена для інтенсивного замісу широкого асортименту пшеничного, житнього і змішаних видів тіста для хліба, хлібобулочних і кондитерських виробів, у тому числі бездріжджового і дріжджового тіста. Максимальне завантаження по кожній рецептурі визначається дослідним шляхом.

"Прима-300" може експлуатуватися в 1-3 змінному режимі в умовах промислового виробництва кондитерських виробів. Інтенсивний заміс на "Прима-300" принципово покращує якість випікання продукції, збільшується обсяг виробів, м'якуш стає більш еластичною, пористість рівномірною і дрібною, кірка більш інтенсивно забарвленою, сповільнюється черствіння.



Рисунок 1.3 – Тістомісильна машина з підкатною діжею «Прима-300»

Автоматична система керування на базі промислового контролера SIMATIC S7-200 та сенсорним РК-SIEMENS забезпечує:

- створення, зберігання, використання, корегування до 100 10-крокових програм замісів
- роботу в автоматичному режимі
- тестування та діагностику працездатності вузлів і агрегатів машини
- моніторинг аварійних ситуацій з автоматичним переходом машини у безпечний стан
- автоматичне ведення архівів: замісів, аварійних подій з діагностикою несправностей, обліку часу напрацювання машини
- контроль навантаження на приводи робочих органів машини під час роботи

Елементи конструкції, що забезпечують надійну роботу і зручність експлуатації "Прима-300":

- гідравлічний привід підйому - опускання траверси і фіксації діжі, вузли та агрегати гідравлічної системи - від кращих європейських виробників
- привід обертання діжі забезпечує плавний пуск двигуна приводу обертання і виключає пошкодження механізму приводу в разі удару шестерень

зубчастої передачі "зуб на зуб" переміщенням провідної шестерні в зачеплення після фіксації діжі в робочому положенні

- патрубки на кришці діжі для завантаження сипучих і рідких компонентів в автоматичному і ручному режимах, оглядове скло для візуального контролю процесу замісу.

#### 1.4.5. Вибір ламінатно-розкатного пристрою

Застосовується у виробництві (розкатано та / або ламінованих) тістових стрічок з листового та дріжджового листового тіста, дріжджового і здобного пісочного тіста, тіста для приготування кренделів і піци.



Рисунок 1.4 – Ламінатно-розкатний пристрій «Ламінатор 3000»

Розглянута лінія розроблена і виконана в суворій відповідності з міжнародними нормами по санітарії та попередження нещасних випадків на виробництві. Рівень шуму не перевищує максимальний рівень, допустимий

згідно міжнародним нормам і стандартам. Рами окремих машин, виконані з вуглецевої сталі, зі спеціально обробленою поверхнею, оснащені товстими бічними опорами і відповідними міцними бічними балками, розташованими в найбільш уразливих місцях. Запобіжні решітки та захисні пристосування виконані з нержавіючої сталі. Всі конвеєрні стрічки, так само як і самі конвеєри, відповідають стандартам FDA. Модульне виконання лінії дозволяє комбінувати різні машини з метою створення найбільш відповідної лінії для отримання того чи іншого типу продукції. Фактично, можна додавати і комбінувати такі машини та обладнання:

- Додаткову трьохвальцьову формувальну машину
- Пристрій для розпилення цукрової пудри і пр.
- Пристрій для посипання різними зернами
- Додаткові мірні ролики або мірні вальці калібратора
- ротаційну формувальну машину, укомплектовану системою подачі тіста, обвідних транспортером і пристроєм для промивання
- Конвеєр для пристрою, посипаного кондитерські вироби цукром / сіллю, і відповідну систему відбору надлишку солі або цукру
- Автоматичну систему для завантаження тіста в бункер трьохвальцьові машини

Функціональні компоненти:

Секція 1: формувач тістової стрічки для обробки щільних сортів тісту, жировий насос, система складання в сендвіч, сателітних головки, що складається пристрій

Секція 2: сателітна головка

Секція 3: сателітних головки, поперечно-розкатний пристрій, калібрувальна головка, передавальний стіл

#### **1.4.6. Вибір розкатки тіста**

SH 500 служить для розкатки та подовження тістових заготовок. Має властивості:

- різниця між швидкістю обертання транспортерної стрічки, що подає тістові заготовки (самої повільної) і вихідної стрічки (найшвидшої), попереджає ушкодження тіста.
- формувальні циліндри покриті твердим хромом
- проста регулювання відстані між циліндрами за допомогою важеля
- можливість складання транспортних столів у вертикальне положення в час, коли пристрій не працює
- дистанційне управління



Рисунок 1.5 - Розкатка тіста SH 500

#### **1.4.7 Вибір тунельної печі**

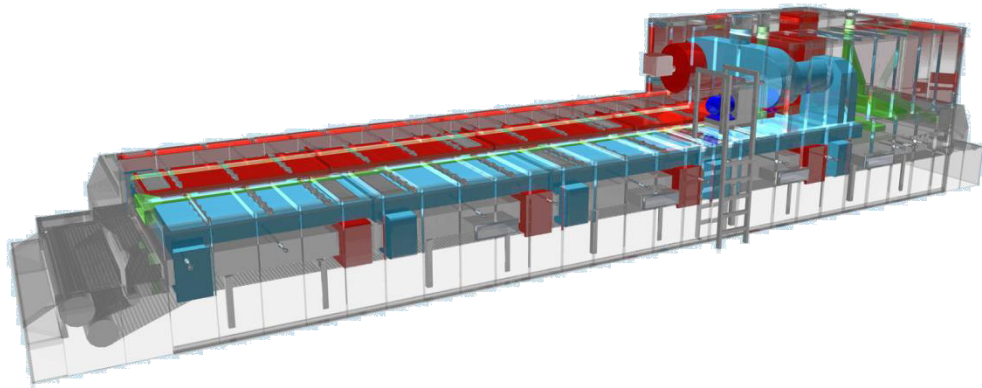


Рисунок 1.6 – Піч тунельна А2-ШБГ

Печі А2-ШБГ тунельного типу з рухомим сітчастим подом призначені для випічки і попереднього охолодження печива. Входять до складу потокової механізованої лінії виробництва сортів печива ШЛ-1П, можуть застосовуватися як самостійні агрегати.

#### **1.4.8 Вибір холодильного тунелю**

Призначений для охолодження кондитерських виробів. Принцип роботи полягає у тому, що вироби надходять на стрічку транспортера, де в замкнутому просторі охолоджуються циркулюючим холодним повітрям.

Проходячи через тунель, вироби охолоджуються до заданої температури, і готові вироби виносяться стрічкою транспортера з тунелю і сходять зі стрічки на фасування



Рисунок 1.7 - Тунель холодильний NORMIT

Особливості:

- підйомна кришка на амортизатори,
- забезпечує повний внутрішній доступ (без перегородок)
- модульна конструкція
- регульована швидкість руху стрічки
- енергозберігаюча конструкція (теплоізоляція і продумана схема циркуляції охолоджує повітря)
- низький рівень (практична відсутність) шуму

#### **1.4.9. Вибір вертикальної пакувальної машини**

Призначена для вертикальної упаковки в пакети типу "подушка" або з плоским дном овочів, фруктів, різаних, сипких, штучних продуктів, хлібобулочних та кондитерських виробів, пельменів, макаронів, грибів, горіхів, сиру та цукерок. Пакувальна машина AV 100 / S виконана з нержавіючої сталі.

Продуктивність машини може досягати 100 упаковок за хв і залежить від виду продукту, пакувального матеріалу і розміру самої упаковки.



Рисунок 1.8 – Вертикальна пакувальна машина AV 100/S

Машина обладнана для користувача інтерфейсом з пультом управління на корпусі машини, що дозволяє задавати різні види програм, режимів розливу. AV 100 / S комбінується з будь-якою системою зважування.

### **1.5 Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування**

Для того, щоб печиво відповідало встановленим вимогам, процес підготовки до випікання (норми дозування, очищення, температура компонентів) та, власне, саме випікання, охолодження і пакування чи фасування проходило по строго встановлених режимах. Так як технологічний процес випікання печива неперервний, на якість виробництва кінцевого продукту основним чином впливає надійність роботи автоматизованої системи.

Таким чином контрольовані величини можна організувати наступним чином:

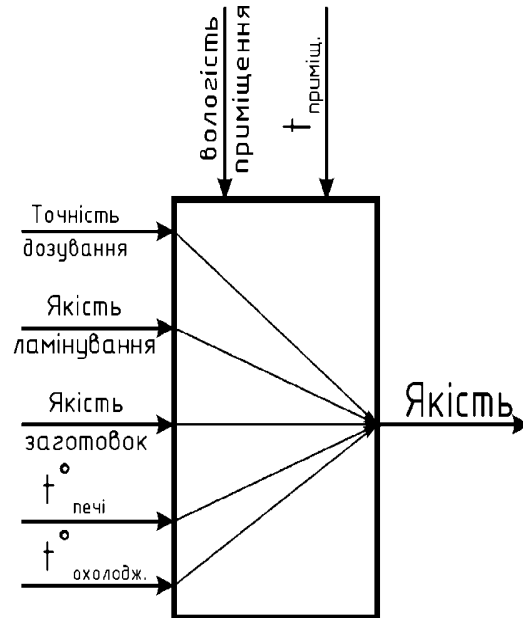


Рисунок 1.9 – Схема зв'язків між вхідними та вихідними величинами

Всі стадії виготовлення печива можна звести до якості вихідного продукту кожної окремо взятої стадії. Тому якість готової продукції основним чином залежить від дотримання технологічних параметрів на кожній стадії виготовлення. Основними збурюючими факторами в даному випадку будуть температура та вологість в приміщенні.

Параметри, що контролюються в процесі виготовлення печивоу, наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Параметри технологічного процесу

№	Процес	Назва параметру	Допустимі	Відхилення
---	--------	-----------------	-----------	------------

			<b>межі</b>	
1	Підготовка до роботи	Вологість повітря при зберіганні борошна	19%	±1%
2		Тиск повітря	1,65 атм.	±0,15 атм.
3		Температура води	23,5°C	±1,5°C
4	Підготовка емульсії	Температура дозованого жиру	40°C	±2°C
5		Час початкового перемішування в емульсаторі	1,5 хв.	±0,5 хв.
6		Час остаточного перемішування в емульсаторі	3,5 хв.	±0,5 хв.
7		Температура у витратному баку	39°C	±1°C
8	Замішування затяжного тіста	Час завантаження емульсії і борошняної суміші в тістозамішувач	5 хв.	±1 хв.
9		Вологість тіста в тістозамішувачі	24%	±2%
10		Температура у тістозамішувачі	39°C	±1°C
11		Тривалість замісу	16,5 хв.	±1,5 хв.
12		Концентрація піросульфїту натрію	0,0375%	±0,0125%
13	Замішування печивого тіста	Час завантаження емульсії і борошняної суміші в тістозамішувач	5 хв.	±1 хв.
14		Вологість дріжджового тіста в тістозамішувачі	28 %	±2 %
15		Температура у тістозамішувачі	28°C	±3°C
16		Тривалість замісу дріжджового тіста	16,5 хв.	±1,5 хв.
17	Бродіння печивого тіста	Температура бродіння	30°C	±3°C
18		Відносна вологість	75%	±5%
19		Час бродіння	2 год.	±0,2 год.
20	Випікання печивоу	Час випікання	3 хв.	±0,5 хв.
21		Температурні діапазони:	165°C	±15°C
			207,5°C	±7,5°C
			300°C	±5°C
			280°C	±5°C
		237,5°C	±7,5°C	
22	Охолодження на конвеєрі	Час охолодження	4,5 хв.	±0,5 хв.
23		Температура охолодження	42,5°C	±2,5°C

## 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1. Вибір датчиків та їх технічна характеристика

При виборі здавачів головним чином зверталась увага на їх надійній та якісній роботі. Основними перевагами більшості датчиків є їх уніфікований вихідний сигнал, що подається безпосередньо на відповідні входи контролерів. Якщо ж датчик не виробляє необхідний сигнал, вибарались такі, що мають додатковий перетворюючий модуль, що все ж забезпечує уніфікованими сигналами по струму чи напрузі.

#### 2.1.1. Дозатор об'ємний бункерний DELTAMATIC D90E



Рисунок 2.1 – Дозатор об'ємний бункерний DELTAMATIC D90E

DELTAMATIC D90E виконаний з нержавіючої сталі і оснащений системою електронного дозування і термостатом для змішування, дозволяє проводити змішування в діапазоні температур від 2 до 70 градусів за Цельсієм і робити відмір води в діапазоні від 0,1 і до 999,9 літрів. Має вбудовану пам'ять кількості води і можливість подачі до 35 літрів за хвилину при тиску до 3-х бар.

Технічні характеристики дозатора DELTAMATIC D90E:

Діапазон вимірювань: 0,1...999,9 л

Температурний діапазон змішування: 2 °С...70 °С

Швидкість: 35 літ/хв

Тиск води: 2...4 Бар

Макс. тиск води: 16 Бар

Точність нагрівання:  $\pm 1$  °C

Похибка виміру: 1%

Напруга мережі: 240В ( $\pm 10\%$ ) 50/60Гц, 65ВА, 70Вт

Розміри: 300mm x 320mm x 180mm

### **2.1.2. Ваговий дозатор HASTAMAT VBS-6**



Рисунок 2.2 – Ваговий дозатор HASTAMAT VBS-6

Об'ємний дозатор HASTAMAT VB - це точний дозуючий пристрій, створений для об'ємного дозування сипучих продуктів постійної щільності. Запуск об'ємного дозатора здійснюється частотним регулюванням за допомогою редукторного або серводвигуна з високопродуктивним зубчастим ланцюгом, причому керування машиною інтегровано в щит управління пакувальної машини.

Напруга живлення: 220 В

Уніфікований вихідний сигнал: 0...10В

Уніфікований вхідний сигнал керування: 10В

### **2.1.3. Датчик маси SCAMIE AG**

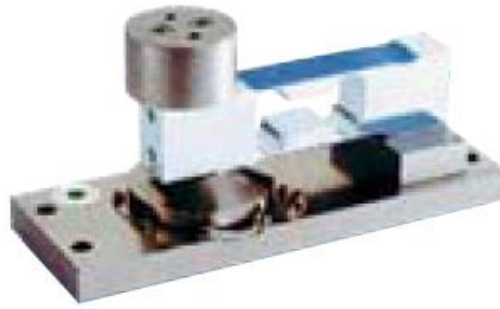


Рисунок 2.3 – Датчик маси SCAMIE AG

В даному датчику при механічній деформації матеріалу його електричний опір змінюється. Це явище носить назву п'єзоелектричного ефекту. Всі тензодатчики і побудовані на цьому ефекті. Дротовий тензодатчик представляє собою резистор, наклеєний на гнучку підкладку, яка в свою чергу кріпиться на об'єкт, де вимірюється маса. При цьому повинна забезпечуватись надійний механічний зв'язок між об'єктом і тензочутливим елементом, в той час як дріт резистора повинен бути електрично ізольованим від об'єкта. Коефіцієнти теплового розширення підкладки і дроту повинні бути узгоджені. Датчик ПМП-2 є досить чутливим, тобто він має довгі продовжні ділянки і короткі поперечні. Це забезпечує чутливість в поперечному напрямку не більше 2%.

#### 2.1.4. Датчик температури (KS-2)



Рисунок 2.4 – Датчик температури KS-2

Універсальний датчик KS-2 призначений для вимірювання температури робочого середовища.

**Принцип дії:** перетворення температури вимірюваного середовища мембраною з нержавіючої сталі з тонкостінними резисторами з  $\text{SiO}_2$  в електричний сигнал. Центральна частина датчика має провідність *n*-типу, а оточуючий її зовнішній шар *p*-типу (діркова провідність). До кристалу з провідністю *n*-типу (термоелемент) приварюються контакти платиного мікродроту, до шару з провідністю *p*-типу (тензоелемент) – мікродроти з чистої платини. Початковий опір термоелемента складає 10...1000 Ом при температурі  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Похибки:

- основна  $\pm 0,25\%$ ;  $\pm 0,5\%$ ;  $\pm 1,0\%$  повної шкали;
- сумарна  $\pm 2,5\%$ .

Особливості:

- стійкість до агресивних середовищ;
- не потребує технічного обслуговування.

**Технічні характеристики:**

Діапазон температури –  $-50 \dots 400^\circ\text{C}$ ;

Уніфіковані вихідні сигнали: 0...10В (3 дроти) і 4...20мА (2 дроти);

Напруга живлення постійного струму становить – 12...27В;

Розміри чутливого елемента датчика:

діаметр – 2мм,

довжина – 50мм.

Маса датчика – 200г.

### **2.1.5. Тягонапоромір ТНМ-Ет-8м**

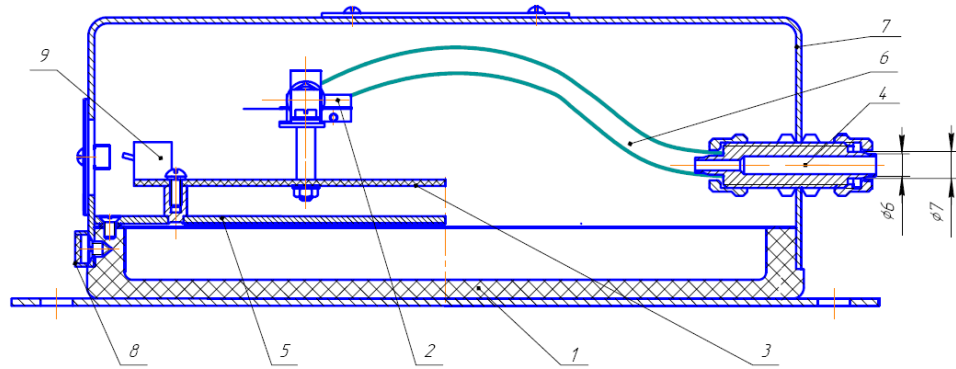


Рисунок 2.4 – Тягонапоромір ТНМ-Ет-8м

1– корпус; 2 – датчик; 3 – блок електронний; 4 – штуцер; 5 – основа; 6 – трубка; 7 – кожух; 8 – чашка; 9 – DIP-перемикач.

Тягонапоромір електричний ТНМ-Ет-8м призначений для безперервного перетворення значення вимірюваного тиску (розрідження) в уніфікований сигнал струму в системах автоматичного контролю, регулювання і управління технологічними процесами.

### 2.1.6. Датчик вологості ТЕРА ДВ - 02 – 608

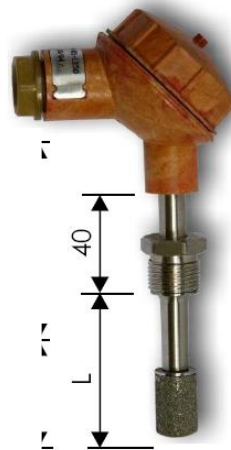


Рисунок 2.5 – Датчик вологості ДВ - 02 – 608

Перетворювач відносної вологості повітря з виходом 4-20 мА.

Застосовується для вимірювання відносної вологості повітря в діапазоні 0...100% (без конденсату), має чутливий елемент захищений повітряним фільтром.

Технічні характеристики:

Варіант виконання — втоплений

Вихідний сигнал — 4...20 мА

Робоча температура експлуатації — 0...70

Клас точності в діапазонах: 0...10% - 6, 11...89% - 2; 90...100% - 4

Довжина робочої частини  $L=80...250$  мм

Діаметр фільтру 16 мм

### 2.1.7. Датчик рівня (рівнемір ультразвуковий поплавковий РУ-ПТЗ)



Рисунок 2.6 – Рівнемір ультразвуковий поплавковий РУ-ПТЗ

Рівнемір ультразвуковий поплавковий РУ-ПТЗ призначений для вимірювання загального рівня рідини в резервуарі з метою обліку продукту. Рівнеміри виготовляються в звичайному і вибухозахищеному виконаннях.

Рівнемір відноситься до імпульсних ультразвукових приладів з твердим звуководом, який вводиться в резервуар з контрольованою рідиною. Довжина звуководу не менше діапазону вимірювання. Рівень відстежується за допомогою поплавка, що переміщається вздовж звуководу разом з рівнем рідини. Випромінювач ультразвука, що має акустичний зв'язок з верхнім кінцем звуководу, періодично викликає в ньому ультразвукові хвилі (УЗВ) частоти 50 кГц. Чергова УЗВ виникає після того, як повністю припиниться попередня і її віддзеркалення. Кожен цикл виникнення УЗВ вимірюються тимчасові інтервали, пропорційні рівню, а за наявності опорного каналу, ще і базовій (опорному) відстані. Момент досягнення УЗВ поплавка і опорного вузла фіксується по появі електричних сигналів при взаємодії поплавка і опорного

вузла із звуководом в результаті проходження УЗВ. Сигнали знімаються або із звуководу, або з намотаної на ньому одношарової котушки.

Рівнеміри виготовляються з чутливим елементом:

жорсткій конструкції без опорного вузла (Ж)

жорсткій конструкції із зовнішнім опорним вузлом (ЖО).

Діапазон вимірювання - до 12м.

Робочий надлишковий граничнодопустимий тиск - 2,5 Мпа.

Похибка вимірювання загального рівня по цифрових виходах:

$\pm 2$ мм плюс одиниця найменшого розряду для довжини чутливого елемента не більше 4м (за узгодженням із заводом виготівником);

$\pm 4$ мм плюс одиниця найменшого розряду для первинного перетворювача жорсткої конструкції із зовнішнім опорним вузлом;

$\pm (4 \text{ або } 10)$  мм плюс одиниця найменшого розряду для первинного перетворювача жорсткої конструкції без опорного вузла;

Значення одиниці найменшого розряду - 1мм по аналогових (струмових) виходах:  $\pm 0,5\%$  або  $1,0\%$  від діапазону вимірювання для всіх виконань ПП. Прилади мають виконання: звичайне, іскробезпечне. Живлення: напругою 220В, частотою  $50\text{Гц} \pm 2\%$  або  $60\text{Гц} \pm 2\%$ .

