

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)  
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв  
(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (кваліфікаційної роботи)

магістр

(освітній ступінь)

на тему: **Автоматизація та дослідження технологічного процесу  
виробництва томатної пасти на базі установки вакуумного  
випаровування**

Виконав: студент (ка) VI курсу, групи КАМ-61  
спеціальності 151 – Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(шифр і назва спеціальності)  
Броцак Олександр Степанович  
(прізвище та ініціали)

Керівник доц. Медвідь В.Р.  
(прізвище та ініціали)  
Нормоконтроль ст. викл. Козбур І.Р.  
(прізвище та ініціали)  
Завідувач кафедри доц. Савків В.Б.  
(прізвище та ініціали)  
Рецензент доц. Карташов В.В.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі проведено дослідження роботи автоматичної системи управління контролю установкою вакуумного випарювання томатної пасти та її згущення до заданого вмісту вологи у кінцевому продукті.

Технологічний процес згущення продукту методом вакуумного випарювання проходить при значеннях температури нагріву сировини до стану кипіння значно нижчих ніж за нормальних умов, при звичайному атмосферному тиску. Забезпечення низьких температур кипіння сировини і скорочення тривалості технологічного переходу випарювання найкраще забезпечує кінцеву якість харчових продуктів та ефективність установки в цілому, – підвищення її енергоефективності та скорочення тривалості виробничого циклу.

В даній кваліфікаційній роботі запропоновано удосконалену динамічну модель установки вакуумного випарювання, яка враховує зміни по каналах збурення, а саме, – відхилення витратних характеристик, температурні коливання теплоносія та сировини, динамічні зміни параметрів тиску у камері установки.

Створено структурну динамічну схему вакуумвипарної установки, визначені передавальні функції по каналах управління, відхилення та збурення. Запропоновано алгоритм роботи ПД-регуляторів в автоматичній системі управління і контролю вакуумною установкою випарювання.

Проведено розрахунок оптимальних налаштувань пропорційної, інтегруючої та диференціальної складових регулятора, що значно підвищило ефективність використання енергоресурсів при реалізації даного технологічного процесу.

В кваліфікаційній роботі розроблено автоматизовану систему керування установкою вакуумного випарювання УВИП-20/5 – на базі програмованого контролера МСХ53-32.х .

## SUMMARY

In the qualification work, a study of the automatic control system of the control of the installation of vacuum evaporation of tomato paste and its thickening to a given moisture content in the final product.

The technological process of thickening the product by the method of vacuum evaporation takes place at the values of the heating temperature of the raw material to the boiling point much lower than under normal conditions, at normal atmospheric pressure. Ensuring low boiling points of raw materials and reducing the duration of the technological transition of evaporation best ensures the final quality of food and the efficiency of the installation as a whole - increasing its energy efficiency and reducing the duration of the production cycle.

This qualification work proposes an improved dynamic model of vacuum evaporation installation, which takes into account changes in the perturbation channels, namely - deviations of flow characteristics, temperature fluctuations of the coolant and raw materials, dynamic changes of pressure parameters in the installation chamber.

The structural dynamic scheme of the vacuum evaporator installation is created, the transfer functions on control channels, deviations and perturbations are defined. An algorithm for the operation of PID controllers in the automatic control and monitoring system of the vacuum evaporation unit is proposed.

The calculation of the optimal settings of the proportional, integrating and differential components of the regulator, which significantly increased the efficiency of energy use in the implementation of this process.

In the qualification work the automated control system of the UVIP-20/5 vacuum evaporation unit was developed - on the basis of a programmable controller MCX53-32.x .

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	1
ЗМІСТ .....	3
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	7
1.1 Аналіз та обґрунтування тематики кваліфікаційної роботи .....	7
1.2 Аналіз вихідної інформації кваліфікаційної роботи.....	8
1.3 Огляд сучасного вакуумновипарного устаткування .....	9
1.4 Технологічні операції та процеси і їх характеристики.....	10
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	11
2.1 Модель установки вакуумного випарювання.....	11
2.2 Аналіз процесу вакуумного випарювання плодоовочевих сумішей для виготовлення концентратів .....	22
2.3 Методики проведення експерименту та досліджень процесу вакуумного випарювання багатокomпонентних плодоовочевих сумішей в умовах вакууму.....	24
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	30
3.1 Визначення виробничої програми в цеху плодоконсервного заводу .....	30
3.2 Вибір, обґрунтування параметрів технології виготовлення пасти томатної .....	31
3.3 Технологічні розрахунки установки вакуумного випарювання продуктивністю 20 т/год.....	34
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	38
4.1 Розробка конструкції установки вакуумного випарювання .....	38
4.1.1 Аналіз структури та складу вакуумновипарної установки.....	38
4.2 Розрахунки деталей вакуумновипарної установки. Розрахунок ланцюгової передачі приводу вакуумновипарної установки.....	38
4.3 Склад та принцип функціонування вакуумновипарної установки.....	41
4.4 Розробка системи автоматизації лінії виробництва томатної пасти.....	43
4.5 Розробка автоматизованої системи управління і контролю установки вакуумно-випарної УВИП-20/5 – на базі програмованого контролера.....	49

4.5.1 Призначення.....	49
4.5.2 Склад і функціонування.....	51
4.5.3 Робота з модулем.....	52
4.5.5 Підключення до комп'ютера .....	53
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	54
5.1 Програмування модуля RS 2-1 в мережах MODBUS.....	54
5.2 Формати команд .....	54
5.3 Алгоритм обчислення контрольного циклічного коду (CRC16).....	58
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	61
6.1 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	61
6.1.1 Правила безпеки при експлуатації обладнання, що проектується.....	61
6.1.2 Розрахунок природнього освітлення для проектованої ділянки.....	63
6.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	65
6.2.1 Основні заходи захисту населення і територій .....	65
6.2.2 Евакуаційні заходи .....	67
6.2.3 Розрахунок евакуаційних шляхів із виробничих приміщень (ділянки) цеху що проектується. ....	68
ВИСНОВОК.....	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	74
ДОДАТКИ.....	77

## ВСТУП

Харчова промисловість є одна з найважливіших галузей у народному господарстві.

Задачі, які стоять перед харчовою промисловістю, - переробка сезонного урожаю сільськогосподарського виробництва без витрат, із збереженням його природних якостей при високій ефективності виробничих процесів.

Основна увага автоматизації в цій галузі народного господарства приділяється управляючим об'єктом, їх підготовці до автоматизації, принципом роботи вимірювальних систем, законом керування, їх реалізації при автоматизації локальних автоматичних систем управління.

Важливе місце в харчовій промисловості займає галузь виробництва плодово-овочевих консервів. Виробництво консервованої продукції на сучасному етапі розвитку галузі переводиться на технічну базу з сучасним технологічним устаткуванням, режимами роботи і параметри технологічних процесів, які реалізовані на ньому, визначаються, управляються і контролюються автоматичними системами створеними на основі автоматичних мікропроцесорних систем управління або за допомогою комп'ютерно-інтегрованих систем з електронно-обчислювальними пристроями.

На сучасному етапі розвитку науково-технічного прогресу у промисловості ті інших галузях особлива роль належить мікропроцесорній та комп'ютерно-інтегрованій техніці. Використання засобів мікропроцесорної техніки у системах автоматичного управління (САУ) забезпечують якісне покращення та підвищення їх властивостей і можливостей.

Впровадження мікропроцесорних пристроїв в системи автоматичного управління корелює з принципіальними змінами у їх структурі, відповідно це накладає вплив на їхні характеристики. Приорітетними стають структури САУ з децентралізацією управління, багатопроцесорні системи, системи з переналагоджуваною побудовою, яка реалізує адаптивні та оптимальні

алгоритми управління і регулювання. Відповідно зазнали змін методи та засоби проектування САУ.

Програмованість мікропроцесорних пристроїв дає змогу гнучкого оперативного переналагодження алгоритмів роботи систем управління і контролю, перебудови їх структури для забезпечення адаптивності їх до варіативних умов функціонування.

Використання мікропроцесорних пристроїв у системах автоматичного управління і контролю вимагає рішення ряду завдань, особливості яких обумовлені розподіленими принципами управління в реальному масштабі часу, цифровим видом інформації яка обробляється. Тому актуально є обґрунтовано обирати структуру багатопроцесорних систем автоматичного управління, які би забезпечували необхідну топологію систем, їх продуктивність, надійність та, відповідно, відмово стійкість.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз та обґрунтування тематики кваліфікаційної роботи

Для виготовлення харчових продуктів в'язкої консистенції з овочевої, фруктової сировини, молочних продуктів застосовують різні методи видалення надлишкової вологи з пюре, яке утворюється з вихідних продуктів внаслідок їхнього перемелювання, перетирання. Видалення надлишкової вологи проводять до відповідного згущеного або сухого (порошкоподібного) стану.

Найчастіше даний процес проводять використовуючи технологічні операції випарювання вихідних продуктів. Відповідно, дана технологічна операція проводиться за рахунок нагрівання сировини, доведення її до стану кипіння, за рахунок чого надлишкова волога випаровується. Так як сировина органічного походження при нагріві виникає небезпека її підгоряння, втрати відповідних органолептичних і смакових характеристик. Крім цього, доведення до кипіння пюре з плодів та овочів на тривалий руйнує його вітамінні складові, що приводить до зниження якості кінцевої продукції.