Вихідний сигнал:

аналоговий 0-5 мА або 4-20 мА;

цифровий (інтерфейс RS-485);

індикація рівня в метрах на цифровому табло;

релейний, з програмованими уставками сигналізації верхнього і нижнього критичних рівнів (комутована потужність вихідними реле до 100 ВА).

## **2.2 Вибір виконавчих механізмів**

### **2.2.1 Частотний перетворювач CIMR-J7**

Вибір частотних перетворювачів здійснено для таких елементів:

- 1) для двигуна конвеєра пічі;
- 2) для обладнання замішування тіста;

Зосередимо увагу на розрахунку перетворювача частоти для двигуна конвеєра пічі.

1. Для початку необхідно вибрати виконавчий двигун, виходячи із заданих даних:

- момент статичного навантаження:  $M_{ст}=150$  Н·м;
- момент інерції навантаження:  $J_H=15$  кг·м<sup>2</sup>;
- швидкість навантаження, що вимагається:  $\omega_H=9,163$  рад/с;
- прискорення навантаження, що вимагається:  $\varepsilon_H=1,5$  рад/с<sup>2</sup>;
- ККД редуктора:  $\eta=0,9$ .

Проведемо розрахунок параметрів виконавчого двигуна, у відповідності до яких потрібно вибрати сам виконавчий двигун.

Необхідну потужність виконавчого двигуна розраховується за формулою:

$$P_{вим} = \frac{2 \cdot (M_{ст} + J_H \cdot \varepsilon_H) \cdot \omega_H}{975 \cdot \eta} \quad (2.1)$$

$$P = \frac{2 \cdot (150 + 15 \cdot 1,5) \cdot 9,163}{975 \cdot 0,9} = 3,6 \text{ кВт}$$

За отриманою потужністю вибираємо двигун 4A132S-8/4.

Технічні дані виконавчого двигуна:  $P_{ном}=3/4,5$  кВт;

$$n_{ном}=700/1400 \text{ об/хв};$$

$$U_{ном}=380 \text{ В};$$

$$M_{ном}=12,5 \text{ ·м};$$

$$J_0=6,62 \times 10^{-4} \text{ кг·м}^2.$$

Визначаємо передатне співвідношення:

$$i_0 = \frac{\omega_{0\theta}}{\omega_H} = \frac{\pi \cdot 1400}{30 \cdot 9,163} = 16. \quad (2.2)$$

Виконуємо перевірку вибраного двигуна на відповідність вимогам по швидкості та моменту. Визначимо номінальну кутову швидкість виконавчого двигуна та порівнюємо її з приведеною швидкістю навантаження:

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30}, \quad (2.3)$$

$$\omega_{ном} = \frac{3,14 \cdot 1400}{30} = 146,6 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_n \cdot i_0 = 9,163 \cdot 16 = 146,608$$

Оскільки  $\omega_{ном} > \omega_n \cdot i_0$ , то за швидкістю вибраний двигун підходить.

Знайдемо значення необхідного моменту обертання та порівнюємо його з номінальним моментом двигуна:

$$M_{вим} = \frac{M_{ст}}{i_0 \cdot \eta} + \left( \frac{J_n}{i_0} + J_d \cdot i_0 \right) \cdot \varepsilon_n = 11,84 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.4)$$

Перевірка двигуна на перенавантаження:

$$\frac{M_{вим}}{M_{ном}} = \frac{11,84}{12,5} = 0,95 < \lambda = 2$$

Таким чином двигун задовільняє умові на перенавантаження.

Приведений до осі двигуна момент статичного навантаження

$$M'_{ст} = \frac{M_{ст}}{i_0 \cdot \eta} = 10,42 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Порівняння його з  $M_{ном}$  (12,5) говорить про те, що виконується умова

$$\frac{M_{ст}}{i_0 \cdot \eta} \leq M_{ном}.$$

Перевірка двигуна на перенавантаження за швидкістю:

$$\frac{\omega_{вим}}{\omega_{ном}} = 1 \leq \lambda_{\omega доп},$$

де  $\lambda_{\omega доп} = 1,2 \dots 1,3$ . Виходячи з виконання наведеної вище умови робимо висновок, що двигун вибраний правильно.

Виконуємо перевірку за моментом пуску

$$M_{д пуск} \geq M_c;$$

$$M_{\text{д пуск}} = 2 \cdot M_{\text{д ном}} = 2 \cdot 12,5 = 25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_c = 1,2 \cdot M'_{\text{ст}} = 1,2 \cdot 10,42 = 12,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Оскільки  $M_{\text{д пуск}} \geq M_c$  ( $25 > 12,5$ ), то умова виконується.

Таким чином можемо зробити висновок, що двигун вибраний правильно, оскільки всі перевірки за швидкістю та моментами дали позитивний результат.

Отже, основні технічні параметри двигуна 4A132S-8/4 такі:

$P_{\text{ном}} = 3/4,5$  кВт – номінальна потужність;

$n_{\text{ном}} = 700/1400$  об/хв – частота обертання двигуна;

$U_{\text{ном}} = 380$  В – значення напруги на обмотці двигуна;

$J_H = 15$  кг·м<sup>2</sup> –приведений до валу двигуна момент інерції навантаження.

t- час, за який необхідно розігнати двигун до частоти  $n_{\text{ном}}$ .

$k = 0,95 \dots 1,05$  – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти.

$\eta = 0,85$  % - коефіцієнт корисної дії;

$\cos\phi = 0,85$  – коефіцієнт потужності двигуна.

Умовами для вибору перетворювача частоти є такі:

При часу розгона до 60 с:

$$P_{\text{пч}} \geq 1,5 P_s, I_{\text{пч}} \geq 1,5 I_s$$

При часу розгону більше 60с:

$$P_{\text{пч}} \geq P_s, I_{\text{пч}} \geq I_s$$

Знайдемо номінальний момент на валу двигуна:

$$M_H = \frac{9554 \cdot P_H}{n}$$

$$M_H = \frac{9554 \cdot 4,5}{1400} = 30,71 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Розраховуємо пусковий момент на валу двигуна:

$$M_{\text{п}} = \frac{J \cdot n}{9,55 \cdot t}$$

$$M_{\text{п}} = \frac{15 \cdot 1400}{9,55 \cdot 60} = 36,64 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Розраховуємо пускову потужність двигуна при розгоні двигуна до 60 с:

$$P_{\text{п}} = \frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \cdot (M_{\text{н}} + M_{\text{п}})$$

$$P_{\text{п}} = \frac{1,05 \cdot 1400}{9550 \cdot 0,85 \cdot 0,85} \cdot (30,71 + 36,64) = 14,35 \text{ кВт}$$

На підставі цієї величини вибирається робоча потужність перетворювача частоти, яка повинна відповідати:

$$P_{\text{пч}} = \frac{P_{\text{п}}}{1,5}$$

$$P_{\text{пч}} = \frac{14,35}{1,5} = 9,56 \text{ кВт}$$

При цьому струм, який споживає електродвигун при розгоні не повинен перевищувати пусковий струм перетворювача частоти:

$$I_{\text{д}} = \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U_{\text{н}} \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{н}} + M_{\text{п}})$$

$$I_{\text{д}} = \frac{1,05 \cdot 1400}{9,55 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{н}} + M_{\text{п}}) = 21,8 \text{ А}$$

При умові розгону двигуна більше 60 с необхідно розрахувати повну потужність, яка споживається двигуном у номінальному режимі:

$$P_{\text{с}} = \frac{k \cdot P_{\text{н}}}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

$$P_{\text{с}} = \frac{1,05 \cdot 4,5}{0,85 \cdot 0,85} = 6,54 \text{ кВт}$$

Отже, за отриманими значеннями, користуючись нерівностями вибираємо перетворювач частоти CIMR-J, що зображений на рис.2.7.



Рисунок 2.7 – Частотний перетворювач CIMR-J7

Мініатюрні регулятори швидкості обертання загального застосування з вбудованою функцією енергозбереження, оптимальні для управління установками вентиляторів, насосами, конвеєрами і ін. Мають 8 фіксованих задавання частоти, 5 дискретних входів (4 з них - програмовані), один аналоговий вхід задавання швидкості (0-10 В або 420 мА), один програмований аналоговий вихід (0-10 В), один програмований дискретний вихід. При установці додаткового комунікаційного модуля (RS-232 або RS-485) можливе управління за допомогою протоколу ModBus.

#### Характеристики:

Діапазон потужностей: 0,1...24 кВт

Вхідна напруга: 3 фази, 380/460 В, 1 або 3 фази 220 В

Вихідна частота: 0,1...400 Гц

Час розгону/гальмування: 0...999 с

Ступінь захисту: IP20

Діапазон робочих температур: від -10 до +50°C

## 2. Розрахунок обладнання для замішування тіста.

Дані для розрахунку:

Обсяг використовуваної діжі, л.....	300
Кількість валів у машині, шт.....	1
Тривалість замішування тіста, хв.....	12
Номінальна споживана потужність, кВт.....	17.6
Номінальна напруга, В 3NPE.....	~380

### Розрахунок:

#### 1. Продуктивність машини:

$$G = \frac{V \cdot \rho \cdot \varphi}{\tau_3 + \tau_0} = \frac{0,3 \cdot 1100 \cdot 0,6}{12 \cdot 60 + 125} = 0,234 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де  $V=0,3\text{м}^3$  – об'єм діжі;

$\rho=1100 \text{ кг/м}^3$  - густина тіста;

$\varphi = 0,6 \dots 0,7$  – коефіцієнт заповнення місильної ємності;

$\tau_3 = 720 \text{ с}$  – тривалість замішування тіста;

$\tau_0 = 120 \dots 150 \text{ с}$  – тривалість допоміжних функцій.

#### 2. Потужність електродвигуна для приводу тістомісильної машини періодичної дії:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta}$$

де  $N_1$  – потужність, що затрачається на обертання місильного органу, кВт;

$N_2$  – потужність, що затрачається на обертання діжі, кВт;

$\eta = 0,85 \dots 0,9$  – ККД приводу;

$$N_1 = 4 \cdot 10^{-4} \cdot V \cdot R \cdot \omega \cdot g \cdot \rho \cdot \varphi = 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3 \cdot 0,46 \cdot 5 \cdot 9,81 \cdot 1100 \cdot 0,6 = 1,79$$

де  $R = 0,46$  – радіус обертання центра лопаті, м;

$\omega = 5,0$  – кутова швидкість місильного органу,  $\text{с}^{-1}$ ;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;

$$N_2 = (q_1 + q_2) \cdot 10^{-3} \cdot g \cdot f \cdot r \cdot \omega_1 = (120 + 200) \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 0,2 \cdot 0,12 \cdot 3 = 0,23$$

де  $q_1 = 120$  – маса діжі, кг;

$q_2 = 200$  – маса тіста в діжі, кг;

$f = 0,2 \dots 0,3$  – коефіцієнт тертя вала діжі в опорах;

$r = 0,12$  – радіус цапфи, м;

$\omega_1 = 3,0$  – кутова швидкість діжі, рад/с.

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta} = \frac{1,79 + 0,23}{0,85} = 2,38 \text{ кВт}$$

Отже, основні технічні параметри двигуна 4A100S4Y3 такі:

$P_{ном} = 3,0$  кВт – номінальна потужність;

$n_{ном} = 1500$  об/хв – частота обертання двигуна;

$U_{ном} = 380$  В – значення напруги на обмотці двигуна;

$J_H = 11$  кг·м<sup>2</sup> – приведений до валу двигуна момент інерції навантаження.

t- час, за який необхідно розігнати двигун до частоти  $n_{ном}$ .

$k = 0,95 \dots 1,05$  – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти.

$\eta = 0,83$  % - коефіцієнт корисної дії;

$\cos\varphi = 0,82$  – коефіцієнт потужності двигуна.

Умовами для вибору перетворювача частоти є такі:

При часу розгона до 60 с:

$$P_{пч} \geq 1,5 P_s, I_{пч} \geq 1,5 I_s$$

При часу розгону більше 60с:

$$P_{пч} \geq P_s, I_{пч} \geq I_s$$

Знайдемо номінальний момент на валу двигуна:

$$M_H = \frac{9554 \cdot P_H}{n}$$

$$M_H = \frac{9554 \cdot 3}{1500} = 19,11 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Розраховуємо пусковий момент на валу двигуна:

$$M_{пч} = \frac{J \cdot n}{9,55 \cdot t}$$

$$M_{пч} = \frac{11 \cdot 1500}{9,55 \cdot 60} = 28,79 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Розраховуємо пускову потужність двигуна при розгоні двигуна до 60 с:

$$P_{\Pi} = \frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \cdot (M_{\text{H}} + M_{\text{П}})$$

$$P_{\Pi} = \frac{1,05 \cdot 1500}{9550 \cdot 0,83 \cdot 0,82} \cdot (19,1 + 28,79) = 11,6 \text{ кВт}$$

На підставі цієї величини вибирається робоча потужність перетворювача частоти, яка повинна відповідати:

$$P_{\text{пч}} = \frac{P_{\Pi}}{1,5}$$

$$P_{\text{пч}} = \frac{11,6}{1,5} = 7,74 \text{ кВт}$$

При цьому струм, який споживає електродвигун при розгоні не повинен перевищувати пусковий струм перетворювача частоти:

$$I_{\text{д}} = \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U_{\text{н}} \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{H}} + M_{\text{П}})$$

$$I_{\text{д}} = \frac{1,05 \cdot 1500}{9,55 \cdot 0,82 \cdot 0,83 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{H}} + M_{\text{П}}) = 17,64 \text{ А}$$

При умові розгону двигуна більше 60 с необхідно розрахувати повну потужність, яка споживається двигуном у номінальному режимі:

$$P_{\text{с}} = \frac{k \cdot P_{\text{н}}}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

$$P_{\text{с}} = \frac{1,05 \cdot 3}{0,82 \cdot 0,83} = 4,63 \text{ кВт}$$

За отриманими значеннями вибираємо перетворювач частоти CIMR-J, (рис.2.7), аналогічний попередньому.

## 2.2.2 Вибір магнітних пускачів

Для пуску, реверсу та аварійного відключення електроприводу використовуються магнітні пускачі.

Для вибору потрібного магнітного пускача необхідно, щоб виконувались наступні умови:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.мережі}}$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.дв}}$$

$$I_{\text{пред}} \geq I_{\text{пуск.дв}}$$

Номінальний струм двигуна можна розрахувати за формулою:

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{P_n}{m \cdot U_{\text{ном.мережі}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \quad (2.5)$$

де  $m$  – число фаз статора.

По каталожному співвідношенні струмів можна визначити пусковий струм двигуна:

$$I_{\text{пуск.дв}} = 7,5 \cdot I_{\text{ном.дв}} \quad (2.6)$$

$$I_{\text{пуск.дв}} = 7,5 \cdot 23,8 = 178,5(A)$$

У нашому дипломному проєкті використовується 34 магнітних пускачів.

Приведемо розрахунок декількох з них:

1. Магнітний пускач для гвинтового живильника.

Вихідні дані:

$P = 0,37$  кВт - потужність двигуна.

$\eta = 0,78$  % - коефіцієнт корисної дії.

$\cos \varphi = 0,79$  – коефіцієнт потужності двигуна.

$I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 4,5$  – співвідношення номінального та пускового струмів.

Номінальний струм двигуна гвинтового живильника:

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{0,37}{3 \cdot 380 \cdot 0,78 \cdot 0,79} = 0,53 \text{ A}$$

По каталожному співвідношенні струмів можна визначити пусковий струм двигуна:

$$I_{\text{пуск.дв}} = 4,5 \cdot 0,53 = 2,37 \text{ A}$$

Магнітний пускач призначений для керування постійним і змінним струмом. У приналежності входять 2-х і 4-х полюсні насадні модулі допоміжних

контактів. Конструкція клемників контакторів передбачає швидкий монтаж і забезпечує надійний захист від випадкового дотику.



Рисунок 2.8 – Магнітний пускач K03C-22

Переваги засобу:

- відповідають найсучаснішим вимогам, пропонованим до комутаційної техніки.
- сертифіковані по UL, ДСТУ.
- висока стійкість контактів.
- висока навантажувальна здатність (висока електрична і механічна стійкість, номінальна робоча напруга до 690В відповідно до норм МЕК і VDE і 600В відповідно до норм UL і CSA, керування постійним струмом).

Технічні характеристики:

1. тип: K03C-22;
2. конструкція: 2 замикаючих + 2 розмикаючих контакти;
3. номінальна напруга: 230..690 В;
4. номінальний струм: 1...22 А;
5. частота: 50/60 Гц;

$$230...690 \geq 380$$

$$22 \geq 2,37$$

Умови виконуються, обираємо магнітний пускач K03C-22.

## 2. Магнітний пускач для емульсатор-гомогенізатора вакуумного типу MP-УГМ-300

Вихідні дані:

$P = 1,5$  кВт - потужність двигуна.

$\eta = 0,80$  % - коефіцієнт корисної дії.

$\cos\phi = 0,81$  – коефіцієнт потужності двигуна.

$I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 5,5$  – співвідношення номінального та пускового струмів.

Номінальний струм двигуна гвинтового живильника:

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{1500}{3 \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,81} = 2,03 \text{ A}$$

По каталожному співвідношенні струмів можна визначити пусковий струм двигуна:

$$I_{\text{пуск.дв}} = 5,5 \cdot 2,03 = 11,2 \text{ A}$$

Магнітний пускач призначений для керування постійним і змінним струмом. У приналежності входять 2-х і 4-х полюсні насадні модулі допоміжних контактів. Конструкція клемників контакторів передбачає швидкий монтаж і забезпечує надійний захист від випадкового дотику.

Переваги засобу:

- відповідають найсучаснішим вимогам, пропонованим до комутаційної техніки.
- сертифіковані по UL, ДСТУ.
- висока стійкість контактів.
- висока навантажувальна здатність (висока електрична і механічна стійкість, номінальна робоча напруга до 690В відповідно до норм МЭК і VDE і 600В відповідно до норм UL і CSA, керування постійним струмом).

Технічні характеристики:

6. тип: K03C-22;
7. конструкція: 2 замикаючих + 2 розмикаючих контакти;
8. номінальна напруга: 230..690 В;
9. номінальний струм: 1...22 А;

10. частота: 50/60 Гц;

$$230 \dots 690 \geq 380$$

$$22 \geq 11,2$$

Умови виконуються, обираємо магнітний пускач K03C-22.

### 3. Магнітний пускач для розкатки тіста SH 500

Вихідні дані:

$P = 0,55$  кВт - потужність двигуна.

$\eta = 0,80$  % - коефіцієнт корисної дії.

$\cos\phi = 0,8$  - коефіцієнт потужності двигуна.

$I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 5$  - співвідношення номінального та пускового струмів.

Номінальний струм двигуна гвинтового живильника:

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{550}{3 \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,8} = 0,75 \text{ A}$$

По каталожному співвідношенні струмів можна визначити пусковий струм двигуна:

$$I_{\text{пуск.дв}} = 5 \cdot 0,75 = 3,77 \text{ A}$$

Магнітний пускач призначений для керування постійним і змінним струмом. У приналежності входять 2-х і 4-х полюсні насадні модулі допоміжних контактів. Конструкція клемників контакторів передбачає швидкий монтаж і забезпечує надійний захист від випадкового дотику.

Переваги засобу:

- відповідають найсучаснішим вимогам, пропонованим до комутаційної техніки.

- сертифіковані по UL, ДСТУ.

- висока стійкість контактів.

- висока навантажувальна здатність (висока електрична і механічна стійкість, номінальна робоча напруга до 690В відповідно до норм МЕК і VDE і 600В відповідно до норм UL і CSA, керування постійним струмом).

Технічні характеристики:

1. тип: K03C-22;

2. конструкція: 2 замикаючих + 2 розмикаючих контакти;
3. номінальна напруга: 230..690 В;
4. номінальний струм: 1...22 А;
5. частота: 50/60 Гц;

$$230...690 \geq 380$$

$$22 \geq 3,77$$

Умови виконуються, обираємо магнітний пускач К03С-22.

### 2.2.3. Обґрунтування та вибір терморегулятора з аналоговим керуванням

Терморегулятори призначені для управління роботою нагрівальних приладів, опалювальних систем, систем гарячого водопостачання і інших пристроїв, що вимагають контролю температури.

Транзистори VT1, VT2 (Рис. 2.9) слід вибирати з ідентичними параметрами, тому що технологічний розкид є причиною адитивної і мультиплікативної похибки в роботі терморегулятора. Вибираємо транзисторну збірку 1НТ251 [11,51], що містить 4 ідентичних за параметрами транзистора. З граничними характеристиками:

$$U_{КЭ}^{\max} = 45В; I_K^{\max} = 400mA; \beta = 30...150 \quad (2.7)$$

Задаємося емітерним струмом спокою кожного транзистора при збалансованому мості, рівному 1...5mA. (чим він менше, тим слабкіше вплив транзисторів на режим роботи і вимірювального моста). Беручи напруги у вузлах вимірювальної діагоналі моста, рівними  $U_{B1} = U_{B2} = 7,0 В$ , розраховуємо загальноеміттерний опір  $R_9$ .

$$R_9 = \frac{U_{B1} - U_{BE}}{2 \cdot I_E} = \frac{7 - 0,7}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 4,2 Ом \quad (2.8)$$

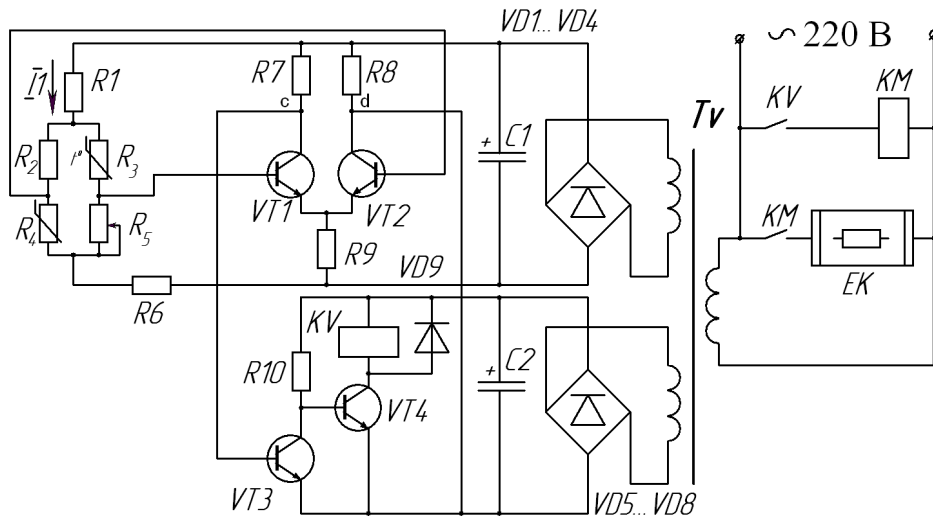


Рисунок 2.9 – Принципова схема терморегулятора

Вибираємо стандартне значення  $R_9 = 4,3 \text{ кОм}$  і уточнюємо значення емітерного струму:

$$I_{TE}^{ym} = \frac{U_B - U_{BE}}{2 \cdot R_9} = \frac{7 - 0,7}{2 \cdot 4,3} = 733 \text{ mA} \quad (2.9)$$

Задаємося струмом  $I_1$  для живлення мостової ланцюга з умови компромісного узгодження двох вимог: а) чим більше величина  $I_1$ , тим слабше шунтуючі вплив транзисторів, б) чим менше величина  $I_1$ , тим менше саморозігрів цим струмом резисторів  $R_3$  і  $R_4$ , що вносить методичну похибку в роботу терморегулятора.

Зупиняємося на струмі  $I_1 = 10 \text{ mA}$   $I_E = 10 \text{ mA}$ . З урахуванням заданого раніше потенціалі  $U_{B1} = U_{B2} = 7,0 \text{ B}$  вибираємо опір відповідно рівні:

$$(R_6 + R_4(R_5)) = \frac{U_B}{I_1} = \frac{7}{10 \cdot 10^{-3}} = 0,7 \text{ Ом} \quad (2.10)$$

Напруга джерела живлення, відфільтроване конденсатором  $C1$ , складе

$$U_{C1} = 2 \cdot U_B = 14 \text{ B} .$$

Опору  $R_7$  і  $R_8$  повинні, по перше, забезпечувати необхідні координати робочих точок транзисторів VT1 і VT2 по напрузі  $U_{кб}$ , яке вибирається рівним 3,5 В (режим класу А).

$$R_7 = R_8 = \frac{0,5 \cdot U_{C1} - U_{кб}}{0,5 \cdot I_E \cdot \alpha} \approx \frac{7 - 3,5}{0,5 \cdot 2} = 3,5 \text{ Ом} \quad (2.11)$$

Вибираємо стандартне значення 3,6 Ом, у других  $R_7$  і  $R_8$  задають посилення сигналу розбалансу моста при відхиленні температури об'єкта від заданої, оскільки цей сигнал надходить на бази транзисторів VT1, VT2. Величина посилення визначає точність роботи терморегулятора і становить у середньому:

$$K_U = \frac{2 \cdot I_E \cdot R_7}{U_{TO}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 10^3}{0,7} = 10 \quad (2.12)$$

Порогова напруга (зона нечутливості)  $U_{TO}$  транзистора VT3 прийнята рівним 0,7 В. Тоді напруга розбалансу моста, визначається чутливість регулятора складе

$$\Delta U = U_{B1} - U_{B2} = \frac{U_{TO}}{K_U} = 0,07 \text{ В} \quad (2.13)$$

Для диференціального мосту зміна напруги на одному з висновків діагоналі буде  $0,5 \Delta U = 0,035 \text{ В}$ .

Відповідну зміну температури (точність регулювання) буде:

$$\Delta t = \frac{0,5 \cdot \Delta U}{I_1 \cdot R_3 \cdot \alpha} = \frac{0,035}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 750 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} \approx 5^{\circ} \text{ C} \quad (2.14)$$

де  $\alpha = 1 \cdot 10^{-3} 1/^{\circ} \text{C}$  значення температурного коефіцієнта терморезисторів.

Для нагрівального елемента ЄК потужність не менше 2 кВт магнітний пускач типу ПМС2. Номінальний струм пускача 10А. номінальну напругу 220В. Виконання ІР00. послідовно з втягуючої котушкою пускача включений контакт кV1 проміжного реле кV1 типу РЕЗ-8 паспорт РСУ590.052.

Опір обмотки  $R_{обм}=16$  Ом, струм спрацьовування  $I_{CP}=81$  мА. Комутаційне напругу до 220В, комутаційний струм до 0,3 А. обмоткою реле К V управляє транзистор VT4. транзистор КТ630А з мінімальним коефіцієнтом посилення по струму  $\beta_{min}=40$ . Мінімальний струм бази, VT4, необхідний для спрацювання реле.

$$I_B^{min} = \frac{I_{CP}}{\beta_{min}} \cdot S = \frac{81}{40} \cdot 2 = 4 \text{ мА} \quad (2.15)$$

де S коефіцієнт насичення транзистора VT4.

Напруга джерела живлення з конденсатором  $C_2$

$$U_{C2} \geq I_{CP} \cdot R_{обм} + U_{КЭVT4}^{HAC} = 81 \cdot 10^{-3} \cdot 160 + 0,7 = 13,66 \text{ В} \quad (2.16)$$

Вибираємо  $U_{C2}=14$  В, тобто таким же за значенням, що і  $U_{C1}$ .

Опір  $R_{10}$

$$R_{10} = \frac{(U_{C1} - U_{BEVT4})}{I_{Bmin}} = \frac{14 - 0,7}{4 \cdot 10^{-3}} = 3,3 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

В якості транзистора VT3 вибираємо прилад того ж типу, що й VT1, VT2 т.е. КТ3107Е [11,32].

Враховуючі опри резисторів вибираємо терморегулятор АРТ-18



Рисунок 2.10 – Терморегулятори з аналоговим управлінням АРТ-18

Терморегулятори призначені для управління роботою нагрівальних приладів, опалювальних систем, систем гарячого водопостачання і інших пристроїв, що вимагають контролю температури.

Діапазон температур, в якому можуть працювати такі терморегулятори, визначається типом датчика і, як правило, складає - 40°C... +140 °C.

У терморегуляторі АРТ-18 використовується вихідне реле, розраховане на 15А, що дозволяє підключати до терморегулятора максимальне навантаження 3кВт.

#### 4.2.4. Сервопривід АМЕ 55 Danfoss

АМЕ 55/56 привід з управлінням аналоговим сигналом. Приводи автоматично пристосовують хід свого штока до ходу штока клапана, що знижує час на введення клапана в експлуатацію.

Технічні характеристики:

Частота: 50/60 Гц

Клас захисту корпусу: 54 IP

Зусилля, що розвивається: 2000 Н

Макс. хід штока: 40 мм

Час переміщення штока: 8 с/мм

Вхідний сигнал 1: 0(2) – 10 V;

Вхідний сигнал 2: 0(4) – 20 мА;

Вихідний сигнал: 0(2) – 10 V.



Рисунок 2.11 – Сервопривід АМЕ 55 Danfoss

#### 4.2.5. Заслівка дросельна газова ЗДСПЕ-50



Рисунок 2.12 – Заслінка дросельна газова ЗДСПЕ-50

Засувки дросельні газові з електроприводом призначені для регулювання тиску природного газу з температурою від -30 до +80 °С у системах газопостачання.

Заслінки є виконавчим органом автоматики регулювання витрати або тиску газу і можуть встановлюватися перед котлоагрегатом на газопроводі і на газопроводі перед газовим пальником.

Регулювання тиску або витрати газу відбувається за рахунок зміни площі перезізу газопроводу (ступені відкриття заслінки), який обумовлений положенням диска заслінки.

Диск повертається на валу, вихідний кінець якого має сальникове ущільнення, і сполучений з виконавчим механізмом.

Як електропривод на заслінці встановлений виконавчий механізм типу МЕО-40/63-0,25У.

Технічні характеристики:

Робочий тиск: 0,6 Мпа.

Пропуск середовища при закритому положенні: 0,5 % від максимальної витрати.

Установка на трубопроводі: у будь-якому положенні.

Матеріал корпусу: сталь.

Тип електроприводу: МЕО-40/63-0,25У.

Напруга живлення змінного струму: 220 Вт.

Споживана потужність: 70 Вт

Термін служби: 30 років.

#### **4.2.6. Сервопривід HERZ 1 7710**

HERZ 1 7710 привід з управлінням дискретним сигналом.

Використовуються для управління відсічними клапанами.

Технічні характеристики:

Тип: двопозиційний;

Зусилля, що розвивається: 2700 Н

Макс. хід штока: 60 мм

Час переміщення штока: 0.5 с

Вхідний сигнал 1: 10V.



Рисунок 2.13 – Сервопривід HERZ 1 7710

### **4.3. Обґрунтування вибору мікропроцесорних засобів**

Для автоматизації технологічного процесу виробництва солоного печивоу вибираємо наступні мікропроцесорні засоби:

- один модуль перетворення інтерфейсів RS232 в RS485 ADAM4520;
- один 8-ми канальний модуль аналогового вводу ADAM4017;
- один 8-ми канальний модуль аналогового вводу з можливістю підключення термопар ADAM4018;
- два 4-х канальні модулі аналогового виводу ADAM4024;
- один 16-канальний модуль дискретного вводу ADAM4053;
- три 12-канальні модулі дискретного виводу – ADAM4056SO.

#### **4.3.1 Обґрунтування та вибір модуля перетворення інтерфейсів**

Модуль перетворення інтерфейсів RS232 в RS485 ADAM4520 використовується для підключення мережі контролерів до COM-порту

персонального комп'ютера. Даний модуль забезпечує програмування і управління контролерами, що керують технологічним процесом, за допомогою програми AdamView.



Рисунок 2.14 – ADAM4520

Технічна характеристика модуля ADAM-4520:

- Швидкість передачі даних: 300 ~ 115200 кбіт/с;
- Роз'єми (RS-485, RS-422), DB9 female (RS-232);
- Інтерфейс: RS-232 (COM);
- Гальванічна ізоляція 3000 V (RS-485);
- Максимальна довжина лінії зв'язку: 1200 м.

8-ми каналний модуль аналогово вводу з можливістю підключення термопар ADAM4018. Даний контролер програмно налаштований на автоматичне визначення типу підключеної термопар, що дозволяє використовувати різні типи термопар. В даному процесі відбувається контроль температури бродіння печивогого тіста, температура випікання та охолодження в різних температурних діапазонах за допомогою термопар типу KS-2.

Технічна характеристика модуля ADAM-4018:

- 16-розрядний АЦП;
- кількість каналів: 6 диференціальних, 2 однополюсних;
- програмоване налаштування типу та діапазону вхідного сигналу:

- по напрузі в мілівольтах – +150 мВ, +500 мВ;
- по напрузі в вольтах – +1 В, +5 В, +10 В;
- по струму – +20 мА;

8-ми каналний модуль аналогового вводу ADAM4017. 6 аналогових датчики підключаються на входи модулів ADAM4017: три датчики маси SCAMIE AG, два датчики вологості ТЕРА ДВ-02, тягонапоромір повітря ТНМ-Ет-8м, датчик рівня.

Технічна характеристика модуля ADAM-4017:

- 16-розрядний АЦП;
- кількість каналів: 6 диференціальних, 2 однополюсних;
- програмоване налаштування типу та діапазону вхідного сигналу:
  - по напрузі в мілівольтах – +150 мВ, +500 мВ;
  - по напрузі в вольтах – +1 В, +5 В, +10 В;
  - по струму – +20 мА.

4-х каналні модулі аналогового виводу ADAM4024 задіяні для підключення виконавчих механізмів через регулятори.

Технічна характеристика модуля ADAM-4024:

- 12-розрядний ЦАП;
- кількість каналів: 4;
- вихідний сигнал:
  - по напрузі: 0...+5,0...+10,-5...+5,-10...+10 В;+150 мВ, +500 мВ;
  - по струму: 0...20,4...20 мА.

16-каналний модуль дискретного вводу ADAM4053призначений для збору даних з дискретного фотодатчика ФД-05ГМ, що використовується для перевірки стану полум'я в горілці, об'ємних дозаторів та електроконтактних зважувальних пристроїв, часових реле, кнопок управління на щиті.

Технічна характеристика модуля ADAM-4053:

- кількість каналів: 16;
- вхідний сигнал: 0...2В, 4...30В;
- вхідний опір: 820 Ом;

- можливість підключення таймерів-лічильників.

12-канальний модуль дискретного виводу ADAM4056SO призначені для підключення виконавчих механізмів через дискретні пускові пристрої.

Технічна характеристика модуля ADAM-4056SO:

- кількість каналів: 12;
- тип виходу: відкритий колектор, 40 В/0,2 А;
- гальванічна ізоляція: 5000 В пост. струму.

#### 4.3.7. Блок живлення ADVANTECHPWR-243

Номінальна напруга в мережі  $U_M = 220\text{В} + 10\% - 15\%$ .

Дозволене відхилення напруги навантаження  $\Delta U = N_B * (N_{GP} + 10)$ , мВ.

Схема випрямляча – мостова.

Схема фільтра – LC.

Схема ШПН – 1.

Напруга навантаження 1 -  $U_{H1} = +15\text{В}$ .

Напруга навантаження 2 -  $U_{H2} = +48\text{В}$ .

Струм навантаження 1 -  $I_{H1} = 2\text{А}$ .

Струм навантаження 2 -  $I_{H2} = 1.8\text{А}$ .

Відхилення струму навантаження – 15%.

Принципова схема стабілізатора зображена на рис. 2.15.

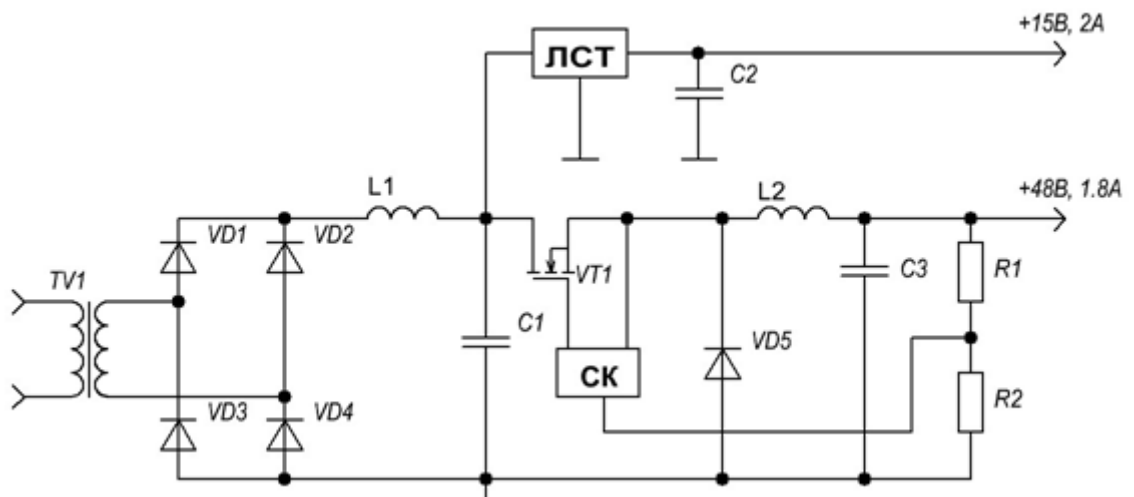


Рисунок 2.15 – Принципова схема стабілізатора напруги

Так як у нас напруга навантаження  $U_{H2} = 48B$ , а напруга навантаження  $U_{H1} = 15B$ , тобто  $U_{H1} < U_{H2}$ , то заміняємо ІППН першого роду на ІППН другого роду (підвищуючий). Його принципова схема зображена на на рис. 2.16.

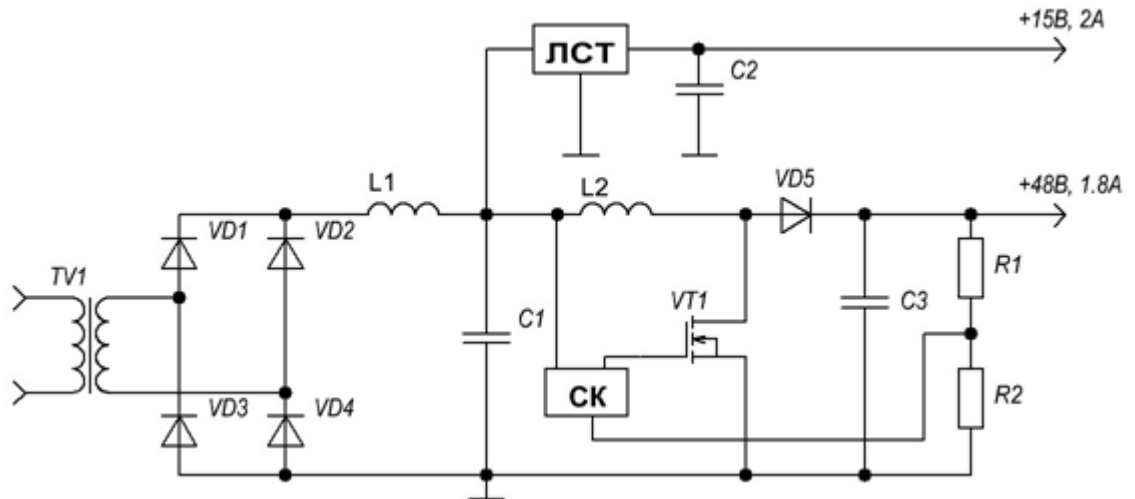


Рисунок 2.16 – Принципова схема стабілізатора напруги з ІППН2

Знайдемо значення напруги в мережі при максимальних відхиленнях:

$$U_{M.MAX} = 220 \cdot (1 + 0.1) = 242(B);$$

$$U_{M.MIN} = 220 \cdot (1 - 0.15) = 187(B).$$

Визначимо напругу на вході лінійного стабілізатора напруги:

$$U_{BX.MIN} = U_{ВИХ.ЛСТ} + U_{КЕ.НАС.},$$

де  $U_{ВИХ.ЛСТ}$  - вихідна напруга лінійного стабілізатора, В;

$U_{КЕ.НАС.}$  - напруга насичення транзистора, В. Прийmemo її значення у розмірі 2.5В.

$$U_{BX.MIN} = 15 + 2.5 = 17.5(B)..$$

Мінімальна випряmlена напруга розраховується виразом:

$$U_{d.MIN} = U_{BX.MIN} = 17.5(B).$$

Визначимо діючу напругу вторинної обмотки трансформатора. Врахуемо падіння напруги на випрямлячі. На двох силових діодах падіння напруги приймаемо у розмірі 2В.

$$U_{2m} = U_{d.MIN} + U_{VD},$$

де  $U_{2m}$  - напруга вторинної обмотки трансформатора, В.

$$U_{2m} = 17.5 + 2 = 19.5 \text{ (В)}.$$

Амплітудне та діюче значення напруг зв'язане співвідношенням:

$$U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_{2MIN},$$

$$U_{2.MIN} = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}},$$

$$U_{2.MIN} = \frac{19.5}{\sqrt{2}} = 13.92 \text{ (В)}.$$

Визначимо коефіцієнт трансформації трансформатора:

$$K_{TP.} = \frac{U_{M.MIN}}{U_{2.MIN}},$$

де  $U_{M.MIN}$  - мінімальна напруга в мережі, В.

$$K_{TP.} = \frac{187}{13.92} = 13.43.$$

Визначимо максимальну напругу вторинної обмотки трансформатора:

$$K_{TP} = \frac{U_{M.MAX}}{U_{2.MAX}},$$

$$U_{2.MAX} = \frac{U_{M.MAX.}}{K_{TP.}},$$

$$U_{2.MAX} = \frac{242}{13.92} = 17.38 \text{ (В)};$$

$$U_{2m.MAX} = U_{2.MAX} \cdot \sqrt{2},$$

$$U_{2m.MAX} = 17.38 \cdot \sqrt{2} = 24.33 \text{ (В)}..$$

Знайдемо значення  $U_{d.MAX}$  з урахуванням падіння напруги на діодах:

$$U_{d.MAX} = U_{2m.MAX} - 2 = 24.33 - 2 = 22.33 \text{ (В)}..$$

Визначимо максимальний випрямлений струм:

$$I_{d.MAX} = \frac{P_{ЗАГ.}}{U_d} = \frac{P_{I.BX.MAX} + P_{ЛПН.MIN}}{U_{d.MIN}},$$

де  $P_{ЗАГ}$  - загальна потужність, Вт.