Випарювання є одним з найпоширеніших методів первісного зневоднювання або концентрування багатьох продуктів, вироблених у харчових галузях промисловості, включаючи молочну, цукрову промисловість, виробництво фруктових соків і т.д. Останнім часом велике поширення як у закордонній, так і у вітчизняній практиці одержали вакуум-випарні установки. Вони використовуються для згущення молока й молочних продуктів і концентрування термолабільних розчинів, для концентрування фруктових і овочевих соків, виробництва томатної пасти.

Використання вакуумних випарних установок дозволить проводити технологічний процес випарювання при значно нижчих температурних режимах, що відповідно дозволить заощадити значну кількість енергоресурсів та підвищить якість кінцевого продукту.



## 1.2 Аналіз вихідної інформації кваліфікаційної роботи

Вихідними даними у кваліфікаційній роботі є технічні умови на технологічний процес виготовлення томатної пасти, технічна і експлуатаційна документація установки вакуум-випарної УВВ–20/0,8, річна програма випуску, виробничі програми, потужність, продуктивність машин, вимоги до якості кінцевого продукту згідно ДСТУ 3343-89, тощо.

У цеху плодоконсервного заводу виготовляють плодово-овочеві консерви, компоти на основі різноманітної фруктово–ягідної сировини в залежності від сезону дозрівання, томатну пасту. Сезон виробництва та заготівлі розпочинається в основному з червня: полуниці, вишні, черешні; і закінчуючи листопадом: помідори, сливи, абрикоси, яблука різних сортів, груші. Також застосовують чорну смородину, горобину, виноград. Процес виробництва триває в залежності від наявності сировини. Основна тара для герметичного закупорювання скляні банки об'ємом 1л, 2л, 3л.

Таблиця 1.1 – Основні техніко–економічні показники плодоконсервного заводу

№ п/п	Назва	Одиниці вимірювання	2005	2006
1.	Консерви, всього	тис. л	3116	3128
2.	Консерви плодово–овочеві	тис. л	128	238
3.	Томатна паста	тис. л	2200	2250
4.	Томатні соуси	тис. л	35	76
5.	Повидло	тис. л	231	287
6.	Мариновані вироби	тис. л	395	228

Загальні характеристики виробничих потужностей представлені в Додатку 1.

Цех працює в одну зміну.

Основне технічне обладнання цеху складається:

Мийна машина КУМ–1.

Мийна машина 2В–СП–60.

Закупорочна машина А9–КЗТ

Машина етикерувальна ВЭМ

Вакуумновипарна установка ВИУО–20/5, продуктивність 20 т/добу

Наповнювач ПРН–600

### **1.3 Огляд сучасного вакуумновипарного устаткування**

Розглянемо деякі існуючі конструкції випарних апаратів, які використовуються для випарювання вологи з харчових продуктів.

У роботі розглянуті наступні аналоги вакуум-випарного обладнання, які використовуються у харчовій галузі для згущення продуктів.

1. Випарний апарат ПН–1800
2. Вакуумновипарний апарат МЗС–241а
3. Вакуумновипарна установка для отримання томатної пасти продуктивністю 20 т/добу, УВИП–20/5
4. Вакуумновипарні апарати фірми ФЛАЙТ–М.
  - Трикорпусний вакуумновипарний апарат Т–215
  - Трикорпусний вакуумновипарний апарат Т–230
  - Трикорпусна вакуумновипарна установка Т–230/20
5. Вакуумновипарні установки ВІГАНД
6. вакуумновипарна установки Віганд 2000

Детально опис принципу їх функціонування, технічні і експлуатаційні характеристики, технологічні схеми розглянуті в Додатку 6.

## 1.4 Технологічні операції та процеси і їх характеристики

В цеху плодоконсервного заводу установлена автоматизована універсальна лінія виробництва пасти томатної, яка реалізує неперервний технологічний процес.

Доставка томатів на завод відбувається у ящиках згідно ГОСТ 13359–78 і ГОСТ 20463–78 місткістю не більше 25 кг, а також транспортують навалом в автомашинах та самоскидах.

Приймання сировини здійснюється партіями, величина яких обмежується однією транспортною одиницею. Визначення якості відбувається згідно з правилами приймання і методами визначеними в ГОСТ 27572–80. Термін зберігання томатів не повинен перевищувати однієї доби.

Процес виготовлення томатної пасти складається з наступних етапів:

- Приймання сировини
- миття сировини;
- інспекція;
- подрібнення сировини;
- гомогенізація;
- протирання сировини (очищення від кісточок, шкірки...);
- згущення на випарній установці
- підготовка тари;
- розфасовування в банки;
- стерилізація в автоклаві;
- оформлення тари етикетками;
- складування.

Основна сировина для виготовлення томатної пасти свіжі помідори.

Дана технологічна лінія є лінією безперервної дії. Універсальність лінії дає можливість виготовляти томатну пасту з різним вмістом сухих речовин.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Модель установки вакуумного випарювання

Видалення вологи із продукту при кипінні (випарювання) — найбільше широко розповсюджений спосіб концентрування. Харчові продукти, що піддаються концентруванню, являють собою складну систему, у якій крім розчинених у воді цукрів, органічних кислот, мінеральних солей і інших речовин присутні зважені частки різного ступеня дисперсності.

Випарювання води супроводжується складними фізико-хімічними змінами. У процесі випарювання збільшуються щільність продукту і його в'язкість. Під дією тепла відбувається коагуляція білків, деякий гідроліз складних органічних сполук, а також реакції з'єднання – меланоїдиноутворення, карамелізації й ряд інших.

Maillard reaction) або реакція меланоїдиноутворення — реакція взаємодії амінокислот з редуруючими цукрами під впливом високої температури з утворенням забарвлених (меланоїдинів) та ароматичних сполук. Має дуже важливе значення у приготуванні їжі.

Таким чином, при концентруванні неперервно змінюються основні властивості продукту. Тому обґрунтування та підбір режимів і умов концентрування є найважливішою складовою при реалізації технологічного процесу й пристроїв для концентрування харчових продуктів.

Найважливіший спосіб видалення води з харчових продуктів при концентруванні – дистиляція.

Випарювання проводять при таких технологічних режимах, при яких можна найбільше повно зберегти цінні компоненти і складові продуктів й властиві їм колір, смак і запах. Цього можна досягти при низьких температурах кипіння й короткочасному перебуванні продукту у випарних апаратах, що найкраще забезпечує вакуумне випарювання харчових продуктів.

Нагрівання сировини до температури кипіння здійснюють за допомогою різних теплоносіїв, але в харчовій промисловості, за звичай в

якості нагрівника, використовують водяну пару. Пару, яка використовується для нагріву сировини в першому контурі, називають первинною, вторинна (сокова) пари утворюється при випарюванні рідини із сировини. Процес випарювання реалізують при нормальному значенні атмосферного тиску або при від'ємних його значеннях, під вакуумом.

Під час випарювання при атмосферному тиску вторинну пару звичайно відводять в атмосферу. Даний метод є найбільш простим, але малоекономічним, який погіршує кінцеву якість продукту за рахунок високої температури нагрівання.

При випарюванні під вакуумом точка кипіння розчину знижується, що дає змогу застосувати для нагріву сировини у випарних установках пару низького тиску. Перевагою вакуумних установок випарювання є зменшення втрат тепла і збільшення корисної різниці між значеннями температур нагрівної пари та киплячої сировини. Випарювання здійснюють в одному випарному апараті (однокорпусна установка) або в декілька послідовно встановлених апаратах (багатокорпусна установка).

Однокорпусна вакуумна випарна установка застосовується для випарювання невеликої кількості рідини, коли економія теплоносіїв не досягає великих значень.

Багатокорпусна вакуумна випарна установка складається з кількох послідовно з'єднаних однокорпусних випарних апаратів. У цих установках для обігріву другого й наступного корпусів використовується вторинна (сокова) пара. Передавання тепла реалізовано за рахунок різниці між температурою нагрівної пари і температурою кипіння розчину сировини. Знижені значення температури кипіння досягаються за рахунок зниження тиску в кожному наступному апараті в порівнянні з попереднім.

У прямоточній випарній установці, завдяки перепаду тисків, розчин з попереднього корпусу в наступний переходить самопливом, паралельним потоком до пари. При переході з попереднього корпусу в наступний розчин виявляється перегрітим внаслідок того, що попадає в простір з більш низькою температурою й меншим тиском. У результаті самовипарювання

видаляється певна кількість рідини. Сокова пара з останнього корпусу надходить у барометричний конденсатор.

Для проектування систем автоматичного управління і контролю вакуумних випарних установок необхідно проаналізувати їх динамічні моделі, котрі будуть враховувати параметри тепломасообмінних процесів, котрі проходять у камері випарника.

Традиційні системи автоматичного управління для вакуумно-випарних апаратів мають незалежні контури керування по основним технологічним параметрам, – температура, значення тиску. Подібний підхід негативно впливає на точність підтримування необхідних значень технологічного процесу вакуумного випарювання через відсутність врахування низки додаткових вхідних параметрів, особливо при їх динамічній зміні.

Відомі виробники вакуумних установок випарювання та іншого технологічного обладнання для харчової промисловості EbbotLaboratories, Wiegand, AlfaLaval [1-4] використовують спрощені динамічні моделі вакуумного випарювання і в якості систем автоматичного управління застосовують ПД-регулятори на базі мікропроцесорних контролерів [5–7].

Головним недоліком таких спрощених динамічних моделей є відсутність врахування динамічних змін та навантажень у системі у широкому спектрі параметрів. Відповідно при змінах навантажень вакуумної випарної установки, наприклад, при відхиленнях подачі сировини у робочу область установки, зміні витратних характеристик подачі теплоносія, для підтримування необхідних технологічних параметрів в заданих межах виникає необхідність коригування параметрів налаштувань автоматичних регуляторів вакууму та температури.

Корекція значень налаштувань регуляторів виконується обслуговуючим, що підвищує ризики виникнення помилок. Теплові навантаження зростають, що приводить до малоефективного використання теплоносіїв [5, 8, 9].

В даній роботі запропоновано удосконалену динамічну модель установки вакуумного випарювання, яка враховуватиме зміни по каналах

збурення, а саме, – відхилення витратних характеристик подачі сировини, температурні коливання сировини та теплоносія, динамічні зміни параметрів тиску у камері установки. Відповідно побудована структурна динамічна схема установки вакуумного випаровування з визначеними передавальними функціями по каналах керування та збурення. Відповідно визначено алгоритми роботи регуляторів в автоматичній системі управління і контролю вакуумною установкою випарювання, розраховано оптимальні їх налаштування [10, 11], що дозволить значно покращити ефективність використання енергоресурсів при реалізації даного технологічного процесу.

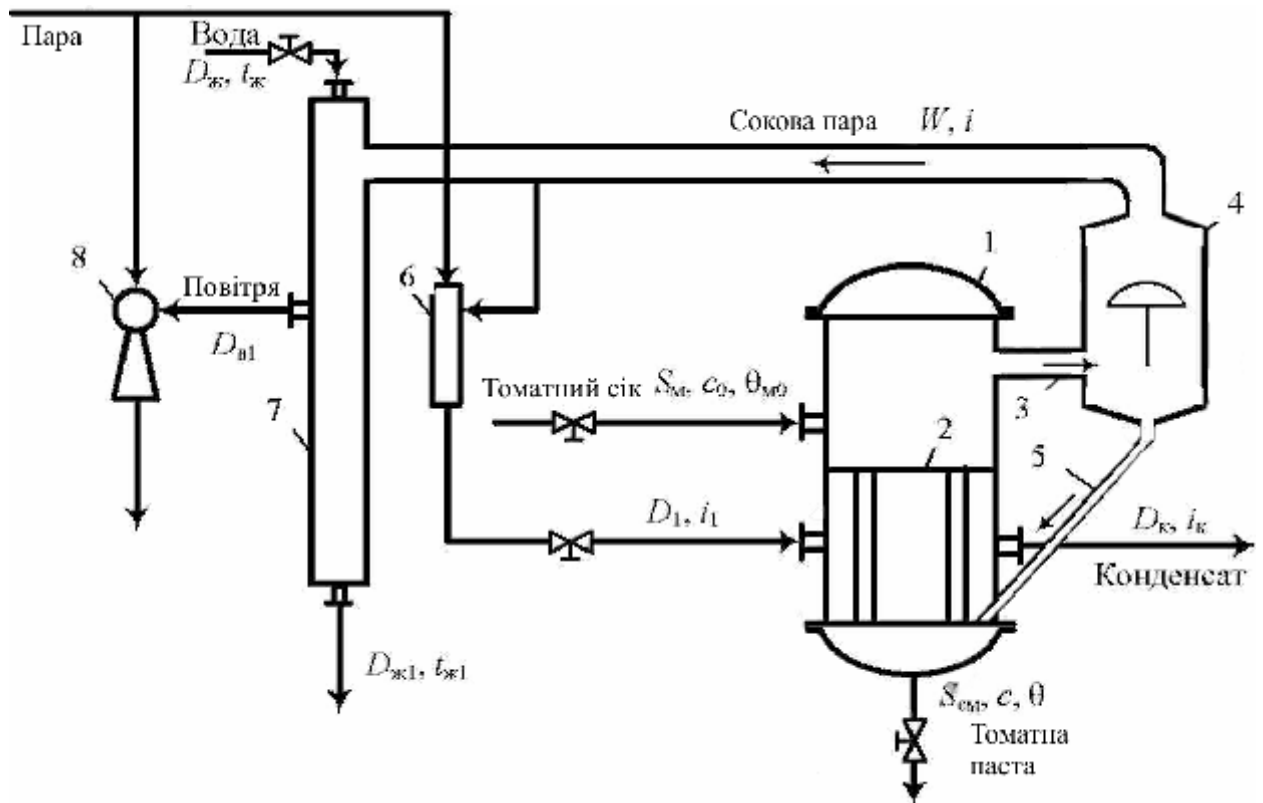


Рисунок 2.1 Технологічна схема однокорпусної вакуумновипарної установки

Спрощена схема однокорпусної вакуумновипарної установки [15] наведена на мал. 2.1. Установка складається з випарного апарата 1, у який подається продукт з температурою не нижче 75–80 °С. Продукт надходить у широку трубу гріючої камери 2, у простір під нижніми трубними ґратами, де миттєво закипає й спрямовується в кип'ятильні труби. Парорідинна суміш із кип'ятильних труб надходить у збірник над верхніми трубними ґратами й

направляється з великою швидкістю по верхній циркуляційній трубі 3 у паровідділювач (сепаратор) 4, здобуваючи обертовий рух. Завдяки виникаючій при цьому відцентровій силі відбувається поділ крапельок рідини й вторинної пари. Продукт по нижній циркуляційній трубі 5 повертається в гріючу камеру, а сокова (вторинна) пара направляється в конденсатор змішування 7. Частина вторинної пари через термокомпресорний блок 6 використовують у якості як гріючої пари. Повітря й інші неконденсовані гази видаляються з вакуумновипарної установки пароежекторним агрегатом 8. У випарній установці протікають наступні основні процеси [16]: конденсація пари в гріючій камері, передача теплоти від пари через поверхню нагрівання й шари забруднень до киплячого продукту, кипіння продукту, відділення пари чистого розчину від рідини й сепарація пари.

Представимо гріючу камеру, як сукупність наступних елементів: пари в камері, плівки конденсату на поверхні нагрівання, неконденсованих газів, конденсату, що накопичується гріючій камері, металу корпусу й ізоляції [16, 17]. Для побудови моделі гріючої камери, прийmemo наступні припущення: обсяг пари в гріючій камері, дорівнює обсягу цієї камери, швидкості зміни температур пари й плівки конденсату рівні, стінка гріючої камери, і ізоляція розглядаються як зосереджені ємності через їх невелику аккумуляючу здатність, у перехідному процесі швидкості зміни температури пари й середньої температури металу корпусу рівні, теплоємності металу й ізоляції не залежать від температури, температура ізоляції  $\theta_H = (\theta_M + \theta_0) / 2$ , де  $\theta_M$  – температура металу корпусу;  $\theta_0$  – температура навколишнього середовища. З урахуванням цих допущень рівняння матеріального й теплового балансів гріючої камери, можуть бути записані в наступному виді:

$$p(V\rho_n + V_k\rho_k) = D_1 - D_k - D_1' \quad (2.1)$$

$$p(V\rho_n u_n + V_k\rho_k c_k t_k) + (c_{mm} G_{mm} + 0.5c_i G_i) p t_n = (D_1 - D_1') i_1 - Q_1 - Q' \quad (2.2)$$

де  $p = d / d\tau$  – оператор диференціювання за часом;  $\tau$  – час;  $V$  – об'єм камери нагрівання;  $\rho_n$  – густина нагрівної пари;  $V_k$  – об'єм плівки



конденсату;  $\rho_k$  – густина конденсату;  $G_{MT}$  – маса металу корпусу грійочої камери;  $D_1$  – витрати нагрівної пари,  $D_K$  – витрати конденсованої вологи;  $D_1'$  – витрати теплоносія на відвід неконденсованих газів;  $u_n$  – енергія пари в нагрівній камері;  $c_{mm}$  – теплоємність матеріалу корпусу нагрівної камери;  $c_k$  – теплоємність конденсату;  $t_k$  – температура конденсату;  $t_n$  – температура пари в нагрівній камері;  $c_i$  – теплоємність ізоляції грійочої камери;  $G_i$  – маса ізоляції грійочої камери;  $i_1$  – ентальпія теплоносія;  $i_k$  – ентальпія конденсату;  $Q'$  – потік теплової енергії назовні;  $Q_i$  – потік переданий поверхнею нагрівання.

Величина  $Q_1$  визначається відповідно до рівняння теплопередачі

$$Q_1 = \frac{F_1' (t_n - t_c)}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_c}{2\lambda_c}} \quad (2.3)$$

де  $F_1'$  – площа поверхні нагрівання з боку пари, що конденсується;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі при конденсації;  $\delta_c$  – товщина стінки поверхні нагрівання;  $\lambda_c$  – теплопровідність стінки поверхні нагрівання;  $t_c$  – температура поверхні нагрівання.