$$P_{ЛН.МН.} = I_{ВХ.МАХ} \cdot U_{d.МІН} = I_{ВІХ.МАХ} \cdot U_{d.МІН},$$

$$I_{ВІХ.МАХ} = I_{Н.ЛН} \cdot (1 + 0.15).$$

де  $I_{Н.ЛН}$  - струм навантаження на лінійному стабілізаторі, А;

$$I_{ВІХ.МАХ} = 2 \cdot (1 + 0.15) = 2.3(A);$$

$$P_{ЛН.МН.} = I_{ВІХ.МАХ} \cdot U_{d.МІН} = 2.3 \cdot 17.5 = 40.25(Bm);$$

$$P_{I.ВХ.МАХ} = \frac{P_{ВІХ.ІМП.}}{\eta_{ІМП.}},$$

$$P_{ВІХ.ІМП.} = U_{ВІХ.ІМП.} \cdot I_{Н.ІМП.}$$

ККД імпульсного трансформатора прийемо:

$$\eta_{ІМП.} = 0.9.$$

$$P_{I.ВХ.МАХ} = \frac{U_{ВІХ.ІМП.} \cdot I_{Н.ІМП.}}{\eta_{ІМП.}} = \frac{48 \cdot 1.8}{0.9} = 96Bm.$$

$$I_{d.МАХ} = \frac{P_{I.ВХ.МАХ} + P_{ЛН.МН.}}{U_{d.МІН}} = \frac{96 + 40.25}{17.5} = 7.79A.$$

Струм у первинній обмотці трансформатора:

$$I_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{1}{K_{TP}} \cdot I_{d.МАХ} = \frac{3.14 \cdot 7.79}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot 13.43} = 0.65A.$$

Струм у вторинній обмотці:

$$I_2 = I_1 \cdot K_{TP} = 0.65 \cdot 13.55 = 8.81(A).$$

Знайдемо струм через діоди:

$$I_{VD} = \frac{I_{d.МАХ}}{2} = \frac{7.79}{2} = 3.9(A)$$

Зворотна напруга діода:

$$U_{VD.ЗВ.} = \frac{\pi}{2} \cdot U_{d.МАХ} = \frac{3.14}{2} \cdot 22.33 = 35.06(B)$$

Максимальний струм вторинної обмотки:

$$I_{2.МАХ} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{d.МАХ} (A).$$

$$I_{2.MAX} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{d.MAX} = \frac{3.14}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot 7.79 = 8.74(A).$$

Потужність діодів:

$$P_{VD} = U_{VD} \cdot I_a = 1 \cdot 7.79 = 7.79(Bm)..$$

Потужність трансформатора:

$$P_{TP} = P_{3AG} \cdot 1.1 = 136.25 \cdot 1.1 = 149.88(Bm)..$$

Параметри для вибору діодів:

$$I_a = 3.9A;$$

$$U_{3B.MAX} = 35.05B;$$

$$P_{VD} = 7.79Bm.$$

Прийmemo до встановлення діоди FM4001, який має наступні параметри:

$$I_{MAX} = 30A;$$

$$V_{3B} = 50B.$$

Параметри для обрання трансформатора:

$$U_1 = 242B;$$

$$I_1 = 0.65A;$$

$$U_2 = 24.33B;$$

$$I_2 = 8.81A;$$

$$K_{TP} = 13.43;$$

$$P_{TP} = 96Bm.$$

Прийmemo зміну напруги на конденсаторі  $\Delta U_C$  15% від  $U_{BX.MIN}$ :

$$\Delta U_C = 0.15 \cdot U_{d.MIN} = 0.15 \cdot 17.5 = 2.63(B).$$

Розрахуємо амплітуду першої гармоніки напруги:

$$U_{(1)m} = \frac{\Delta U_C}{2} = \frac{2.63}{2} = 1.32(B).$$

Визначимо вихідні пульсації:

$$q_{BIX} = \frac{U_{(1)m.BIX}}{U_d} = \frac{1.32}{23.25 \cdot 0.9} = 0.063.$$

Тому що на вході стоїть однофазна мостова схема випрямлення, прийmemo  $q_{BX.} = 0.67$ .

Розрахуємо коефіцієнт згладжування:

$$S = \frac{q_{BX.}}{q_{ВИХ}} = \frac{0.67}{0.063} = 10.63.$$

Визначимо значення LC:

$$S = m^2 \cdot \omega^2 \cdot L \cdot C,$$

$$L \cdot C = \frac{S}{m^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2} = \frac{10.63}{2^2 \cdot (2 \cdot 3.14 \cdot 50)^2} = 26.95 \cdot 10^{-6}.$$

Розрахуємо приведений опір навантаження:

$$R_H = \frac{U_{BX.MIN}}{I_{d.MAX}} = \frac{17.5}{7.79} = 2.25(Ом).$$

Прийmemo  $X_C$  на порядок менше  $R_H$ :

$$X_C = 0.1 \cdot R_H = 0.1 \cdot 2.43 = 0.24(Ом)..$$

Визначимо значення ємності:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C},$$

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 0.24} = 13.27 \cdot 10^{-3}(\Phi).$$

Розрахуємо значення індуктивності:

$$L_1 = \frac{L \cdot C}{C_1} = \frac{26.95 \cdot 10^{-6}}{13.27 \cdot 10^{-3}} = 2.03 \cdot 10^{-3}(Гн)$$

Напруга на індуктивності:

$$U_{L1} = U_{(1)} = \frac{q_{BX.} \cdot U_{d.MAX}}{\sqrt{2}} = \frac{0.67 \cdot 22.33}{\sqrt{2}} = 10.69(B)$$

Для установки LC фільтра необхідно враховувати наступні параметри:

$$C_1 = 13.27 мкФ;$$

$$U_C = 17.5B;$$

$$\Delta U_C = 2.63B;$$

$$L_1 = 2.03 \text{ мГн};$$

$$I_L = 7.79 \text{ А};$$

Параметри для лінійного стабілізатора:

$$U_{d.MIN} = 17.5 \text{ В};$$

$$U_{d.MAX} = 22.33 \text{ В};$$

$$U_{ВИХ.} = +15 \text{ В};$$

$$P = 29.75 \text{ Вт};$$

$$I_{ВИХ.} = 2 \text{ А};$$

$$U_L = 10.69 \text{ В};$$

Приймаємо до встановлення стабілізатор ВАJ6DD0WHFP/Г.

Розрахунок імпульсного перетворювача будемо вести в режимі безперервного струму.

Задаємося частотою комутації  $f = 100 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ .

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100 \cdot 10^3} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ (с)}.$$

Розрахуємо діапазон вихідної напруги:

$$\Delta U = (N_{ВАР.} \cdot (N_{ГР.} + 10)) \cdot 10^{-3},$$

де  $N_{ВАР.}$  - номер варіанту;

$N_{ГР.}$  - номер групи.

$$\Delta U = (N_{ВАР.} \cdot (N_{ГР.} + 10)) \cdot 10^{-3} = (4 \cdot (1 + 10)) \cdot 10^{-3} = 44 \cdot 10^{-3} \text{ (В)}.$$

Визначимо максимальну та номінальну вихідну напругу:

$$U_{ВИХ.MAX} = U_{ВИХ.} + \Delta U = 48 + 0.044 = 48.044 \text{ (В)};$$

$$U_{ВИХ.MIN} = U_{ВИХ.} - \Delta U = 48 - 0.044 = 47.96 \text{ В}.$$

Максимальна та мінімальна напруга:

$$U_{ВХ.MAX} = U_{d.MAX} = 22.33 \text{ В},$$

$$U_{ВХ.MIN} = U_{d.MIN} = 17.5 \text{ В}.$$

Розрахуємо коефіцієнт перетворення:

$$K_{\text{ПЕР.1}} = \frac{U_{\text{ВИХ.МАХ}}}{U_{\text{ВХ.МІН}}} = \frac{48.044}{17.5} = 2.75;$$

$$K_{\text{ПЕР.2}} = \frac{U_{\text{ВИХ.МІН}}}{U_{\text{ВХ.МАХ}}} = \frac{47.96}{22.33} = 2.15.$$

Розрахуємо максимальний та мінімальний час імпульсів:

$$K_{\text{ПЕР.}} = \frac{T}{T - t_I},$$

$$t_{I.\text{МАХ}} = \frac{T(K_{\text{ПЕР.1}} - 1)}{K_{\text{ПЕР.1}}} = \frac{10 \cdot 10^{-6}(2.75 - 1)}{2.75} = 6.37 \cdot 10^{-6}(\text{с}),$$

$$t_{I.\text{МІН}} = \frac{T(K_{\text{ПЕР.2}} - 1)}{K_{\text{ПЕР.2}}} = \frac{10 \cdot 10^{-6}(2.15 - 1)}{2.15} = 5.35 \cdot 10^{-6}(\text{с})$$

Розрахуємо індуктивність:

$$L = \frac{U_{\text{ВХ.МІН}} \cdot t_{I.\text{МАХ}}}{2 \cdot I_H} = \frac{17.5 \cdot 6.37 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1.8} = 3.1 \cdot 10^{-6}(\text{Гн}).$$

Для установки діода слід враховувати параметри:

$$I_A = I_H = 1.8\text{А},$$

$$U_{\text{ЗВ.}} = U_{\text{ВИХ.МАХ}} = 48.044\text{В}.$$

Приймаємо діод FM4001M.

Параметри для обрання транзистора:

$$I_{\text{VT}} = I_H \cdot (K_{\text{ПЕР.МАХ}} - 1) = 1.8 \cdot (2.75 - 1) = 3.15(\text{А});$$

$$U_{\text{СВ.VT1}} = U_{\text{ВИХ.МАХ}} = 48.044(\text{В}).$$

Приймаємо транзистор VDP950.

Параметри для обрання конденсатора:

$$\Delta U_C = 0.1 \cdot \Delta U_{\text{ВИХ}} = 0.1 \cdot 0.044 = 4.4 \cdot 10^{-3}(\text{В});$$

$$U_{(1)\text{м.ВИХ.}} = \frac{\Delta U_C}{2} = \frac{4.4 \cdot 10^{-3}}{2} = 2.2 \cdot 10^{-3}(\text{В}).$$

Вихідна пульсація:

$$q_{\text{ВИХ.}} = \frac{U_{(1)\text{м.ВИХ.}}}{U_{\text{ВИХ.МІН}}} = \frac{2.2 \cdot 10^{-3}}{47.96} = 45.87 \cdot 10^{-6}.$$

Розраховуємо приведенний опір:

$$R_H = \frac{U_{ВІХ.МАХ}}{I_{ВІХ.МІН}} = \frac{48.044}{1.8 \cdot 0.9} = 29.66(\text{Ом}).$$

Вирахуємо ємність конденсатора:

$$C_3 = \frac{I_H \cdot t_I}{\Delta U_C} = \frac{1.8 \cdot 6.37 \cdot 10^{-6}}{2.2 \cdot 10^{-3}} = 5.21 \cdot 10^{-3}(\Phi).$$

Коефіцієнт підсилення дій на резисторах  $R_1$  та  $R_2$ :

$$\frac{K_{33}}{U_H} = \frac{R_2}{R_2 + R_1},$$

$$K_U = \frac{R_2}{R_2 + R_1},$$

$$K_{g.} = \frac{K_{33.}}{U_H} = \frac{2.5}{48} = 0.052,$$

$$W = \frac{K_{ПЕР.}}{1 + K_{g.} \cdot K_U \cdot K_{ПЕР.}},$$

Розрахуємо  $K_U$ :

$$\Delta U_H = \Delta U_d \left( \frac{K_{ПЕР.}}{1 + K_{g.} \cdot K_U \cdot K_{ПЕР.}} \right),$$

$$K_U = \left( \frac{K_{ПЕР.} \cdot \Delta U_d}{\Delta U_H} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_{g.} \cdot K_{ПЕР.}} =$$

$$= \left( \frac{2.45 \cdot (22.33 - 17.5)}{0.044} - 1 \right) \cdot \frac{1}{0.052 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6} - 5.86 \cdot 10^{-6}}} = 2094.$$

На підставі отриманих розрахунків вибираємо блок живлення  
ADVANTECH PWR-243



Рисунок 2.17 – ADVANTECH PWR-243

Блок живлення використовується для подачі живлення +24 В на контролери. Технічна характеристика:

- Вихідна напруга: +24 В постійного струму;
- Вихідний струм: 3 А макс.;
- Вхідна напруга: 85...132 В або 170...264 В змінного струму;
- Вхідний струм: 1,4 А (макс.);
- Частота мережі: 47...63 Гц.

### **3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ**

#### **3.1. Обґрунтування вибору засобів автоматизації**

При виборі об'єкта автоматизації зверталась увага на покращення технологічного процесу після впровадження ряду технічних засобів автоматизації. Метою впровадження ТЗА є зменшення ручної роботи на підприємстві, зменшення кількості вихідного браку, пов'язаного з людським фактором, збільшення обсягу продукції, що випускається, шляхом скорочення часу простою обладнання.

Для атоматизації лінії підібрано ряд датчиків та виконавчих органів, що відповідають вимогам безпеки та задовільняють належні умови

функціонування. Дискретні датчики маси, витрати, що вбудовані у дозатори, з допомогою перетворювачів виробляють уніфікований сигнал 10В для подальшого управління. За цим же принципом на контролер надходять сигнал з фотодатчика, що слідкує за наявністю факелу полум'я. Аналогові давачі також підбрано з умовою їх уніфікованого вихідного сигналу по струму чи по напрузі. Таким чином забезпечується висока точність і надійність роботи обладнання.

Виконавчі механізми також управляються за уніфікованим сигналом контролера через перетворювачі.

Для автоматичного контролю і регулювання підбрані мікропроцесорні засоби серії ADAM4000 фірми-виробника ADVANTECH. Їх перевагою є достатня надійність, велика точність, мала споживана потужність та дуже гнучке налаштування відповідно до поставлених задач. В порівнянні з іншими контролерами аналогічного типу ADAM'и є дешевшими, легкі у програмуванні, мають вбудований інтерфейс RS-485 з підтримкою технології ModBus, що дозволяє здійснювати керування технологічним процесом зі SCADA-системи.

Відповідно до функціональної схеми підбрано контролери так, щоб було якомога менше незадіяних входів чи виходів, виключаючи цим самим додаткові капіталовкладення.

Дана лінія розрахована на приготування тіста, виготовлення тістових заготовок, випікання та пакування печивоу. Лінію можна поділити на ці окремі автоматизовані ділянки.

### **3.2. Обґрунтування вибору функціональної схеми**

Технологічний процес починається з дозування компонентів у об'ємних дозаторах 2, куди насосами 1-4, 2-4 подаються рідкі рецептури. Вмонтовані первинні перетворювачі FE1-1, FE2-1 вимірюють об'єм витратних компонентів і через перетворювачі подають сигнал уніфікований дискретний

сигнал на вхід контролера. При досягненні максимально допустимого об'єму в дозаторах пускові пристрої NS1-3, NS2-3 вимикають насоси 14-1, 13-1. Компоненти готові до наступного емульсування. Аналогічно дозується маса дріжджів і цукру у вагових дозаторах, де вбудовано датчики маси WE3-1, WE5-1. Завантаження матеріалу буде відбуватись до поки не буде необхідна маса в бункері. Розтоплений жир насосом 4-4 подається до об'ємного дозатора 1. При досягненні необхідної кількості жиру в бункері 1 закривається клапан подачі 4-6 керуючим органом NS4-5 та одночасно відкривається рециркуляційний клапан 4-8 через магнітне реле NS4-7. Рециркуляція жиру здійснюється з метою підтримки його в'язких властивостей.

Температуру в ємності 9 з жиром постійно підтримують за допомогою гарячої води, що пропускається через водяну сорочку ємності. Термопара ТЕ6-1 подає сигнал через перетворювач ТТ6-2 на контрольно-показуючий пристрій ТІА6-3 на щиті та на аналоговий вхід контролера. В залежності від зміни температури в ємності контролер виробляє сигнал управління сервоприводом заслінки, що встановлена на вхідному трубопроводі, закриваючи чи відкриваючи заслінку і регулюючи цим самим температуру.

Коли у всіх дозуючих пристроях набирається необхідна кількість компонентів і у витратному баку 11 є досить місця для зберігання емульсії (за сигналом з датчика рівня LE7-1 встановлюється дозвіл на ввімкнення емульсатора-гомогенізатора 10) контролер замикає пусковий механізм NS7-4, що приводить в дію емульсатор 10 та вмикає часове реле роботи емульсатора KS7-5 і контрольну лампу на світловому табло на щиті. Після цього відкриваються клапана 2-6, 4-10, 1-6, 3-4 та 5-4 магнітними пускачами 2-5, 4-9, 1-5, 3-3, 5-3 відповідно. Компоненти завантажуються в емульсатор і перемішуються. Вимикається емульсатор часовим реле по закінченні часу роботи. Далі емульсія надходить до витратного баку 11, де зберігається при сталій температурі.

Контроль за температурою здійснюють по контуру: термоперетворювач ТЕ8-1, передавальний елемент ТТ8-2, контрольно-показуючий пристрій ТІА8-3.

Також сигнал надходить на контролер. Останній відповідно заданим межам температурного режиму вмикає та вимикає електронагрівальний пристрій через терморегулятор NS8-4. Насосом 9-2 здійснюють постійну циркуляцію емульсії у витратному баку для постійного перемішування при відкритому рециркуляційному клапані 9-4. Управління насосом 9-4 та клапаном 9-4 передбачено зі щита керуючими елементами NS9-1 та NS9-3.

Для початку замісу тіста на щиті натискають кнопку HS13-2 за сигналом з якої відкривається клапан подачі емульсії 12-5 пусковим реле 12-4 та закривається рециркуляційний клапан 9-4. Необхідна кількість емульсії визначається датчиком витрати FE12-1 за сигналом з якого через контролер закривається клапан подачі емульсії 12-5 та знову відкривається рециркуляційний клапан. Витрата компоненту показується на щиті на показуючому приладі FIA12-3. Одночасно з цим у вагові дозатори завантажуються мука, крихта, крохмаль живильником 17 до тих пір, поки не стане необхідної маси дозованих компонентів. Датчик маси WE10-1 подає сигнал через перетворювач WT10-2 на контролер і останній вимикає електропривод 10-4 живильника 17 і відкриває електроклапан 11-4, що подає стисле повітря у продуктопровід 21. Після цього вмикається привід 11-2 роторного живильника 20 і сипка суміш подається до тістомісильної машини.

Коли дозування повністю пройшло вмикається тістомісильна машина періодичної дії 13 за допомогою керуючого елемента NS13-1, запускаючи при цьому часове реле KS13-3 та лампу на щиті. Робота машини є автоматичною і керування полягає тільки у ввімкненні машини.

Часові реле KS7-5, KS13-3 служать для уникання випадкового або повторного перезапуску обладнання під час уже запущеного емульсатора чи тістоміса.

По закінченні вимішування тісто у підкатних діжах підводять до підйомника, вставляють на направляючі і тоді тиснуть на кнопку HS14-1 на щиті для запуску підйомника. Магнітне реле NS14-2 вмикає приводний двигун 14-3 .

Діжа перекидається і дріжджове тісто випадає у приймальну воронку 26. Вбудований датчик маси WE15-1 на контролер подає аналоговий сигнал, що відповідає вазі тіста у воронці. Якщо маса досягає максимальної або ввімкнено кнопку NS16-1 на щиті контролер подає сигнал на ввімкнення спочатку електроприводу 17-4, що приводить в рух пластинчастий конвеєр 22, а потім електропривод 17-2 вивантажувальних валків 27. Вивантаження продовжується до моменту, коли у воронці стане мінімальна кількість тіста, після цього двигун 17-2 зупиняється, вмикається контрольна лампа на щиті і часове реле KS17-5, що через 2,2 години вимкне привід конвеєра і регулюючі органи бродильного апарату 23 у тому випадку, якщо не надійде сигнал про ввімкнення електроприводу валків 27 з контролера чи кнопки ручного управління на щиті.

Після запуску конвеєра починається регулювання температури і вологості у бродильному апараті. Постійно до камери вентилятором нагнітається свіже повітря. Вентилятор приводиться в рух двигуном 18-5, що вмикається керуючим елементом NS18-4. Якщо вологість недостатня, то за сигналом з датчика вологості ME19-1 через перетворювач MT19-2 надходить сигнал на контролер і оброблений вихідний сигнал контролера керує управляючим елементом NS19-3, що відкриває чи закриває клапан 19-4 для подачі води на форсунку 24. Датчик температури TE18-1 по аналогічному контуру керує процесом нагрівання калорифера 25 (датчик TE18-1, перетворювач TT18-2, показуючий пристрій TIA18-3, контролер, регулюючий орган NS18-6).

Після вилежування тіста у бродильному апараті тісто завантажується у воронку ламінатора 28, де встановлено датчик маси WE20-1. Коли у воронку надійде необхідна кількість тіста, контролер по чергово перевіряє тягу у витяжній трубі печі 36 за допомогою датчика тиску-розрідження PE25-1, та наявність факелу (фотодатчик BS27-1), перед цим відкривши клапан подачі газу 29-2 і запустивши запальник NS28-1. Якщо є якісь неполадки і невідповідності до роботи печі, то вмикається відповідні сигнальні лампи на щиті. В іншому випадку по чергово вмикаються електроприводи конвеєрів, посипальних апаратів, витяжного вентилятора та ламінатор відповідними

запускаючими пристроями на щиті з визначеною технологічними характеристиками затримками (23-2, 20-4, 20-6, 20-8, 20-10, 34-2, 21-2, 22-2 пускачами NS23-1, NS20-3, NS20-5, NS20-7, NS20-9, NS34-1, NS20-2, NS21-1, NS22-1 відповідно) і часове реле KS20-11 роботи печі і формувальних машин. Одночасно з цим починається процес контролю температури в печі і охолоджувачі та вологості вхідних заготовок. Вологість сприймається датчиком вологості ME32-1, передається сигналом пристроєм MT32-2 на контролер і за цим сигналом контролер керує сервоприводом NS32-3 на клапані 32-4.

Температура в печі сприймається здавачем температури TE26-1, сигнал з якого підсилюється і передається на контрольно-реєструючий прилад TIR26-3 і на вхід контролера. При критичних значеннях температури в печі вмикаються відповідні лампочки на табло. Для регулювання температури в печі змінюють подачу газу в камеру згорання шляхом керування заслінки 30-2 через керуючий елемент NS30-1. Розподілення нагрітого повітря в печі здійснюють вентиляторами, що приводяться в дію двигуном 31-2 через керуючий орган 31-1.

В тунельному охолоджувачі температура регулюється по контуру: датчик TE33-1, перетворювач TT33-2, інформаційно-реєструючий прилад TIR33-3, контрольні лампи на табло, контролер, керуючий пристрій NS33-4, двигун 33-5, що управляє швидкістю потоку холодного повітря.

Якщо у воронку лямінатора протягом 14 хв не надходить порція тіста і в печі вже немає продукції, що випікається, обладнання зупиняється автоматично. Також передбачено кнопку NS24-1 запуску конвеєрів формувального обладнання, печі і охолоджувача з одночасним блокуванням інших машин і запалювання газу в печі.

Після випічки готова охолоджена продукція надходить до фасувального апарату 44, завантажуючись у приймальну воронку. В останній встановлено датчик маси WE35-1. Якщо маса печива у воронці достатня для початку фасування, вмикається апарат пусковим пристроєм NS35-3 і засвічується

контрольна лампа на табло на щиті. Вимикається апарат при відсутності печивоу у воронці.

## 4. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ТУНЕЛЬНІЙ ПЕЧІ В ЗОНІ ВИПІКАННЯ ПЕЧИВА

### 4.1 Визначення передаточної функції САР

Проведемо аналіз системи автоматичного регулювання (САР) на прикладі системи регулювання температури в тунельній газовій печі в зоні випікання печива. Температура в зоні випікання печива повинна підтримуватися  $290 \pm 10^\circ\text{C}$ . Аналізуючи піч, як об'єкт керування, бачимо, що температура в зоні випікання печива залежить від кількості згорання газу. Фактично маємо замкнену систему, на вході котрої знаходиться задана температура, на виході – отримане значення цієї температури. В результаті віднімання від заданого значення отриманого на виході маємо значення розузгодження, на основі котрого регулятором виробляється рішення про збільшення чи зменшення значення сигналу керування на виконавчому механізмі. В нашому випадку виконавчим механізмом є регулюючий клапан подачі газу і задаючим сигналом для нього є задаючий рівень напруги від регулятора, прямо пропорційний сигналу розузгодження в межах регулювання. При відхиленні поточного значення потужності від заданого завдяки отриманому сигналу розузгодження виробляється додаткова напруга на регулюючому клапані, котра змушує його збільшувати або зменшувати площу поперечного перерізу впускного каналу. Відповідно на виході виконавчого механізму дотримується певний рівень витрати газу. Даний рівень є задаючим для об'єкту керування і в залежності від нього на виході отримується скориговане значення температури. Даний контур регулювання дозволяє компенсувати відхилення поточної температури від заданої внаслідок коливань температури в зоні відпускання заготовок.

Таким чином можемо на основі викладеного вище зобразити структурну схему розглядуваної САР (рис.5.1).

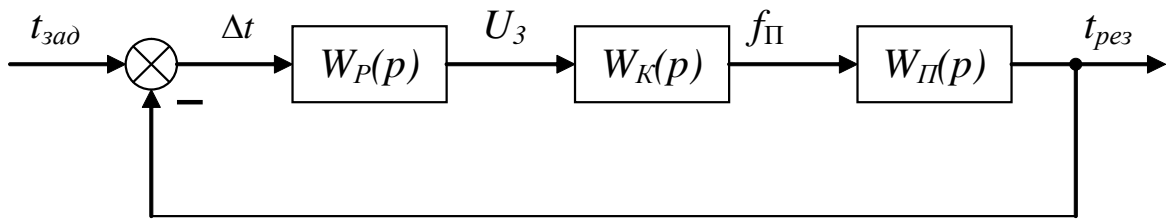


Рисунок 4.1 – Структурна схема системи автоматичного регулювання температури в зоні випікання печива.

де  $t_{зад}$  – задана температура в зоні випікання печива;  $\Delta t$  – температура розузгодження;  $U_3$  – керуючий сигнал;  $f_{П}$  – отримана витрата газу;  $t_{рез}$  – отримане значення температури в зоні випікання печива;  $W_P(p)$  – передаточна функція регулюючого органу;  $W_K(p)$  – передаточна функція клапана;  $W_{П}(p)$  – передаточна функція печі по газу.

Розглянемо окремі елементи структурної схеми.

#### Регулятор

Задаючий сигнал на клапані є прямо пропорційним потужності розузгодження:

$$U_3 = k_p \cdot \Delta t,$$

де  $k_p$  – коефіцієнт залежності керуючого сигналу від різниці заданої і отриманої потужності.

Позначивши  $k_p$  через  $k_1$  та співвіднівши зображення по Лапласу вихідного сигналу до зображення по Лапласу вхідного сигналу отримуємо передаточну функцію мембранного регулятора у вигляді пропорційної ланки:

$$W_P(p) = \frac{U(p)}{T(p)} = k_1. \quad (4.1)$$

Вхідним параметром для дрoселя є рівень задаючого сигналу, вихідним – кількість газу. Регулюючий клапан, як елемент схеми для розрахунку САР, описується рівняннями вигляду:

$$\begin{cases} T_1 \frac{dS}{dt} + S = K_s \cdot U_3 \\ T_2 \frac{df_k}{dt} + f_k = K_f \cdot S \end{cases},$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу витратного каналу,  $K_s$  – коефіцієнт залежності площі поперечного перерізу витратного каналу від задаючого сигналу,  $T_1$  – стала часу реакції площі поперечного перерізу каналу на зміну задаючого сигналу,  $f_k$  – кількість газу через витратний канал,  $K_f$  – коефіцієнт залежності витрати газу від площі поперечного перерізу витратного каналу,  $T_2$  – стала часу реакції витрати на зміну площі поперечного перерізу каналу

Виходячи з вказаних рівностей після перепозначення  $K_s \cdot K_f = k_2$ , віднісши зображення по Лапласу вихідного сигналу (площа перерізу витратного каналу) до зображення по Лапласу вхідного сигналу (значення переміщення штоку), записати передаточну функцію дросельного елемента:

$$W_k(p) = \frac{F(p)}{U(p)} = \frac{k_2}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (4.2)$$

### Тунельна газова піч

Тунельна газова піч в даному випадку є керованим об'єктом. При цьому в усталеному режимі температура в зоні випікання печива є прямо пропорційною витраті газу, в динамічному режимі тут має враховуватися інерційність системи:

$$T_T \frac{dT}{dt} + T = k_T \cdot f_{II},$$

де  $T_T$  – стала часу температури в зоні випікання печива на зміну кількості газу;  $k_T$  – коефіцієнт залежності температури в зоні випікання печива від кількості газу в усталеному режимі.

В результаті перепозначення  $k_T = k_3$ ,  $T_T = T_3$  та відношення зображення по Лапласу вихідного сигналу до зображення по Лапласу вхідного сигналу отримаємо передаточну функцію у вигляді

$$W_p(p) = \frac{T(p)}{F(p)} = \frac{k_3}{T_3 p + 1} \quad (4.3)$$

Враховавши знайдені вирази для визначення передаточних функцій визначимо розімкнену передаточну функцію системи автоматичного регулювання температури в зоні випікання печива. Після заміни  $k_0 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$  отримуємо розімкнену передаточну функцію у вигляді:

$$W(p) = \frac{k_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}$$

або

(4.4)

$$W(p) = \frac{k_0}{T_{30} p^3 + T_{20} p^2 + T_{10} p + 1}.$$

$$T_{30} = T_1 T_2 T_3;$$

$$T_{20} = T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3;$$

$$T_{10} = T_1 + T_2 + T_3.$$

Передаточна функція замкненої системи для структурної схеми із зворотнім зв'язком (рис.5.1) записується у вигляді  $W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{33}(p)}$ .

Тут  $W_p(p)$  – передаточна функція розімкненої АСР,  $W_{33}(p)$  – передаточна функція ланки зворотного зв'язку. Підставивши в цей вираз (5.4) та значення передаточної функції ланки зворотного зв'язку як 1, отримуємо передаточну функцію замкненої АСР:

$$W_3(p) = \frac{k_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + k_0} \quad (4.5)$$

Зведемо параметри для розрахунку автоматичної системи регулювання до табл.4.1.

Таблиця 4.1

Дані для розрахунку автоматичної системи керування

Назва параметру	Позначення параметру	Значення параметру
<u>Пропорційний регулятор</u>		
Коефіцієнт перетворення розузгодження температури в сигнал керування	$K_p$	0,065В/°С
<u>Регулюючий клапан</u>		
Коефіцієнт залежності площі поперечного перерізу витратного каналу від сигналу керування	$K_S$	$4,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В}$
Стала часу реакції площі поперечного перерізу витратної магістралі на зміну сигналу керування	$T_S$	0,15 с
Коефіцієнт залежності кількості газу від площі поперечного перерізу витратної магістралі	$K_f$	14 м/с
Стала часу реакції кількості газу на зміну площі поперечного перерізу витратного каналу	$T_f$	0,26с
<u>Тунельна газова піч</u>		
Стала часу реакції температури в зоні випікання печива на зміну кількості газу	$T_N$	3,5 с
Коефіцієнт залежності температури в зоні випікання печива від кількості газу	$k_N$	$2,4 \cdot 10^2 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{с}/\text{м}^3$

Виходячи із заданих значень розрахуємо коефіцієнти та сталі часу передаточних функцій системи автоматичного регулювання

$$k_0 = 1,014;$$

$$k_1 = 0,65; k_2 = 0,0065; k_3 = 2,4 \cdot 10^2; T_1 = 0,035; T_2 = 0,65; T_3 = 0,15;$$

$$T_{10} = 0,25; T_{20} = 0,13; T_{30} = 0,0034125.$$

## 4.2. Визначення стійкості системи за критерієм Найквіста

Метод визначення стійкості автоматичних систем регулювання (АСР) за Найквістом є одним з частотних методів. Він дозволяє визначити стійкість замкненої системи за амплітудно-фазовою характеристикою (АФХ) розімкненої системи. При цьому метод визначення залежить від того, чи є стійкою АСР в розімкненому стані.

Визначимо стійкість АСР у розімкненому вигляді. Для цього скористаємося методом Гурвіца, котрий є одним з алгебраїчних методів.

Для цього прирівняємо знаменник (5.4) до нуля:

$$T_{30}p^3 + T_{20}p^2 + T_{10}p + 1 = 0.$$

Згідно критерію стійкості АСР за Гурвіцем:

необхідною та достатньою умовою стійкості при  $a_0 > 0$  є додатність всіх часткових визначників матриці Гурвіца.

Матриця Гурвіца для рівняння виду  $a_0p^n + a_1p^{n-1} + \dots + a_{n-1}p + a_n = 0$  записується у вигляді:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}.$$

Для нашого випадку  $a_0 = T_{30}, a_1 = T_{20}, a_2 = T_{10}, a_3 = 1$ . Тому матриця Гурвіца записується для розглядуваного випадку ( $n=3$ ) у вигляді:

$$\begin{vmatrix} T_{20} & 1 & 0 \\ T_{30} & T_{10} & 0 \\ 0 & T_{20} & 1 \end{vmatrix}.$$

Проведемо аналіз матриці Гурвіца, використовуючи критерій:

$$a_0 = T_{30} > 0; \Delta_1 = a_1 = T_{20} > 0; \Delta_2 = \Delta_1 a_2 = \Delta_1 \cdot T_{10} > 0.$$

Оскільки всі часткові визначники є додатними, то робимо висновок, що система є стійкою в розімкненому вигляді.

Оскільки АСР у розімкненому вигляді є стійкою, формулювання методу Найквіста для неї матиме наступний вигляд:

Для того, щоб АСР, стійка в розімкненому стані, була стійкою і в замкненому стані, необхідно і достатньо, щоб АФХ розімкненої системи  $W(j\omega)$  при зміні  $\omega$  від 0 до  $\infty$  не охоплювала точку з координатами  $(-1; j0)$ .

Характеристичне рівняння для розімкненої АСР має вигляд:

$$D_p(p) = (T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1).$$

Через заміну  $p \rightarrow j\omega$  приведемо передатну функцію розімкненої системи до вигляду  $W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$ . Тоді, виходячи із (5.4) маємо:

$$W(j\omega) = \frac{k_0}{-jT_{30}\omega^3 - T_{20}\omega^2 + jT_{10}\omega + 1}.$$

Згрупуємо елементи дійсної та уявної частин:

$$W(j\omega) = \frac{k_0 + j0}{(-T_{20}\omega^2 + 1) + j(-T_{30}\omega^3 + T_{10}\omega)}.$$

Оскільки, згідно схеми типових перетворень, якщо  $W(j\omega) = \frac{C(\omega) + jD(\omega)}{E(\omega) + jF(\omega)}$ ,

то дійсні і уявні частини  $W(j\omega)$  визначаються як

$$U(\omega) = \frac{C(\omega) \cdot E(\omega) + D(\omega) \cdot F(\omega)}{E^2(\omega) + F^2(\omega)},$$

$$V(\omega) = \frac{D(\omega) \cdot E(\omega) - C(\omega) \cdot F(\omega)}{E^2(\omega) + F^2(\omega)}.$$

Для нашого випадку маємо, що

$$C(\omega) = k_0;$$

$$D(\omega) = 0;$$

$$E(\omega) = -T_{20}\omega^2 + 1;$$

$$F(\omega) = -T_{30}\omega^3 + T_{10}\omega.$$

Для побудови АФХ приведемо до вигляду  $W(j\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}$ . Для цього запишемо формули перетворення для визначення  $A(\omega)$  та  $\varphi(\omega)$ :

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}.$$

Підставивши значення всіх параметрів АСР та змінюючи  $\omega$  від 0 до  $\infty$  отримуємо АФХ розімкненої системи (рис.4.2)

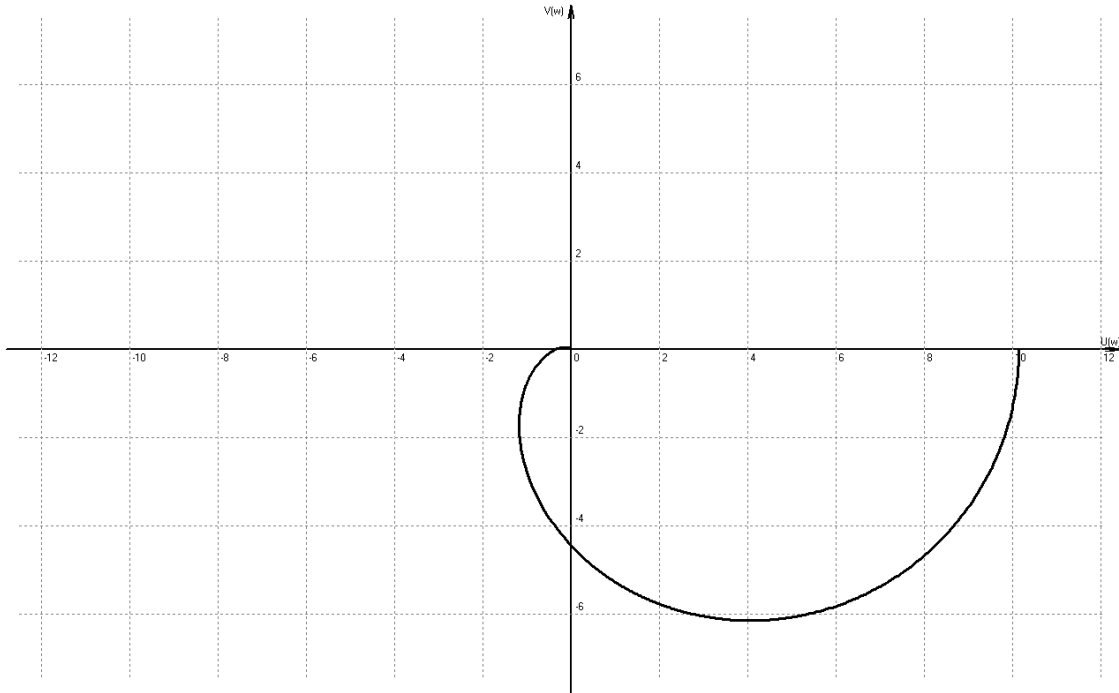


Рисунок 4.2 - Амплітудно-фазова характеристика САР

З вигляду АФХ на рис.5.2 можемо зробити висновок, що дана система автоматичного регулювання є стійкою у замкненому стані, оскільки не охоплює точку  $(-1;j0)$ .

### 4.3 Побудова логарифмічних характеристик

Для побудови логарифмічної амплітудно-частотної характеристики (ЛАХ) та логарифмічної фазо-частотної характеристики (ЛФХ) запишемо передаточну функцію розімкненої системи:

$$W(p) = \frac{k_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}.$$

Виконаємо заміну  $p \rightarrow j\omega$ :

$$W(j\omega) = \frac{k_0}{(T_1 \cdot j\omega + 1) \cdot (T_2 \cdot j\omega + 1) \cdot (T_3 \cdot j\omega + 1)}. \quad (4.6)$$

Запишемо значення модуля  $W(j\omega)$ :

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{k_0}{\sqrt{T_1^2 \omega^2 + 1} \cdot \sqrt{T_2^2 \omega^2 + 1} \cdot \sqrt{T_3^2 \omega^2 + 1}}.$$

З цього виразу запишемо ЛАХ системи виходячи з умови  $L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$ :

$$L(\omega) = 20 \lg k_0 - 20 \lg \sqrt{T_1^2 \omega^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{T_2^2 \omega^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{T_3^2 \omega^2 + 1}.$$

Визначимо частоти зрізу ЛАХ:

$$\omega = \frac{1}{T_1} = 0,286 \text{сек}, ; \omega = \frac{1}{T_2} = 6,667 \text{сек}, ; \omega = \frac{1}{T_3} = 15,385 \text{сек}.$$

При побудові ЛАХ спочатку наносимо пряму значенням  $L(\omega) = 20 \lg k_0 = 20$  ; оскільки розглядувана АСР не має астатичності, то ЛАХ матиме початковий нахил 0Дб/дек і надалі, оскільки відсутні додатні зрізи ЛАХ, то при побудові її на частотах зрізу вона змінюватиме нахил на  $-20$ Дб/дек при  $\omega_1, \omega_2$ . Згідно наведених міркувань будемо ЛАХ в логарифмічній системі координат (рис.4.3).

Для передатної характеристики розімкненої АСР виду  $W(j\omega) = \prod_{i=1}^n W_i(j\omega)$  після запису у вигляді  $W(j\omega) = \prod_{i=1}^n A_i(j\omega) e^{j\varphi_i(\omega)}$  вираз ЛФХ має вигляд:

$$\ln[e^{j\varphi(\omega)}] = \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega).$$

Таким чином сумарна ЛФХ є сумою ЛФХ окремих складових.

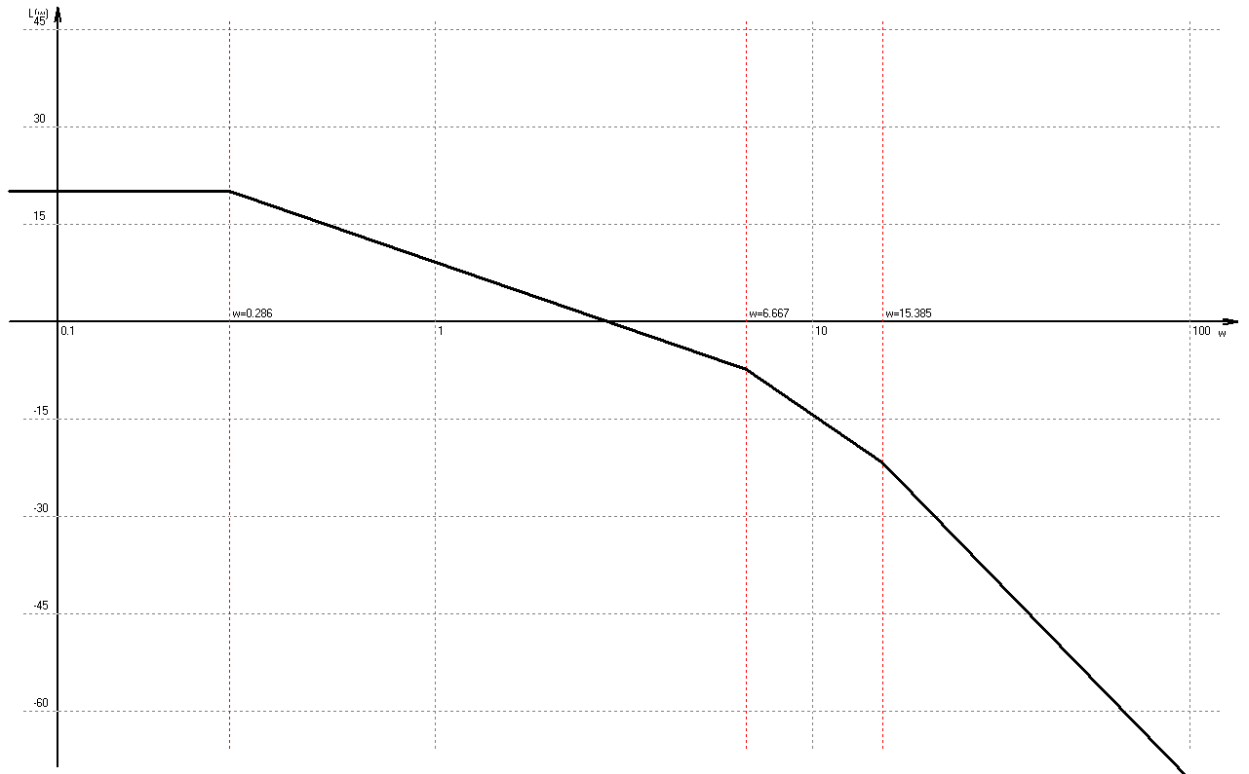


Рисунок 4.3 - Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика САР

Тобто для побудови сумарної ЛФХ достатньо окремо побудувати ЛФХ окремих ланок і потім їх просумувати. Розіб'ємо (5.6) на окремі прості складові:

$$W(j\omega) = k_0 \cdot \frac{1}{T_1 \cdot j\omega + 1} \cdot \frac{1}{T_2 \cdot j\omega + 1} \cdot \frac{1}{T_3 \cdot j\omega + 1}.$$

Із записаних добутків складемо систему рівнянь для визначення ЛФХ:

$$\begin{cases} \varphi_0(\omega) = \arctg \frac{0}{k_0} = 0 \\ \varphi_1(\omega) = -\arctg T_1 \omega \\ \varphi_2(\omega) = -\arctg T_2 \omega \\ \varphi_3(\omega) = -\arctg T_3 \omega \end{cases}.$$

Змінюючи  $\omega$  від 0 до  $\infty$  будемо часткові ЛФХ в логарифмічній системі координат. Провівши алгебраїчне сумування окремих ЛФХ, отримуємо загальну ЛФХ розімкненої системи (рис.4.4).