Розглянувши спільно вирази (2.1)–(2.3), одержимо наступне рівняння, котре описує динаміку зміни температури пари в грійочій камері

$$a_1 p t_{\Pi} = -a_2 t_{\Pi} + a_3 t_c + a_4 (D_1 - D_1') + a_5, \quad (2.4)$$

$$a_1 = V (\rho_{\Pi} \partial u_{\Pi} / \partial t_{\Pi} + (u_{\Pi} - i_k) \partial \rho_{\Pi} / \partial t_{\Pi}) + V_k \rho_k (c_k + t_k \partial c_k / \partial t_{\Pi}) + c_{MT} G_{MT} + 0,5 c_{\Pi} G_{\Pi};$$

$$a_4 = i_1 - i_k; \quad a_2 = a_3 = F_1' / (1/\alpha_1 (t_{\Pi}, t_c) + \delta_c / 2\lambda_c); \quad a_5 = -Q'.$$

Динаміка зміни температури поверхні нагрівання  $t_c$  може бути описана наступною формулою [16]:

$$c_1 p t_c = -c_2 t_c + a_2 t_{\Pi} + c_3 \theta, \quad (2.5)$$

де  $c_1 = c_{MT} G_3$ ,  $G_3$  – маса металу, що охоплює паро-рідинний простір;  $c_2 = a_2 + c_3$ ;  $c_3 = F_1'' / (1/\alpha_2 (t_c, \theta, b) + \delta_c / 2\lambda_0 + R_i(\tau))$ ;  $\theta$  – температура кипіння продукту;  $F_1''$  – площа поверхні нагрівання з боку киплячого продукту;  $\alpha_2$  –

коефіцієнт тепловіддачі при кипінні;  $b$  – концентрація сухих речовин у продукті;  $R_i$  ( $\tau$ ) – термічний опір накипу;  $\tau$  – тривалість роботи випарного апарата після очищення поверхні нагрівання.

Використання (2.5) припускає виконання наступних умов: труби випарника мають однакові геометричні розміри й виконані з матеріалу з однаковими теплофізичними властивостями, тепловий потік уздовж осі труби відсутній, всі труби випарника сприймають однакові кількості теплоти, поверхня нагрівання розглядається як зосереджена ємність [16].

Виконаємо лінеаризацію рівнянь (4), (5) і перейдемо від абсолютних значень змінних стану до їхніх приростів у безрозмірній формі. Безрозмірні прирости змінних стану задамо шляхом розподілу відхилень цих змінних на їхні значення в рівноважному стані і застосуємо до них перетворення Лапласа:

$$t_n^* = L(\Delta t_n / t_{n0}); \quad t_c^* = L(\Delta t_c / t_{c0});$$

$$D_1^* = L(\Delta D_1 / D_{10}); \quad D_1'^* = L(\Delta D_1' / D_{10}');$$

$$Q'^* = L(\Delta Q' / Q_0); \quad \theta^* = L(\Delta \theta / \theta_0); \quad b^* = L(\Delta b / b_0); \quad R_i^* = L(\Delta R_i / R_{i0}),$$

(тут і далі символ  $L$  позначає перетворення Лапласа,  $\Delta$  – відхилення, а додатковий індекс 0 мають значення відповідні змінні у рівноважному стані).

Відповідно при початкових нульових умовах лінеаризована модель динаміки гріючої камери, представляється в операторній формі:

$$t_n^* = W_{11}(s)t_c^* + W_{12}(s)D_1^* + W_{13}(s)D_1'^* + W_{14}(s)Q'^*$$

$$t_c^* = W_{21}(s)t_n^* + W_{22}(s)\theta^* + W_{23}(s)b^* + W_{24}(s)R_i^*$$

де  $W_{ij}(s) = k_{ij} / (T_i s + 1)$  – передавальні функції гріючої камери, по каналах нанесення зовнішніх впливів;  $k_{ij}$  – коефіцієнти передачі гріючої камери;  $T_i$  – постійні часу гріючої камери;  $i = 1, 2$ ;  $j = 1, 4$ ;  $s$  – комплексна змінна. Коефіцієнти передачі й постійні часу визначаються по наступним формулам:

$$k_{11} = -l_{12}t_{c0}/l_{11}t_{n0}; \quad k_{12} = -l_{13}D_{10}/l_{11}t_{n0}; \quad k_{13} = -l_{14}D'_{10}/l_{11}t_{n0};$$

$$k_{14} = -l_{15}Q'_0/l_{11}t_{n0}; \quad T_1 = -1/l_{11};$$

$$l_{11} = \frac{\partial}{\partial t_{\Pi}} \left( \frac{a_3 t_c + a_4 (D_1 - D'_1) + a_5 - a_2 t_{\Pi}}{a_1} \right) \Big|_0; \quad l_{12} = \frac{\partial}{\partial t_c} \left( \frac{a_3 t_c - a_2 t_{\Pi}}{a_1} \right) \Big|_0;$$

$$l_{13} = \frac{\partial}{\partial D_1} \left( \frac{a_4 D_1}{a_1} \right) \Big|_0; \quad l_{14} = \frac{\partial}{\partial D'_1} \left( \frac{-a_4 D'_1}{a_1} \right) \Big|_0; \quad l_{15} = \frac{\partial}{\partial Q'} \left( \frac{a_5}{a_1} \right) \Big|_0;$$

$$k_{21} = -l_{22}t_{n0}/l_{21}t_{c0}; \quad k_{22} = -l_{23}\theta_0/l_{21}t_{c0}; \quad k_{23} = -l_{24}b_0/l_{21}t_{c0};$$

$$k_{24} = -l_{25}R_{n0}/l_{21}t_{c0}; \quad T_2 = -1/l_{21};$$

$$l_{21} = \frac{\partial}{\partial t_c} \left( \frac{a_2 t_{\Pi} + c_3 \theta - c_2 t_c}{c_1} \right) \Big|_0; \quad l_{22} = \frac{\partial}{\partial t_{\Pi}} \left( \frac{a_2 t_{\Pi} - c_2 t_c}{c_1} \right) \Big|_0; \quad l_{23} = \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{c_3 \theta - c_2 t_c}{c_1} \right) \Big|_0;$$

$$l_{24} = \frac{\partial}{\partial b} \left( \frac{c_3 \theta - c_2 t_c}{c_1} \right) \Big|_0; \quad l_{25} = \frac{\partial}{\partial R_{\Pi}} \left( \frac{c_3 \theta - c_2 t_c}{c_1} \right) \Big|_0$$

де символом  $\Big|_0$  про позначена підстановка у формули вектора  $t_{n0}, t_{c0}, D_{10}, D'_{10}, \theta_0, b_0, R_{i0}$  після обчислення похідних.

Коефіцієнти передачі й постійна часу визначаються по наступних формулах:

$$l_{41} = \frac{\partial}{\partial b} \left( \frac{b_M S_M - b S_{CM} + b W}{f_1} \right) \Big|_0; \quad l_{42} = \frac{\partial}{\partial S_M} \left( \frac{b_M S_M}{f_1} \right) \Big|_0; \quad l_{43} = \frac{\partial}{\partial b_M} \left( \frac{b_M S_M}{f_1} \right) \Big|_0;$$

$$l_{44} = \frac{\partial}{\partial h} \left( \frac{b_M S_M - b S_{CM} + b W}{f_1} \right) \Big|_0; \quad l_{45} = \frac{\partial}{\partial S_{CM}} \left( \frac{b W - b S_{CM}}{f_1} \right) \Big|_0;$$

$$l_{46} = \frac{\partial}{\partial W} \left( \frac{b W - b S_{CM}}{f_1} \right) \Big|_0.$$

$$k_{51} = -l_{42}S_{M0}/l_{41}b_0; \quad k_{52} = -l_{43}b_{M0}/l_{41}b_0; \quad k_{53} = -l_{44}h_0/l_{41}b_0;$$

$$k_{54} = -l_{45}S_{CM0}/l_{41}b_0; \quad k_{55} = -l_{46}W_0/l_{41}b_0; \quad T_5 = -1/l_{41};$$

Для побудови математичної моделі, що описує динаміку каналу вакуумметричного тиску, представимо конденсатор змішування 7 (мал. 2.1) сукупністю наступних елементів: пароповітряного простору, рідини на

полицях й у струменях, металу корпусу й полиць [16, 17].

Прийmemo наступні допущення: температури пари, металу й тиск є зосередженими параметрами, пара в конденсаторі – суха насичена, температура пари й температура газів, що не конденсуються, рівні, склад газів, що не конденсуються, близький до складу повітря, фізичні параметри рідини й металу не залежать від температури й тиску, тиск в установці дорівнює сумі парціальних тисків пари й повітря  $q = q'' + q$ , у конденсатор надходить сокова пара з витратою  $W$ . Позначимо інші змінні стани конденсатора змішання в такий спосіб:  $t''$  – температура сокової пари в конденсаторі;  $t_{ж}$  – те ж охолодної води на вході в конденсатор;  $t_{ж1}$  – тієї ж води на виході з конденсатора;  $D_{жк}$  – витрата води на вході в конденсатор;  $D_{жк1}$  – те ж на виході з конденсатора;  $D_B$  – те ж на вході в конденсатор;  $D_{B1}$  – те ж на виході з конденсатора;  $G_B$  – маса повітря в конденсаторі;  $G_x$  – те ж води в конденсаторі;  $\varepsilon = G/G_{жк}$ ;  $Q_n$  – втрати теплоти в навколишнє середовище.