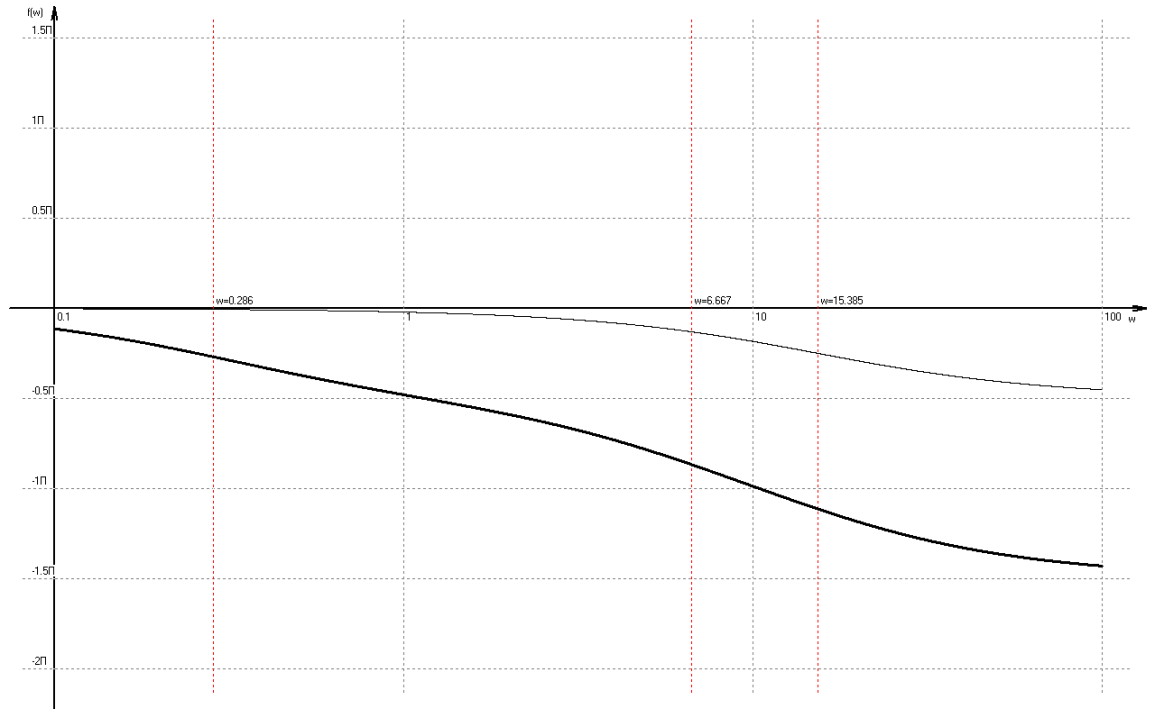


Рисунок 4.4 - Логарифмічна фазо-частотна характеристика САР

Оскільки при тому значенні  $\omega$  ( $\omega \rightarrow \infty$ ), при якому ЛФХ досягає значення  $-\pi$ , ЛАЧХ має від'ємне значення, то ми можемо ще раз підтвердити висновок п.5.2 та п.5.3 про те, що розглядувана АСР є стійкою.

#### 4.4 Побудова графіків перехідного процесу

Дослідимо перехідну характеристику замкненої САК (рис.5.1) як реакцію на одиничну керуючу функцію  $g(t) = p_{зад}(e) = 1(e)$ . Для цього скористаємося методом одиничних трапецій та трикутників. Насамперед згідно алгоритму даного методу побудуємо залежність дійсної частини  $U_3(\omega)$  амплітудно-фазової частотної характеристики від частот  $\omega$ .

Амплітудно-фазова частотна характеристика з (4.5) отримується шляхом заміни  $p \rightarrow j\omega$  у вигляді

$$W_3(j\omega) = \frac{k_0}{-jT_{30}\omega^3 - T_{20}\omega^2 + jT_{10}\omega + 1 + k_0}.$$

Згрупувавши у знаменнику дійсну та уявну частини отримуємо амплітудно-фазову частотну характеристику замкненої системи у вигляді

$$W_3(j\omega) = \frac{k_0 + j0}{(-T_{20}\omega^2 + 1 + k_0) + j(-T_{30}\omega^3 + T_{10}\omega)}.$$

Оскільки, згідно схеми типових перетворень, якщо  $W_3(j\omega) = \frac{C(\omega) + jD(\omega)}{E(\omega) + jF(\omega)}$ ,

то дійсні і уявні частини  $W_3(j\omega)$  визначаються як

$$U_3(\omega) = \frac{C(\omega) \cdot E(\omega) + D(\omega) \cdot F(\omega)}{E^2(\omega) + F^2(\omega)},$$

$$V_3(\omega) = \frac{D(\omega) \cdot E(\omega) - C(\omega) \cdot F(\omega)}{E^2(\omega) + F^2(\omega)}.$$

Для нашого випадку маємо, що

$$C(\omega) = k_0;$$

$$D(\omega) = 0;$$

$$E(\omega) = -T_{20}\omega^2 + 1 + k_0;$$

$$F(\omega) = -T_{30}\omega^3 + T_{10}\omega.$$

Тому дійсна частина амплітудно-фазової частотної характеристики матиме вигляд

$$U_3(\omega) = \frac{k_0 \cdot (-T_{20}\omega^2 + 1 + k_0)}{(-T_{20}\omega^2 + 1 + k_0)^2 + (-T_{30}\omega^3 + T_{10}\omega)^2}.$$

Змінюючи  $\omega$  від 0 до  $\omega_c$ , де  $\omega_c$  – границя області суттєвих частот (тобто таких, для яких виконується умова  $\left| \frac{U_3(0)}{U_3(\omega)} \right| \geq 10$ ), отримуємо характеристику

$U_3(\omega)$  (рис.4.5). Границя області суттєвих частот в нашому випадку є рівною  $37 \text{ c}^{-1}$ .

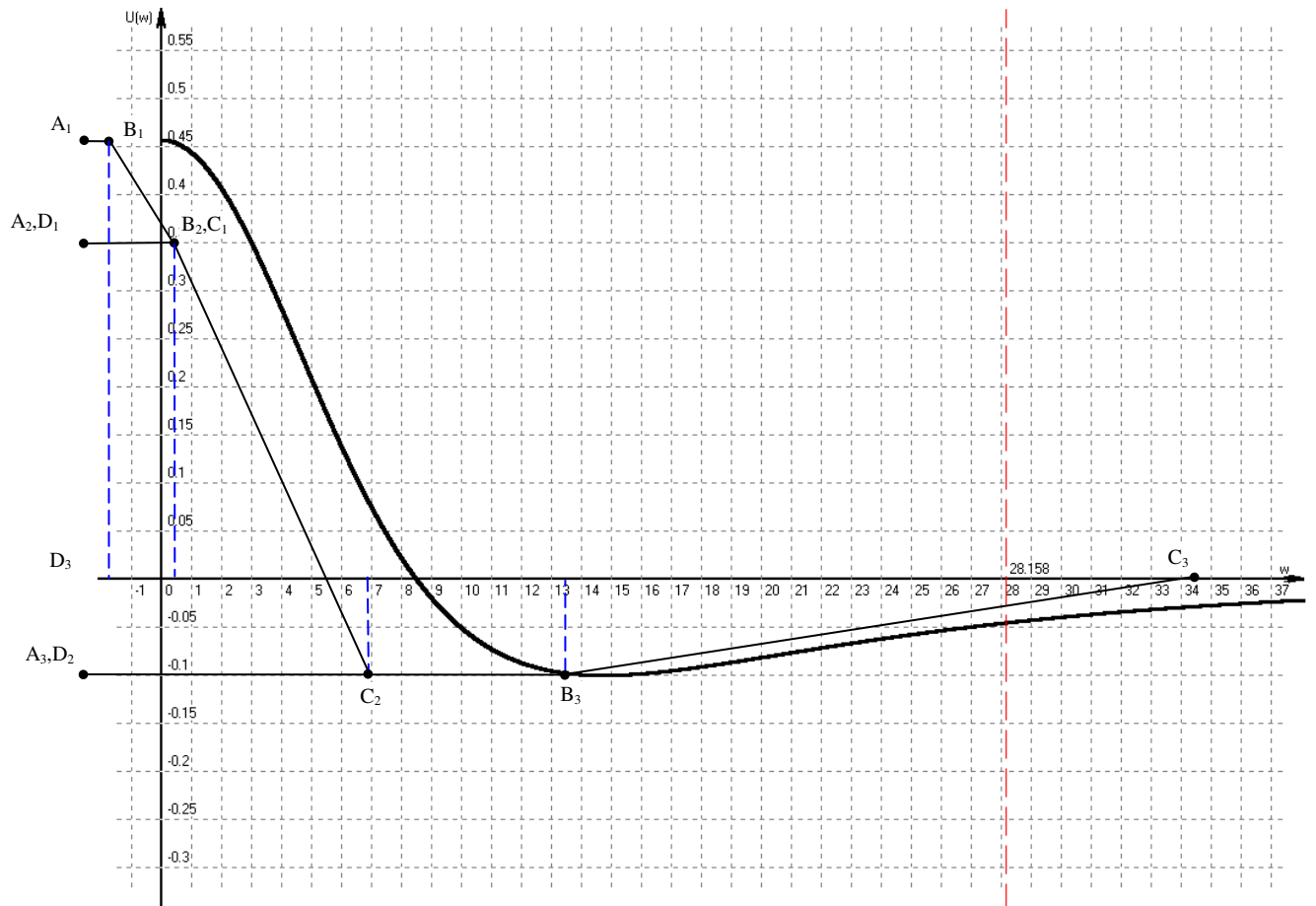


Рисунок 4.5 - Дійсна частина амплітудно-фазової частотної характеристики САК  $U_3(\omega)$

Отриману характеристику апроксимуємо рівнозначними фігурами  $H(\omega)$ . В нашому випадку це набір трьох трапецій (рис.4.6):

$$N1 - A_1B_1C_1D_1;$$

$$N2 - A_2B_2C_2D_2;$$

$$N3 - A_3B_3C_3D_3.$$

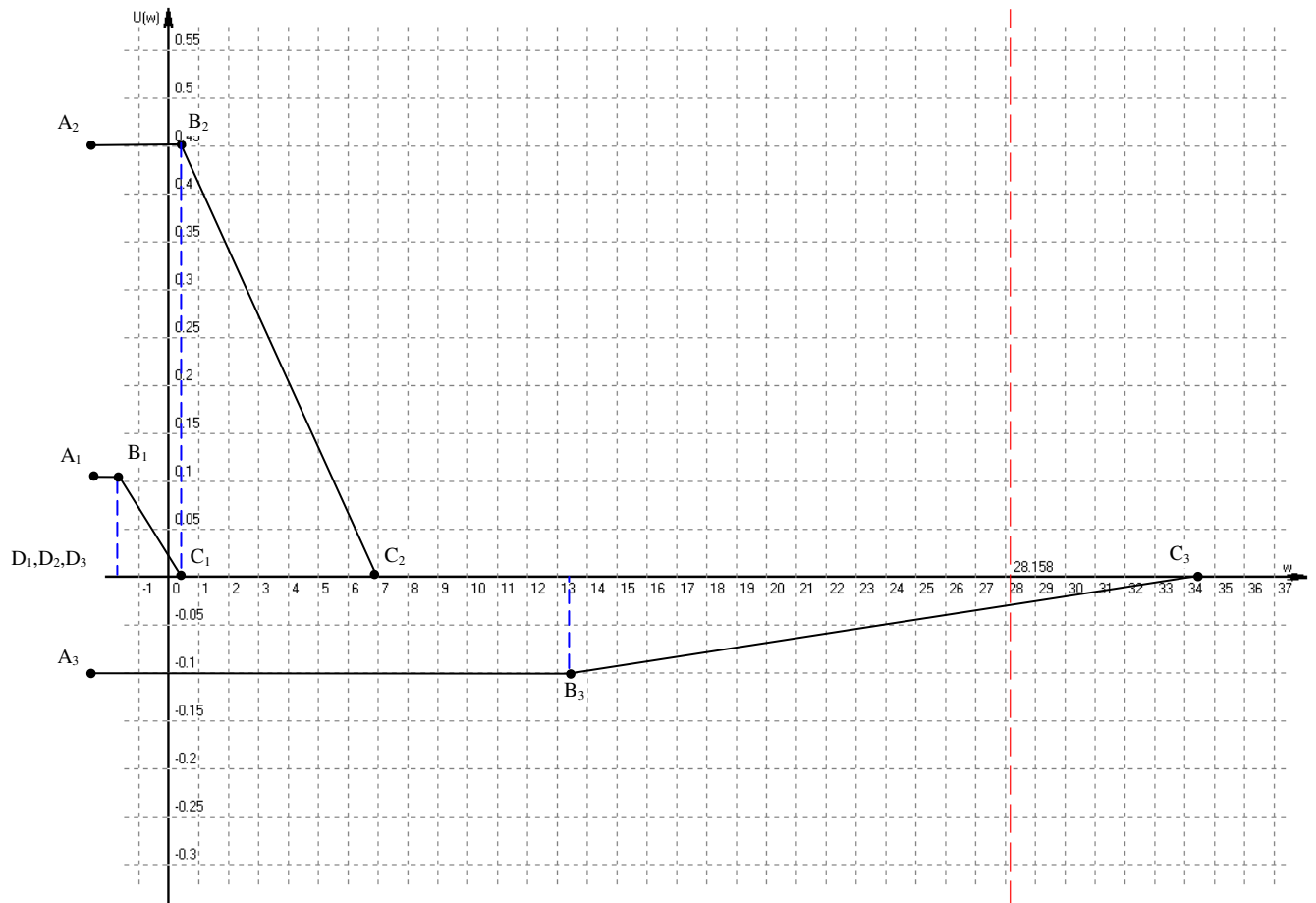


Рисунок 4.6 - Апроксимуючі еквівалентні трапеції

З рис.4.6 визначаємо висоти  $H_i$  та нахили сторін трапецій  $v_i$ :

$$N1: H_1=0,1; \omega_{1p}=3; \omega_{1o}=1; v_1=0,333;$$

$$N2: H_2=0,45; \omega_{2p}=9,5; \omega_{2o}=3; v_2=0,316;$$

$$N3: H_3=-0,1; \omega_{3p}=37; \omega_{3o}=16; v_3=0,432.$$

Перебираючи значення реального часу  $t$  від 0 до 0,7 с визначаємо відповідне значення табличного часу для кожної з трапецій  $\tau_x = \omega_{ip} t_x$ . Сумуючи вибрані значення для кожного моменту часу по всім апроксимуючим трапеціям отримуємо ординати функції перехідного процесу  $h(t)$ . Сполучивши знайдені точки на графіку між собою, отримуємо функцію графік перехідного процесу як реакцію на одиничну керуючу дію (рис.4.7).

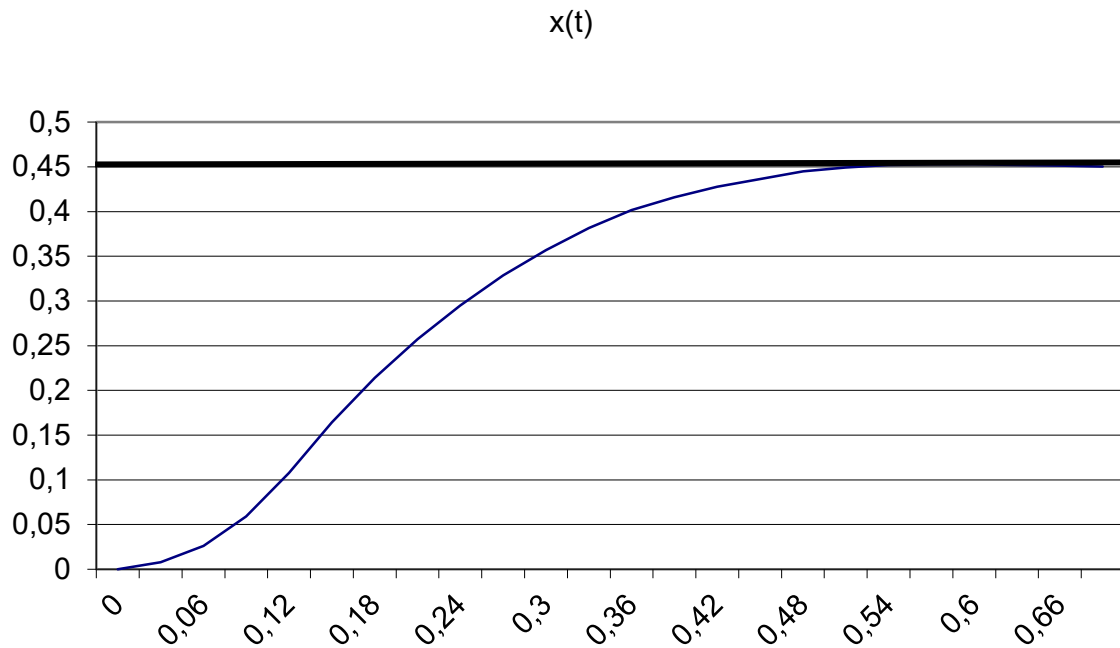


Рисунок 4.7 - Перехідний процес САК

Проведемо аналіз отриманої перехідної характеристики. Виходячи з рис.4.7 можемо визначити основні показники якості:

1) перерегулювання системи  $\sigma = \frac{h_{\max} - h_{cm}}{h_{cm}} \cdot 100\% = 0\%$ . Виходячи з цього

робимо висновок, що не потрібно використовувати регулятори для зменшення перерегулювання, оскільки це значення є меншим за 18%;

2) час регулювання складає 0,65 с;

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра був розглянутий технологічний процес виробництва печива. Дана частина технологічної лінії включає в себе дозування рецептур, замішування тіста, його бродіння та вилежування, ламінування, розкатування, формування тістових заготовок, випікання, охолодження та фасування.

Згідно завдання, виконано наступні пункти:

- 1) Розглянуті основні стадії виробництва, технологічні машини і агрегати, які використовуються у виробництві даного типу.
- 2) Визначено параметри, які регулюються при виробництві печива.
- 3) Вибрані і реалізовані технічні засоби для автоматизації даної лінії.
- 4) Складені алгоритми функціонування технологічної лінії.
- 5) Автоматизація проведена на базі контролерів серії ADAM4000.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Брикова Т. (2024). Система НАССР при виробництві напівфабрикатів. *Міжнародний науково-практичний журнал «Товари і ринки»*, 50(2), 93–109.
- 2) Романовська Т. І., Осейко М. І., Романовська Н. І., Романовський Н. О. (2022). Основні вимоги до системи управління безпечністю промислового харчового виробництва. *Наукові праці НУХТ*, 28(2), 8–23.
- 3) Гончаренко, Б. М., Ладанюк, А. П. (2014). *Автоматизація виробничих процесів харчових технологій*. Київ: РВЦ НУХТ. – 530 с.
- 4) Проць, Я. І., Савків, В. Б., Шкодзінський, О. К., Ляшук, О. Л. (2011). *Автоматизація виробничих процесів*. Тернопіль: ТНТУ. – 344 с.
- 5) González, M., & Pérez, M. (2020). Improvement of cookie production line efficiency through automation and process optimization. *Journal of Food Engineering*, 292, 110–118.
- 6) Smith, J., & Johnson, L. (2019). Application of HACCP principles in cookie manufacturing: A case study. *Food Control*, 98, 123–130.
- 7) Brown, P., & Williams, R. (2021). Technological advancements in cookie production: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(5), 2021–2030.
- 8) Дудко В. М. (2017). Впровадження системи НАССР на підприємствах харчової промисловості: нормативно-правова база та практичні аспекти. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 1(1), 45–50.
- 9) Zhu, L., Spachos, P., Pensini, E., & Plataniotis, K. (2021). *Deep Learning and Machine Vision for Food Processing: A Survey*. arXiv preprint arXiv:2103.16106. – 15 с.
- 10) Македон В. В. (2023). Розвиток системи стратегічного менеджменту міжнародних компаній на засадах крос-функціонального підходу. *European Journal of Management Issues*, 31(3), 177–188.

- 11) Альперін, І. В., Пупена, О. М., Сідлецький, В. М., Швед, С. М. (2015). *Автоматизація виробничих процесів*. Київ: Ліра-К. – 378 с.
- 12) Miller, A., & Davis, S. (2018). Sustainable practices in cookie manufacturing: Energy efficiency and waste reduction. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3456–3463.
- 13) Taylor, R., & Clark, D. (2022). Implementation of HACCP in small-scale cookie production: Challenges and solutions. *Food Safety Magazine*, 28(3), 45–52.