Тоді з урахуванням прийнятих допущень динаміку зміни тиску  $q$  можна описати наступним рівнянням [16]:

$$g_1 pq = g_2 t'' + g_3 t_{ж1} + g_4 t_{ж} + g_5 + g_6,$$

де  $g_i$  – нелінійні функції від змінних стану конденсатора змішування  $t''$ ,  $D_{жк}$ ,  $D_{жк1}$ ,  $D_{B1}$ ,  $D_B W$ ,  $e$ ,  $Q_n$ , конструктивних параметрів і теплофізичних властивостей теплоносія системи,  $i=1:6$ .

Тоді при нульових початкових умовах лінеаризована модель динаміки зміни вакуумметричного тиску може бути представлена в операторній формі

$$q^* = W_{61}(s)t''^* + W_{62}(s)D_{жк}^* + W_{63}(s)D_{жк1}^* + W_{64}(s)D_B^* + W_{65}(s)D_{B1}^* + \\ + W_{66}(s)\varepsilon^* + W_{67}(s)W^* + W_{68}(s)Q_n^*,$$

де  $W_{6i}(s) = k_{6i}/s$  – передавальні функції парорідинного простору по каналах нанесення зовнішніх впливів ( $i = 1:8$ );  $k_{6i}$  – коефіцієнти передачі, розраховані по наступних формулах:

$$k_{61} = l_{51} t''_{к0}/q_0; \quad k_{62} = l_{52} D_{ж0}/q_0; \quad k_{63} = l_{53} D_{ж10}/q_0; \quad k_{64} = l_{54} D_{в0}/q_0; \quad k_{65}$$

$$l_{55} D_{в10}/q_0;$$

$$l_{51} = \left. \frac{\partial}{\partial t''_к} \left( \frac{g_2 t''_к + g_3 t_{ж1} + g_4 t_{ж} + g_5 + g_6}{g_1} \right) \right|_0;$$

$$k_{66} = l_{56} \varepsilon_0/q_0; \quad k_{67} = l_{57} W_0/q_0; \quad k_{68} = l_{58} Q_{п0}/q_0;$$

$$l_{52} = \left. \frac{\partial}{\partial D_{ж}} \left( \frac{g_2 t''_к + g_3 t_{ж1} + g_4 t_{ж} + g_5 + g_6}{g_1} \right) \right|_0;$$

$$l_{53} = \left. \frac{\partial}{\partial D_{ж1}} \left( \frac{g_2 t''_к + g_3 t_{ж1} + g_5 + g_6}{g_1} \right) \right|_0; \quad l_{54} = \left. \frac{\partial}{\partial D_{в}} \left( \frac{g_2 t''_к + g_5 + g_6}{g_1} \right) \right|_0;$$

$$l_{57} = \left. \frac{\partial}{\partial W} \left( \frac{g_3 t_{ж1} + g_6}{g_1} \right) \right|_0; \quad l_{58} = \left. \frac{\partial}{\partial Q_{п}} \left( \frac{g_6}{g_1} \right) \right|_0,$$

Таким чином, отримана лінеаризована система рівнянь (2.6), (2.7), (2.13), (2.14), (2.17), (м19) описує динаміку вакуумновипарної установки по керуючим і впливам, що обурюють. Структурна схема моделі, побудована на основі цієї системи, наведена мал. 2.2.

Вихідними параметрами динамічної моделі установки вважаємо: значення температури сировини у корпусі вакуумного випарника  $-\theta$ , рівень сировини в робочій зоні випарника  $-h$ , концентрація вмісту сухих складових продукту  $-b$ , значення тиску вакууму  $-q$ .

В якості керуючих дій автоматичної системи управління використовуються витратні характеристики теплоносія  $D_1$ , витратні характеристики вхідної сировини  $S_m$ , витратні характеристики продуктів згущення  $S_{CM}$ , витратні характеристики охолоджувача на конденсацію пари соку продукту  $D_{ж}$ .

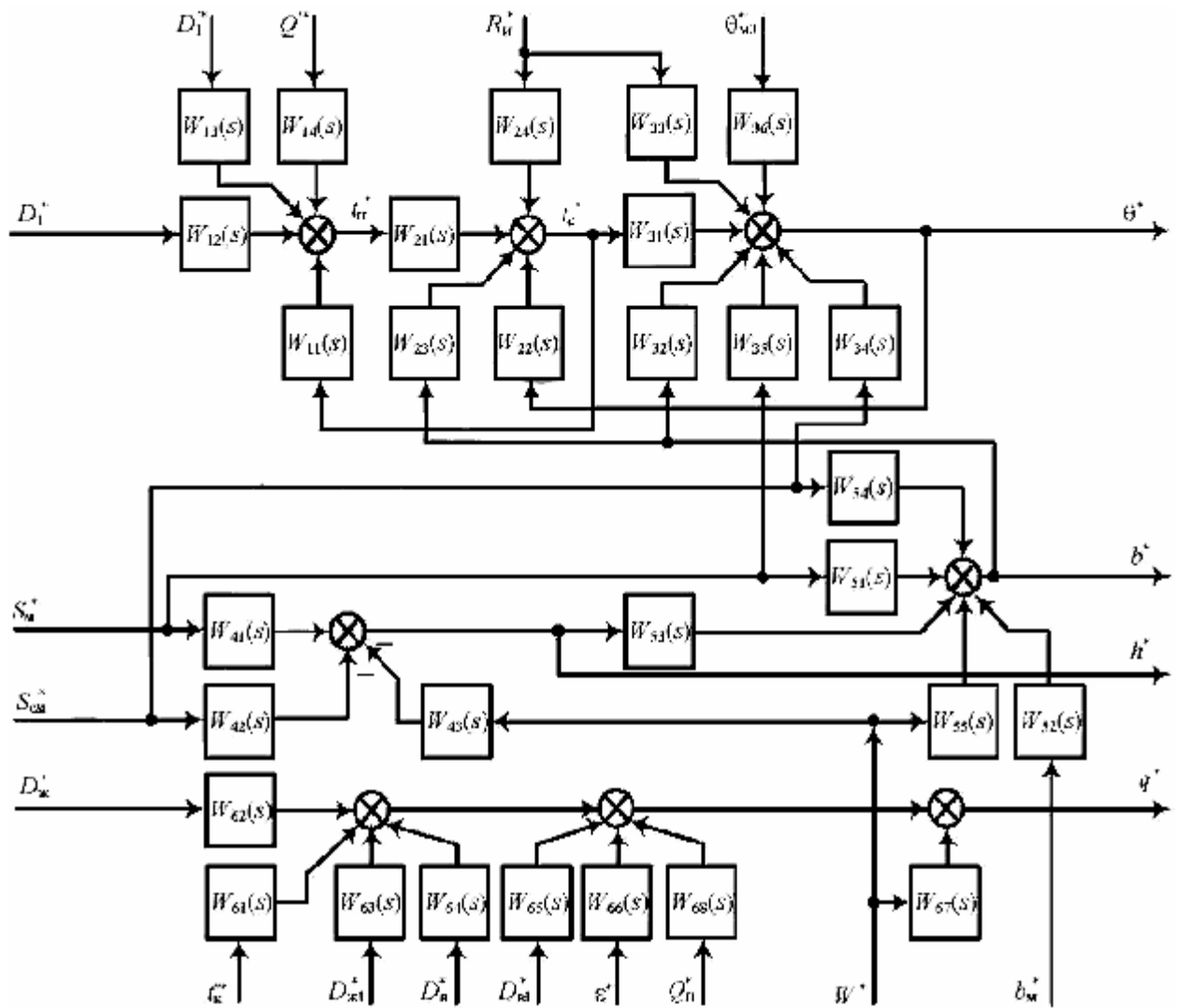


Рисунок 2.2 – Структурна схема лінеаризованої моделі вакуумно-випарної установки

Запропоновані моделі використовуються для проектування автоматизованих систем управління вакуум-випарними установками харчової галузі.

## 2.2 Аналіз процесу вакуумного випаровування плодоовочевих сумішей для виготовлення концентратів

Для виробництва багатокомпонентних пюре з високим вмістом термолабільних речовин необхідне дослідження процесу вакуум-випарювання відповідно до основних закономірностей, виявлення яких є актуальним завданням.

Наукове забезпечення процесу вакуумного випарювання багатокомпонентних плодово-овочевих сумішей на основі комплексного аналізу основних закономірностей процесу разом з їх фізико-хімічними й структурно-механічними характеристиками, розробка рекомендацій з удосконалення вискоелективних технологій виробництва багатокомпонентних плодово-овочевих концентратів; створення перспективних конструкцій вакуум-випарних апаратів, – мета даного розділу.

Аналіз залежностей зміни динамічної в'язкості багатокомпонентних плодово-овочевих пюре в досліджуваному інтервалі зміни температур вертикальної стінки вакуум-камери показав, що динамічна в'язкість має тенденцію до зниження за лінійним законом при підвищенні температури (рис. 2.3).