# ДОДАТКИ

### **3. JUSTIFICATION OF THE SELECTION OF THE FUNCTIONAL DIAGRAM OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM**

#### **3.1. JUSTIFICATION OF THE SELECTION OF AUTOMATION MEANS**

When choosing an automation object, attention was paid to improving the technological process after the implementation of a number of technical automation means. The purpose of implementing the TZA is to reduce manual work at the enterprise, reduce the amount of output defects associated with the human factor, increase the volume of products produced by reducing equipment downtime.

To automate the line, a number of sensors and actuators were selected that meet safety requirements and satisfy the appropriate operating conditions. Discrete mass and flow sensors built into the dispensers, using converters, produce a unified 10V signal for further control. According to the same principle, the controller receives a signal from a photosensor that monitors the presence of a flame torch. Analog sensors are also selected with the condition of their unified output signal in current or voltage. Thus, high accuracy and reliability of the equipment operation are ensured.

The actuators are also controlled by a unified signal of the controller through converters.

For automatic control and regulation, microprocessor devices of the ADAM4000 series from the manufacturer Advantech were selected. Their advantage is sufficient reliability, high accuracy, low power consumption and very flexible adjustment in accordance with the tasks set. Compared to other controllers of a similar type, ADAMs are cheaper, easy to program, have a built-in RS-485 interface with support for ModBus technology, which allows controlling the technological process from the SCADA system.

According to the functional scheme, the controllers were selected so that there were as few unused inputs or outputs as possible, thereby eliminating additional capital investments.

This line is designed for dough preparation, dough preparation, baking and packaging of cookies. The line can be divided into these separate automated sections.

### **3.2. JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF FUNCTIONAL SCHEME**

The technological process begins with the dosing of components in volumetric dispensers 2, where liquid formulations are supplied by pumps 1-4, 2-4. The installed primary converters FE1-1, FE2-1 measure the volume of consumable components and through the converters send a unified discrete signal to the controller input. When the maximum permissible volume in the dispensers is reached, the starting devices NS1-3, NS2-3 turn off the pumps 14-1, 13-1. The components are ready for the next emulsification. Similarly, the mass of yeast and sugar is dosed in weighing dispensers, where mass sensors WE3-1, WE5-1 are built-in. The material will be loaded until the required mass is in the hopper. The melted fat is fed by the pump 4-4 to the volumetric dispenser 1. When the required amount of fat in the hopper 1 is reached, the feed valve 4-6 is closed by the control body NS4-5 and at the same time the recirculation valve 4-8 is opened via the magnetic relay NS4-7. The fat is recirculated in order to maintain its viscous properties.

The temperature in the tank 9 with fat is constantly maintained using hot water, which is passed through the water jacket of the tank. The thermocouple TE6-1 sends a signal through the converter TT6-2 to the control and indicating device TIA6-3 on the panel and to the analog input of the controller. Depending on the temperature change in the tank, the controller generates a control signal for the damper servo installed on the inlet pipeline, closing or opening the damper and thereby regulating the temperature.

When all the dosing devices have the required number of components and there is enough space in the supply tank 11 to store the emulsion (according to the signal from the level sensor LE7-1, permission is set to turn on the emulsifier-homogenizer 10), the controller closes the starting mechanism NS7-4, which drives the emulsifier 10 and turns on the time relay of the emulsifier KS7-5 and the control lamp on the light board on the panel. After that, the valves 2-6, 4-10, 1-6, 3-4 and 5-4 are opened by magnetic starters 2-5, 4-9, 1-5, 3-3, 5-3, respectively. The components are loaded into the emulsifier and mixed. The emulsifier is turned off by the time relay after the operating time. Then the emulsion enters the supply tank 11, where it is stored at a constant temperature.

Temperature control is carried out along the circuit: thermal converter TE8-1, transmitting element TT8-2, control and indicating device TIA8-3. The signal is also sent to the controller. The latter, in accordance with the specified temperature limits, turns on and off the electric heating device through the NS8-4 thermostat. The pump 9-2 provides constant circulation of the emulsion in the supply tank for constant mixing with the recirculation valve 9-4 open. The pump 9-2 and the valve 9-4 are controlled from the control panel by the control elements NS9-1 and NS9-3.

To start kneading the dough, press the HS13-2 button on the panel, according to the signal from which the emulsion supply valve 12-5 opens by the start relay 12-4 and the recirculation valve 9-4 closes. NecessaryThe bottom amount of emulsion is determined by the flow sensor FE12-1, according to the signal from which the emulsion supply valve 12-5 is closed through the controller and the recirculation valve is opened again. The component flow rate is shown on the board on the FIA12-3 indicating device. At the same time, flour, crumbs, starch are loaded into the weighing dispensers by the feeder 17 until the required mass of the dosed components is reached. The WE10-1 mass sensor sends a signal through the WT10-2 converter to the controller, and the latter turns off the electric drive 10-4 of the feeder 17 and opens the electric valve 11-4, which supplies compressed air to the product line 21. After that, the drive 11-2 of the rotary feeder 20 is turned on and the loose mixture is fed to the dough mixer.

When the dosing is complete, the batch mixer 13 is turned on using the NS13-1 control element, thereby starting the KS13-3 time relay and the lamp on the panel. The machine operation is automatic and control consists only in turning on the machine.

The KS7-5, KS13-3 time relays are used to avoid accidental or repeated restarting of the equipment while the emulsifier or dough mixer is already running.

After mixing, the dough in the rolling bowls is brought to the lift, inserted into the guides and then the HS14-1 button on the panel is pressed to start the lift. The NS14-2 magnetic relay turns on the 14-3 drive motor.

The bowl is tipped over and the yeast dough falls into the receiving funnel 26. The built-in WE15-1 mass sensor supplies an analog signal to the controller corresponding to the weight of the dough in the funnel. If the mass reaches the maximum or the button HS16-1 on the panel is turned on, the controller gives a signal to turn on first the electric drive 17-4, which drives the plate conveyor 22, and then the electric drive 17-2 of the unloading rollers 27. Unloading continues until the minimum amount of dough is in the funnel, after which the engine 17-2 stops, the control lamp on the panel and the time relay KS17-5 turn on, which after 2.2 hours will turn off the conveyor drive and the regulating elements of the fermenter 23 if a signal to turn on the electric drive of the rollers 27 is not received from the controller or the manual control button on the panel.

After starting the conveyor, the temperature and humidity control in the fermenter begins. Fresh air is constantly pumped into the chamber by a fan. The fan is driven by the motor 18-5, which is switched on by the control element NS18-4. If the humidity is insufficient, then the signal from the humidity sensor ME19-1 through the converter MT19-2 receives a signal to the controller and the processed output signal of the controller controls the control element NS19-3, which opens or closes the valve 19-4 to supply water to the nozzle 24. The temperature sensor TE18-1 controls the heating process of the heater 25 in a similar circuit (sensor TE18-1, converter TT18-2, indicating device TIA18-3, controller, regulating body NS18-6).

After the dough has aged in the fermenter, the dough is loaded into the laminator funnel 28, where the WE20-1 mass sensor is installed. When the required amount of dough enters the funnel, the controller alternately checks the draft in the exhaust pipe of the furnace 36 using the pressure-vacuum sensor PE25-1, and the presence of a torch (photosensor BS27-1), having previously opened the gas supply valve 29-2 and started the igniter NS28-1. If there are any malfunctions and inconsistencies in the operation of the furnace, the corresponding signal lamps on the panel are turned on. Otherwise, the electric drives of the conveyors, spreading devices, exhaust fan and laminator are turned on alternately by the corresponding starting devices on the board with delays determined by the technological characteristics (23-2, 20-4, 20-6, 20-8, 20-10, 34-2, 21-2, 22-2 starters NS23-1, NS20-3, NS20-5, NS20-7, NS20-9, NS34-1, NS20-2, NS21-1, NS22-1, respectively) and the time relay KS20-11 of the furnace and forming machines. At the same time, the process of controlling the temperature in the furnace and cooler and the humidity of the incoming blanks begins. Humidity is sensed by the ME32-1 humidity sensor, a signal is transmitted by the MT32-2 device to the controller, and the controller uses this signal to control the NS32-3 servo drive on the valve 32-4.

The temperature in the furnace is sensed by the TE26-1 temperature sensor, the signal from which is amplified and transmitted to the TIR26-3 control and recording device and to the controller input. At critical temperature values in the furnace, the corresponding lights on the display are turned on. To regulate the temperature in the furnace, the gas supply to the combustion chamber is changed by controlling the damper 30-2 through the NS30-1 control element. The distribution of heated air in the furnace is carried out by fans driven by the engine 31-2 through the control element 31-1.

In the tunnel cooler, the temperature is regulated by the circuit: sensor TE33-1, converter TT33-2, information-recording device TIR33-3, control lamps on the display, controller, control device NS33-4, motor 33-5, which controls the speed of the cold air flow.

If a portion of dough does not enter the laminator funnel within 14 minutes and there are no more baked products in the oven, the equipment stops automatically. Also, The HS24-1 button is used to start the conveyors of the forming equipment, the oven and the cooler with the simultaneous blocking of other machines and ignition of the gas in the oven.

After baking, the finished cooled products enter the packing device 44, being loaded into the receiving hopper. The WE35-1 mass sensor is installed in the latter. If the mass of the cookies in the hopper is sufficient to start packing, the device is turned on by the NS35-3 starter and the control lamp on the display on the board lights up. The device is turned off if there are no cookies in the hopper.

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Удосконалення САК технологічної лінії виготовлення  
печива на ТОВ «Домінік Ко»

Кваліфікаційна робота бакалавра



**Виконав:**

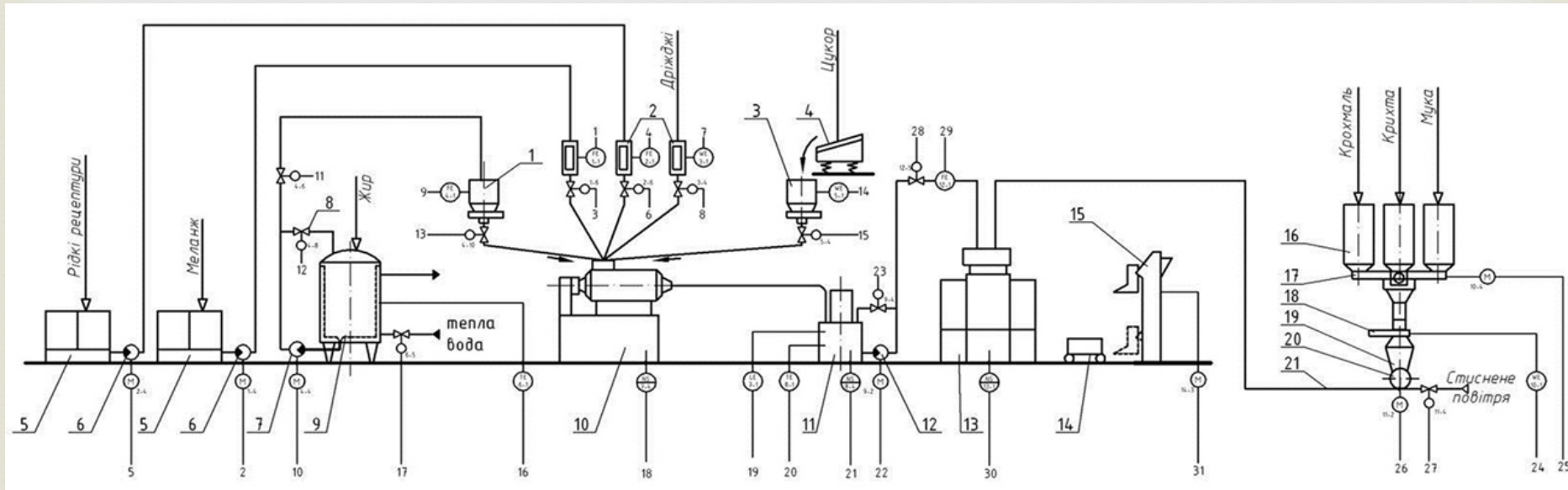
**Р. О. БІДАШ**

**Керівник:**

**Д. В. КОНОНЕНКО**

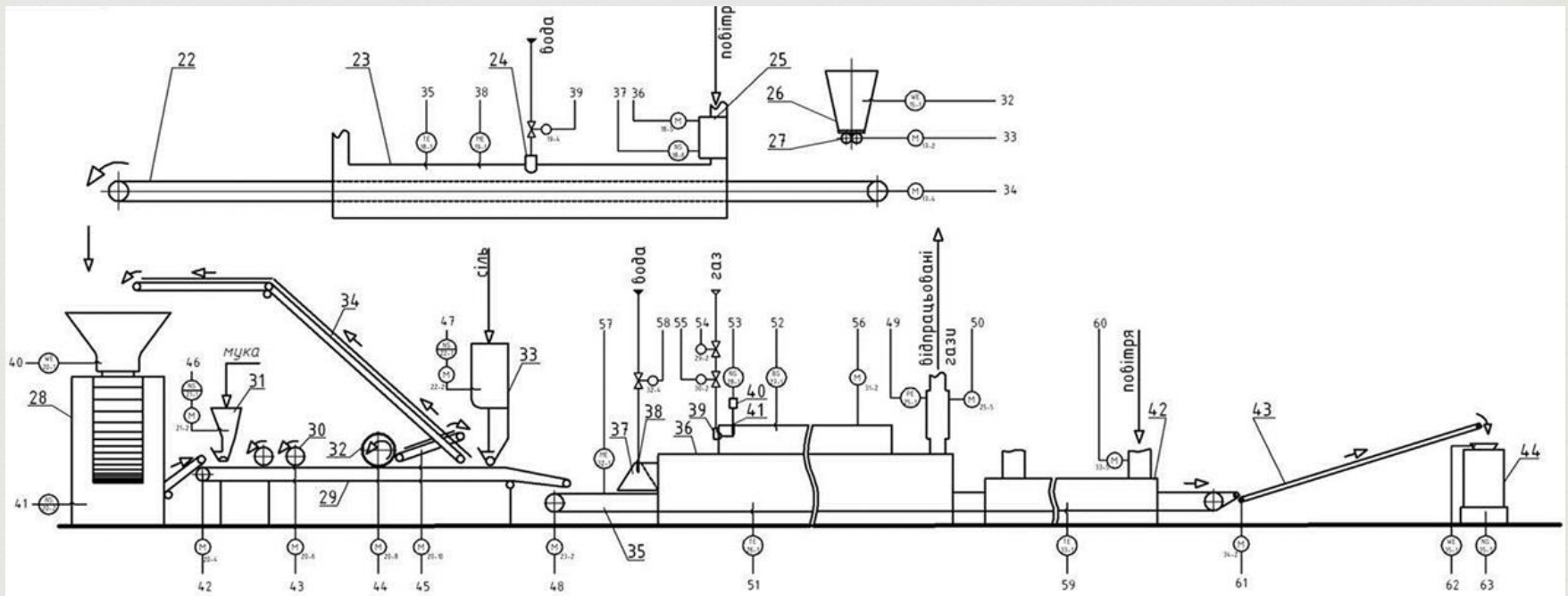
**Полтава 2025**

# Автоматизована система керування лінії виготовлення печива на ТОВ «Домінік Ко». Первинні перетворювачі встановлені на місці.

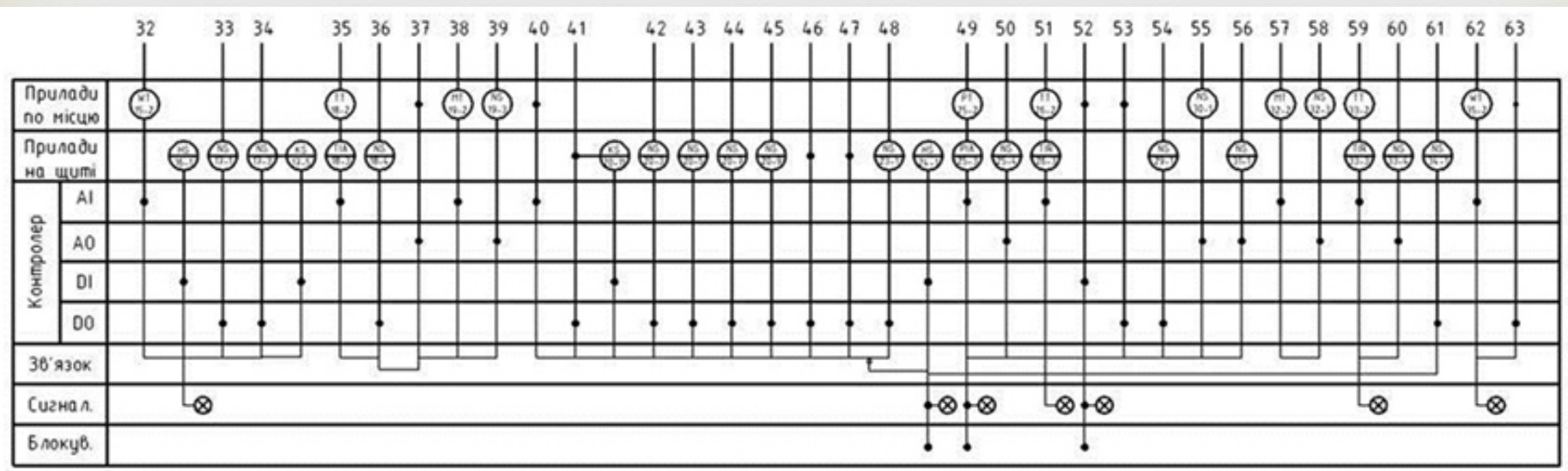




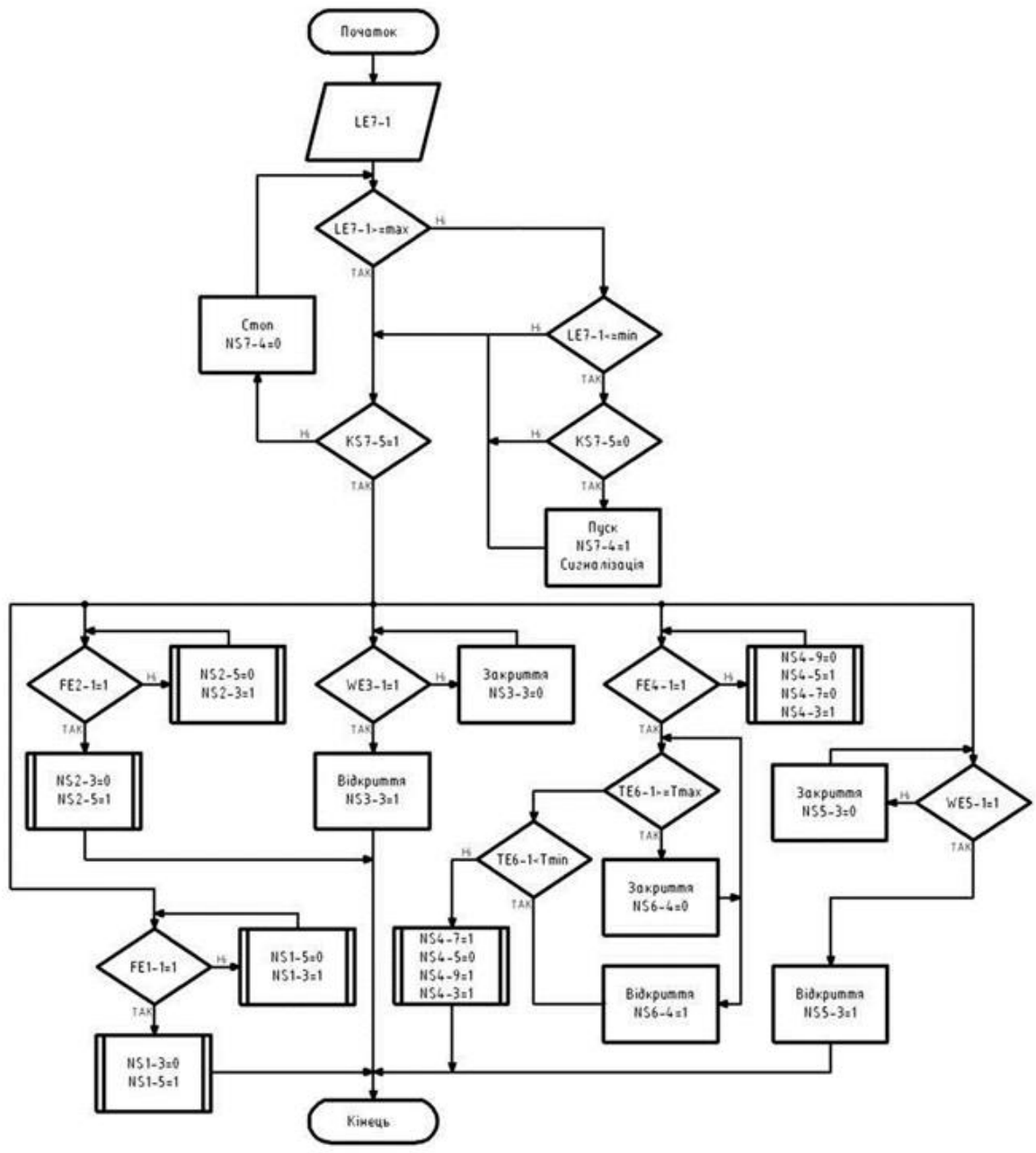
Продовження. Автоматизована система керування лінії виготовлення печива на ТОВ «Домінік Ко». Первинні перетворювачі встановлені на місці.