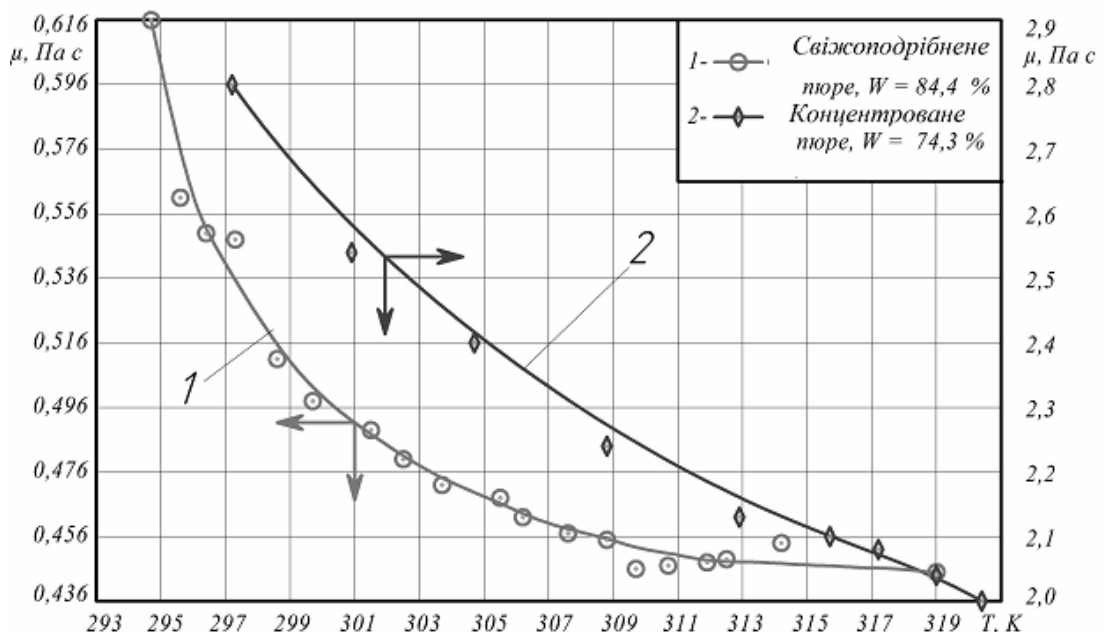


Рисунок 2.3 – Залежність зміни динамічної в'язкості овочевої суміші від температури  $T$  при різній вологості,  $W$ , %

Збільшення температури приводить до зниження динамічної в'язкості

багатокомпонентних плодово-овочевих пюре за рахунок посилення впливу броунівського руху молекул, що порушує їхню орієнтацію при переміщенні уздовж напрямку деформації. З підвищенням швидкості перемішування вплив температури на градієнт зміни в'язкості плодово-овочевих пюре слабшає. Крім того, збільшення температури з 293 до 321 К викликає зниження напружень перемішування пюре. Були визначені значення щільності досліджуваних видів багатокомпонентних плодово-овочевих пюре.

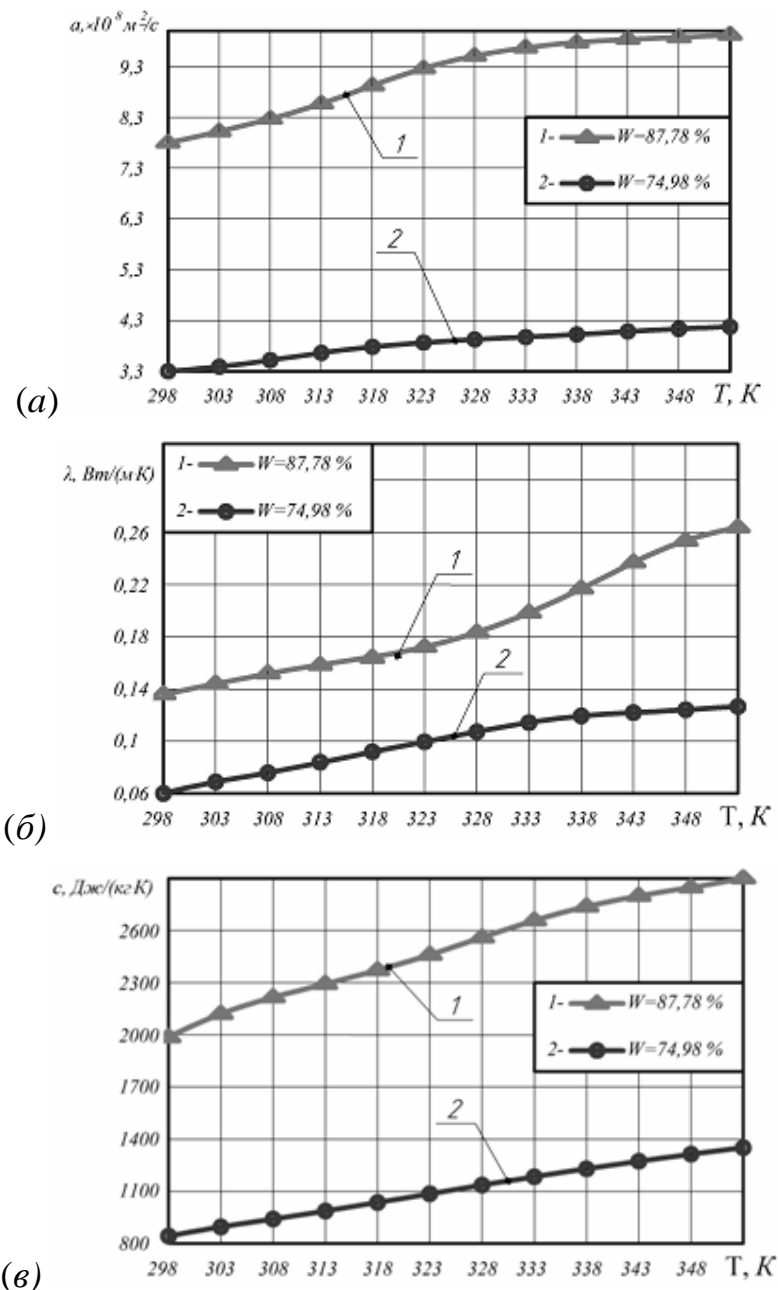


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнтів температуропровідності (а), теплопровідності (б) і питомої теплоємності (в) суміші від температури  $T$  при вологості  $W = 74,98\%$  й  $W = 87,78\%$



### **2.3 Методики проведення експерименту та досліджень процесу вакуумного випарювання багатокomпонентних плодовоовочевих сумішей в умовах вакууму.**

Дослідження процесу випарювання багатокomпонентних плодово-овочевих пюре в умовах бульбашкового кипіння при вільному русі плівки пюре по вертикальній стінці вакуум-камери проводилися при зміні параметрів у наступних діапазонах: початкова температура пюре 373...400 К; тиск в автоклаві 0,10...0,20 МПа, величина розрядження у вакуум-камері 4,0...10,6 кПа; температура стінки вакуум-камери 303...318 К. Діаметр соплової форсунки для розпилювання пюре варіювався від 1,2 до 2,0 мм.

Як об'єкти дослідження використалися полікомпонентні фруктові суміші

Попередньо здрібнене й нагріте в автоклаві до температури  $T = 373...400$  К до під тиском  $P = (1,0...2...2,0) \cdot 10^5$  Па пюре розпилювалось за допомогою соплової форсунки у вакуум-камері. У вакуум-камері за допомогою вакуум-насоса підтримувалося розрядження 4,0...6,9 кПа.

У результаті різкого перепаду температури й тиску у вакуумній камері відбувається дрібнодисперсне розпилювання продукту, яке характеризується миттєвим випаром частини вологи, що утримується в пюре в перегрітому стані. Потім крапельки пюре досягали вертикальної стінки вакуум-камери й осідали на ній, утворюючи плівку продукту, що поступово стікає вниз по вертикальній стінці під дією сил ваги.

На першій стадії процесу випарювання, тривалість якої становила 50...100с, у результаті різкого перепаду температури від 373...400К до 303...308К в автоклаві й вакуум-камері відповідно, а також перепаду тиску від 0,10...0...0,20МПа в автоклаві до 4,0...6...6,9кПа у вакуум-камері відбувається мілкодисперсне розпилювання продукту, що супроводжується миттєвим випаром вологи, що втримується в пюре. При цьому тиск у вакуум-камері збільшувалося з 4,0...6...6,9кПа до 6,9...10...10,6кПа (мал. 2.5, а) при відповідному збільшенні температури пар, що випаровують із...308 К до 302...319К (мал. 2.5, б).

Ці зміни тиску у вакуум-камері й температури пари, що випаровують,

обумовлені миттєвим випаром вологи, що утримується в краплях поре в перегрітому стані.

Потім припинялося розпилювання багатоконпонентної суміші й відбувалося випарювання вологи зі стікаючої по вертикальній стінці вакуумної камери вниз плівки поре. Після проходження максимальних значень тиску й температури пари, настає друга стадія процесу випарювання, на якій відбувається поступове зниження тиску до 5, 4 при при зниженні температури пари до 298 К (мал. 2.5, а й б).