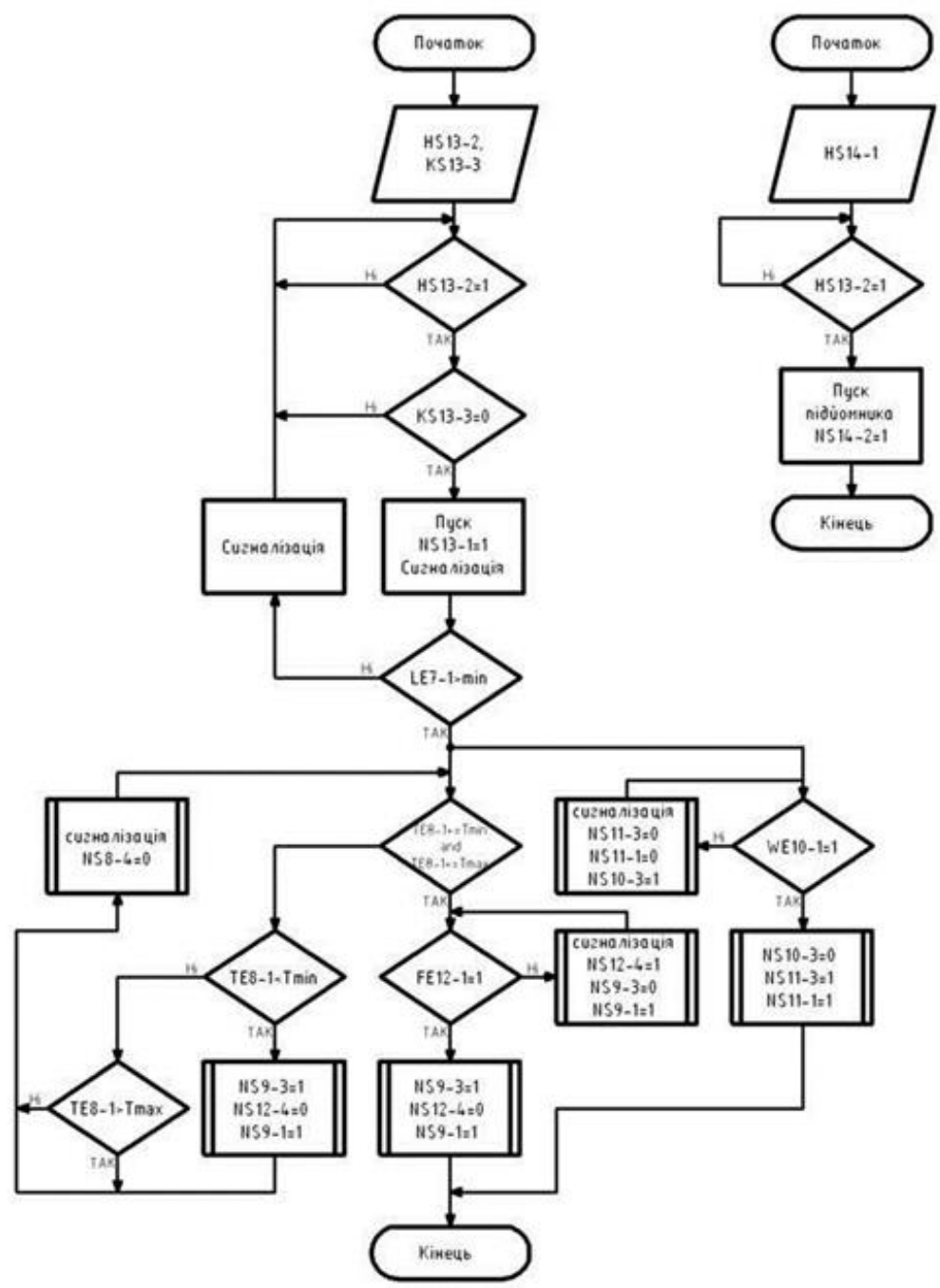
Продовження. Автоматизована система керування лінії виготовлення печива на ТОВ «Домінік Ко». Вторинні перетворювачі встановлені на щиті.

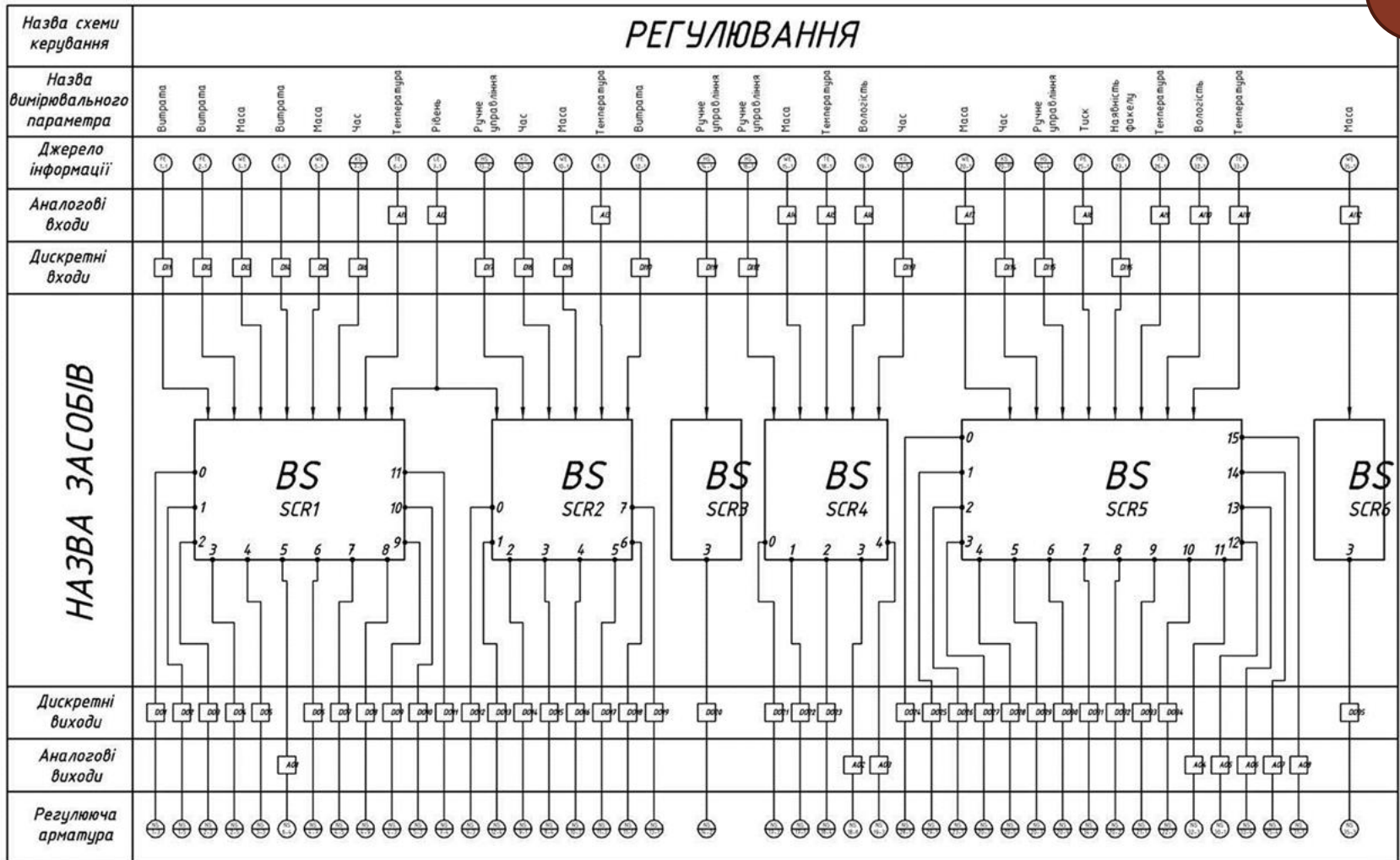


Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування основним технологічним процесом виготовлення багатокomпонентного тіста

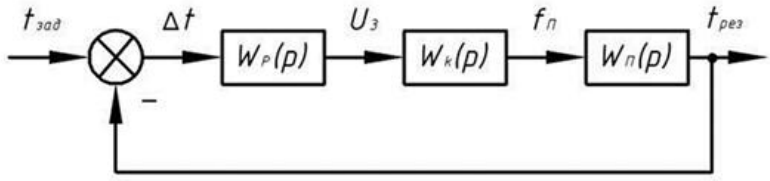


# Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування додатковим технологічним процесом випікання печива

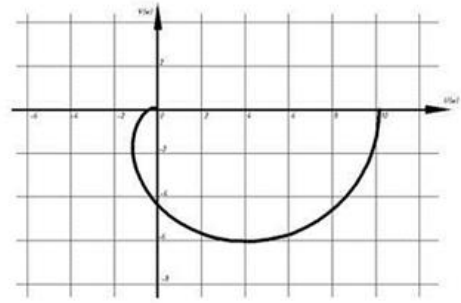




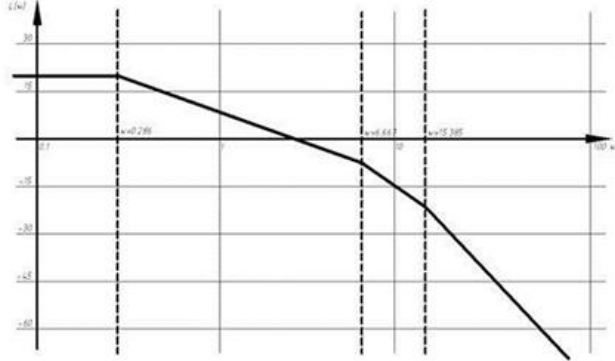
Програма функціонування автоматизованої системи контролю виготовлення печива



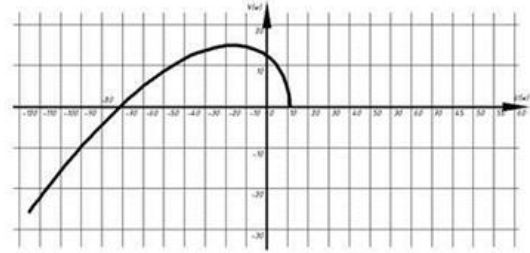
Структурна схема системи автоматичного регулювання температури подачі гарячого повітря



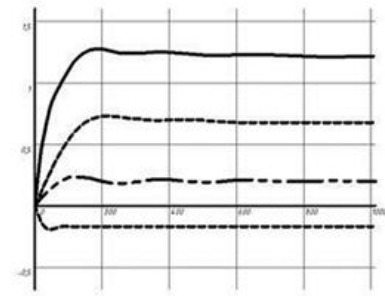
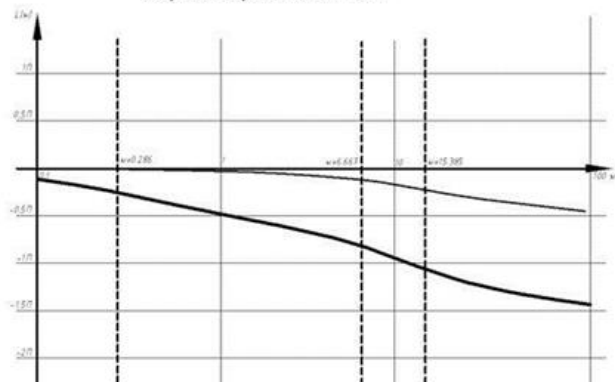
Амплітудно-фазова характеристика САК



Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика САК

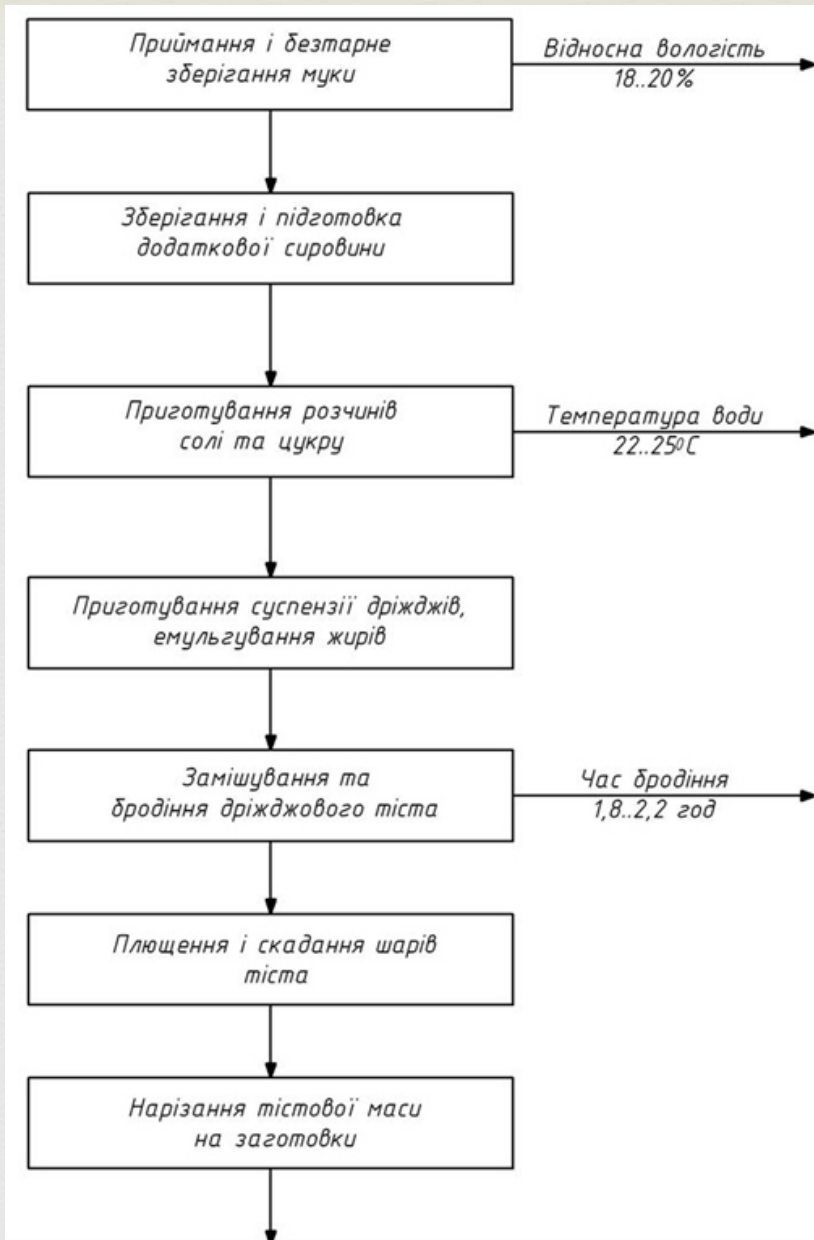


Годограф Михайлова

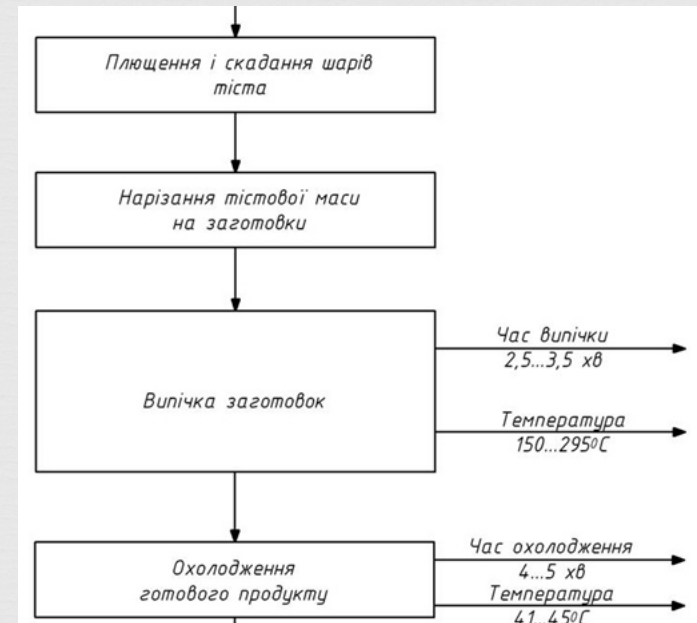


Перехідний процес САК

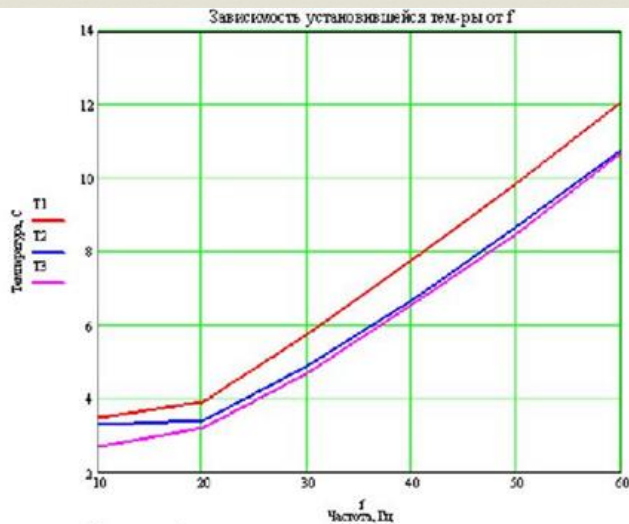
Результати моделювання САК температури в печі



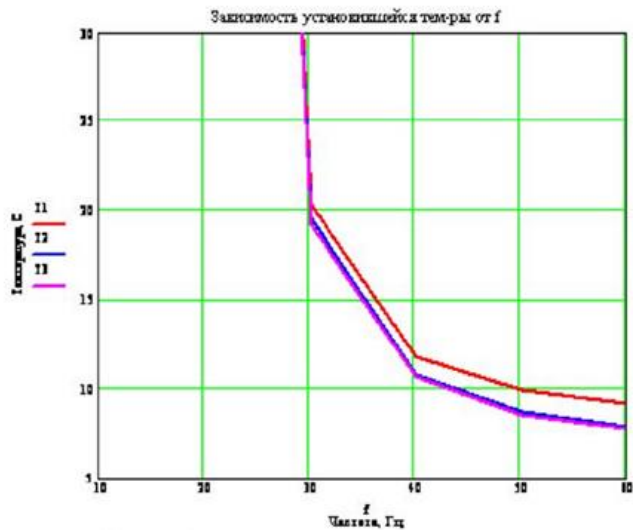
3



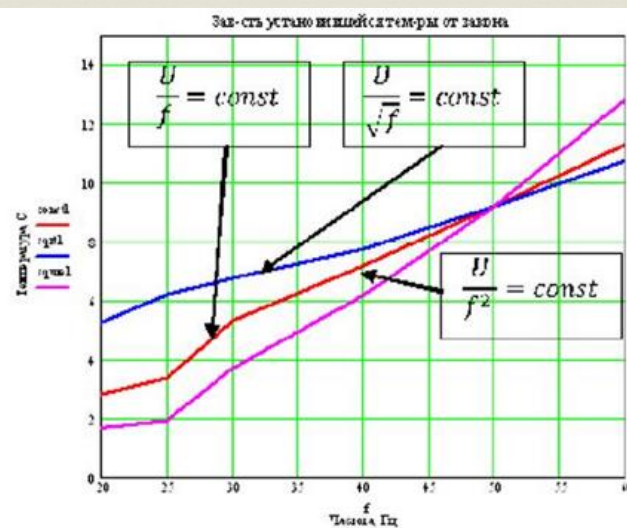
Удосконалений алгоритм технологічного процесу виготовлення печива заданої якості



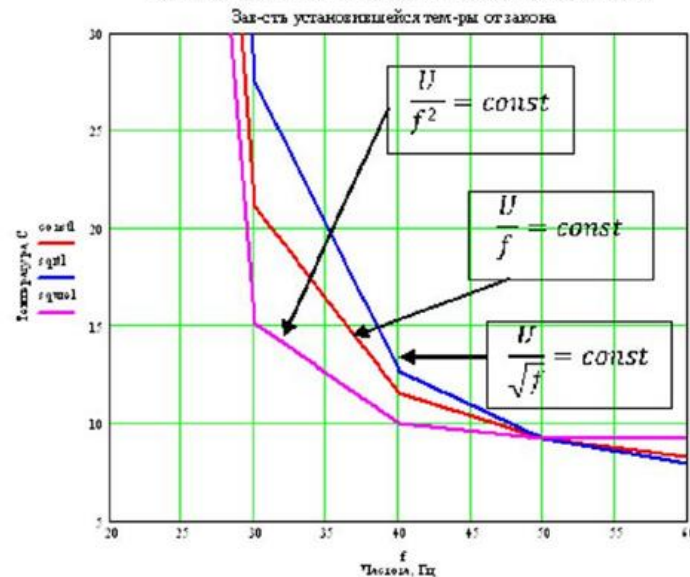
Залежність сталою перевищення температури частин двигуна від частоти живлячої напруги при однаковому навантаженні для двигуна із примусовою вентиляцією.



Залежність сталою перевищення температури частин двигуна від частоти живлячої напруги при однаковому навантаженні для двигуна із примусовою вентиляцією.



Залежність перевищення температури стали статора над навколишнім середовищем при трьох законах керування її різних частот для двигуна із примусовою вентиляцією.



Залежність перевищення температури стали статора над навколишнім середовищем при трьох законах керування її різних частот для двигуна із самовентиляцією.

- ❧ Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра був розглянутий технологічний процес виробництва печива. Дана частина технологічної лінії включає в себе дозування рецептур, замішування тіста, його бродіння та вилежування, ламінування, розкатування, формування тістових заготовок, випікання, охолодження та фасування.
- ❧ Згідно завдання, виконано наступні пункти:
- ❧ Розглянуті основні стадії виробництва, технологічні машини і агрегати, які використовуються у виробництві даного типу.
- ❧ Визначено параметри, які регулюються при виробництві печива.
- ❧ Вибрані і реалізовані технічні засоби для автоматизації даної лінії.
- ❧ Складені алгоритми функціонування технологічної лінії.
- ❧ Автоматизація проведена на базі контролерів серії ADAM4000.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!