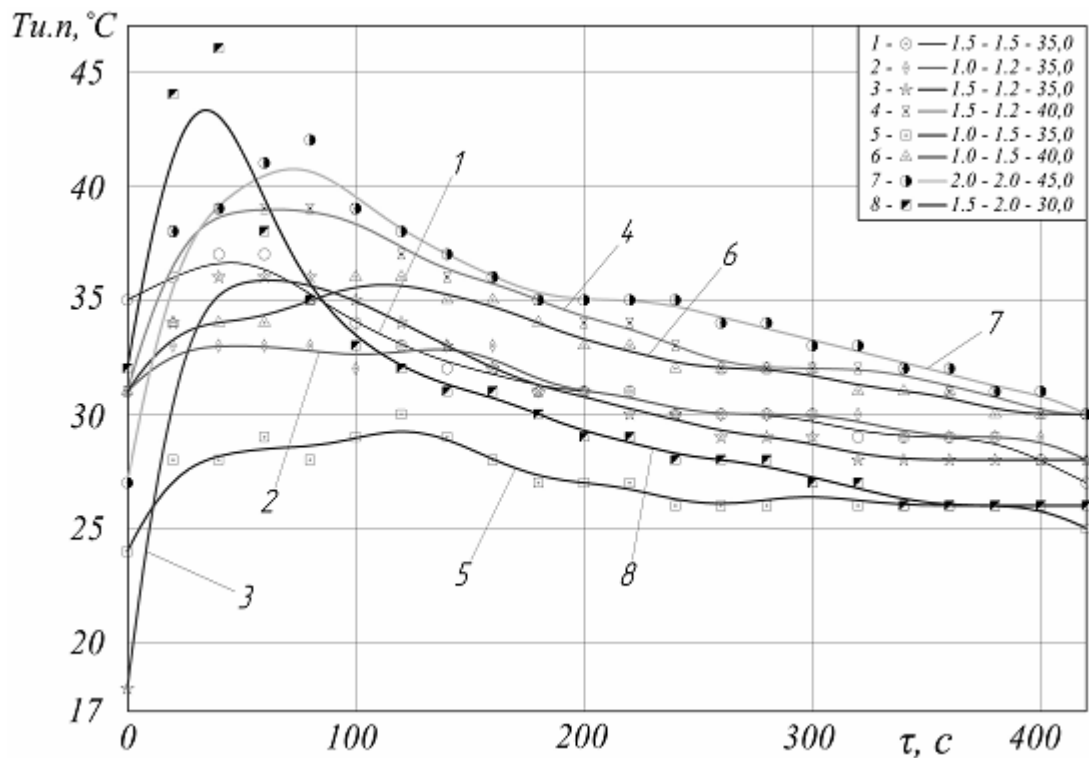


Рисунок 2.5 – Залежність зміни величини розрядження у вакуумній камері від часу при випарюванні багатоконпонентної суміші.

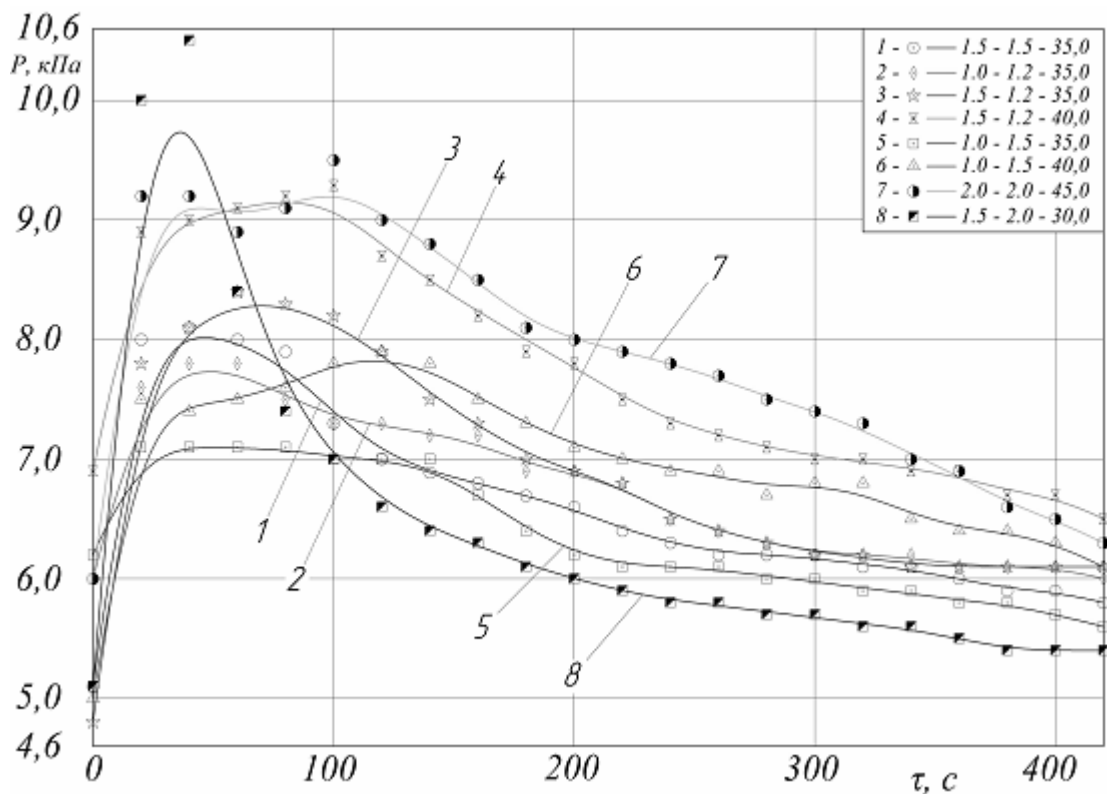


Рисунок 2.6 – Залежність зміни величини розрядження у вакуум-камері від часу і залежність зміни температури пари із вакуум-камери, від часу при випарюванні багатокomпонентної суміші.

Виявлено, що процес випарювання води зі стікаючої вниз по вертикальній стінці вакуум-камери плівки пюре при мінімально припустимому розкладанні термолабільних речовин відбувався при температурі стінки вакуум-камери 303...318К при величині розрядження у вакуум-камері 4...10 кПа.

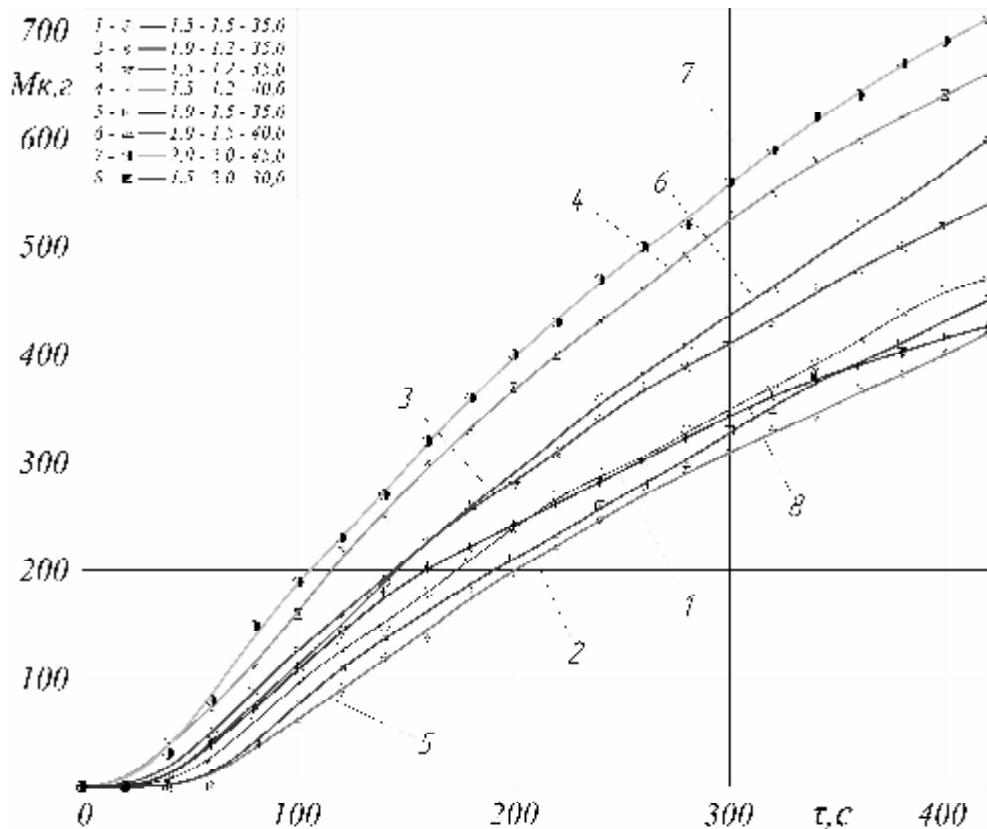


Рисунок 2.7 – Залежність зміни маси конденсату від часу при випарюванні багатоконпонентної суміші

Проведені дослідження дозволили виявити характер зміни інтенсивності випарювання вологи при двох стадійному концентруванні багатоконпонентної фруктові суміші.

Дослідження, проведені при різних режимах процесу згущування багатоконпонентних плодо-плодово-овочевих пюре, показали істотний вплив цих параметрів. Так, при зміні температури нагрівання пюре на вертикальній стінці вакуумної камери (мал. 2.6) з 303 до 318 К маса конденсату, одержуваного з випаровуваної вологи з пюре, збільшилася в 1,69 рази.

По кривих швидкості випару пар (мал. 2.8) видно, що на початку першої стадії відбувається різке збільшення швидкості випару пари. Причому величина максимальної швидкості випару пар доводиться на середину періоду розпилювання. Після закінчення розпилювання пюре відбувається значне зниження швидкості випару пари, це порозумівається зменшенням поверхні паротворення.

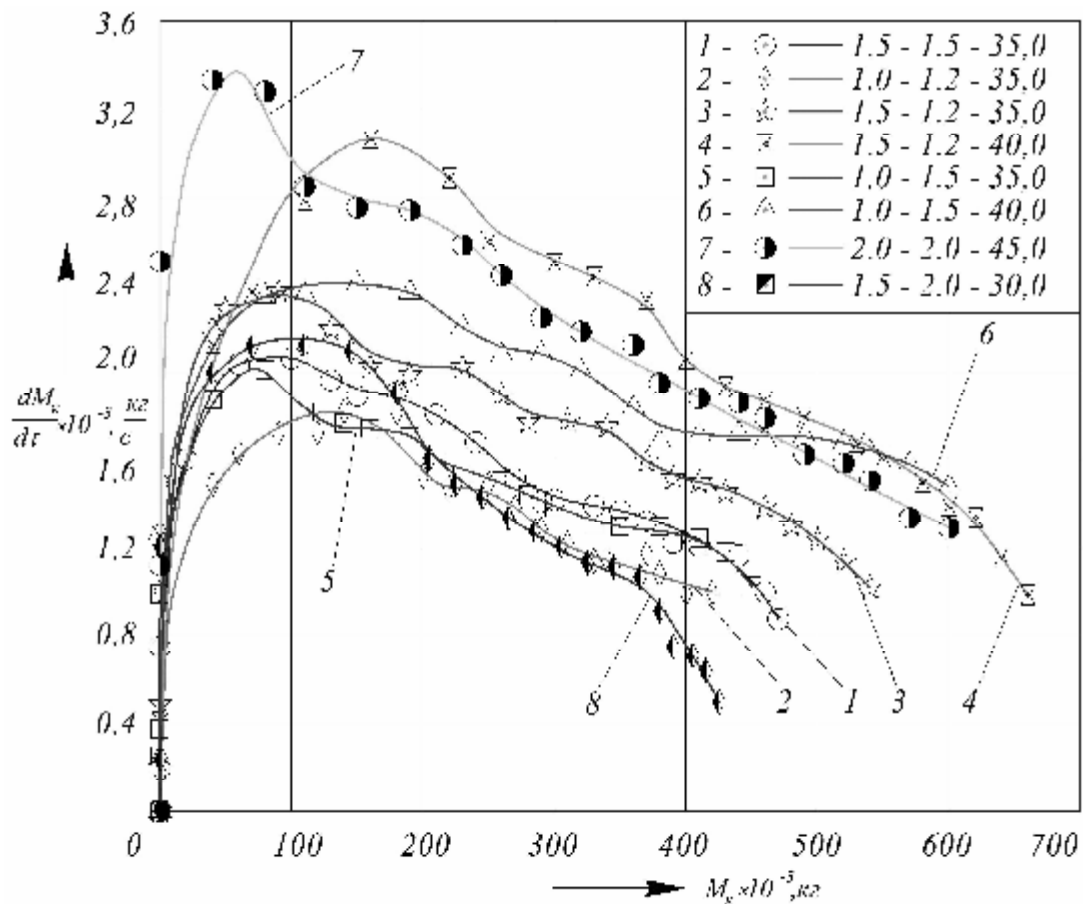


Рисунок 2.8 – Криві швидкості випару пари із вакуум-камери, при випарюванні багатокомпонентної суміші

Таким чином, встановлено, що, змінюючи температуру стінки вакуум-камери, можна інтенсифікувати процес концентрування пюре. Варіюючи витрату за допомогою форсунок різного діаметра, можна віддавати перевагу тій або іншій стадії процесу концентрування залежно від виду продукту, що переробляється.

Слід зазначити, що надмірне збільшення тиску в автоклаві, а також температури стінки вакуум-камери значно впливає на якість кінцевого продукту.

Отримані кінетичні залежності лягли в основу вибору раціонального баротермічного режиму з метою збереження високої якості пюре.

## Висновки розділу

1. Установлено кінетичні закономірності процесу двохстадійного концентрування багатоконпонентних пюре, особливості інтенсивності випарювання вологи з плодово-овочевих пюре, раціональні режими проведення процесу концентрування плодово-овочевих пюре, що дозволяють зберегти найважливіші харчові компоненти готового продукту, а також одержати гарні органолептичні показники.

2. Розроблено математичну модель процесу концентрування плодово-овочевих сумішей, що дозволяє розрахувати не тільки режим течії плівки пюре на вертикальній стінці вакуум-камери, але й визначити характер зміни температури й вологовмісту в досліджуваному пюре по висоті вакуум-камери.

3. Розроблено способи виробництва пюре, нові конструкції апаратів, що дозволяють підвищити якість плодово-овочевих пюре за рахунок використання м'яких режимів уварювання при знижених температурах кипіння внаслідок застосування вакууму.

### Умовні позначки

$W$  – вологість пюре, %;  $P$  – тиск в автоклаві, Па;  $T_0, T_{\Gamma}$  – початкова температура фруктового пюре й температура теплоносія в сорочці апарата;  $q$  – щільність теплового потоку на вільній поверхні стінки,  $a$  – коефіцієнт температуропроводности,  $\text{м}^2/\text{з}$ ;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності фруктового пюре,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .  $c_p$  – питома теплоємність фруктового пюре,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $q_v$  – об'ємне внутрішнє джерело теплоти;  $z$  – масова концентрація вологи в стікаючій плівці;  $D$  – коефіцієнт дифузії вологи,  $\text{м}^2/\text{з}$ ;  $\beta$  – коефіцієнт масотдачі,  $\text{м}^2/\text{з}$ ;  $r$  – теплота паротворення води,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;  $G$  – витрата фруктового пюре,  $\text{кг}/\text{з}$ ;  $d$  – діаметр апарата, м;  $\rho$  – щільність фруктового пюре,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\mu$  – динамічна в'язкість фруктового пюре,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ;  $x, v$  – координати;  $u, v$  – осьові й радіальна складові швидкості плинину плівки,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $M_k$  – маса конденсату, одержуваного з випаруваних пар,  $\text{кг}$ ;  $\tau$  – час,  $\text{з}$ ;  $h$  – висота, м;  $\sigma$  – поверхневий натяг пюре,  $\text{Н}/\text{м}$ ;  $\delta$  – товщина шаруючи стікаючого пюре, м;  $r_0$  – внутрішній радіус вакуум-апарата, м.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Визначення виробничої програми в цеху плодоконсервного заводу

Проект передбачає реконструкцію лінії виготовлення томатної пасти в цеху плодоконсервного заводу на існуючих площах.

В цеху виготовляють томатну пасту різного вмісту сухих речовин. Сезон виробництва та заготівлі розпочинається в основному з серпня і закінчуючи листопадом. Процес виробництва триває в залежності від наявності сировини. Використовуються сорти томатів з високим вмістом м'якоті. Основна тара для закупорювання банки об'ємом 0,5 та 1л.

Таблиця 3.1 – Основні технічні показники цеху.

№ п/п	Назва	Одиниці вимірювання	2012	2013
1.	Томатна паста, всього	тис. кг	2200	2250
2.	Томатна паста з вмістом сухих речовин 28–30%	тис. кг	881	741
3.	Томатна паста з вмістом сухих речовин 25%	тис. кг	458	446
4.	Високоякісна томатна паста з вмістом сухих речовин 32%	тис. кг	135	176
5.	Томатна паста з вмістом сухих речовин 10–15% (напівфабрикат для томатного соусу)	тис. кг	831	887
6.	Інші	тис. кг	395	228

Цех працює в три зміни. Потужність цеху в зміну можна знайти за формулою [2]

$$M_m = \frac{P}{\Phi_p \cdot l_k};$$

де  $P$  – об'єм вироблення томатної пасти у рік, кг;

$\Phi_p$  – фонд часу роботи обладнання цеху в рік, днів;

$l_k$  – кількість змін у добу.

Враховуючи сезонність виробництва тривалість роботи цеху  $\Phi_p = 150$  днів.

Фонд часу роботи обладнання цеху в рік приймається з врахуванням можливих простоїв обладнання, пов'язаних з плановими ремонтами, технічним оглядом або вимушеними ремонтами. Його можна визначити за формулою:

$$\Phi_{до} = \Phi_p (1 - (a_1 + a_2));$$

де  $a_1$  і  $a_2$  коефіцієнти що враховують ці втрати, рівні відповідно 0,05 і 0,07 [30]. Підставивши у формулу знайдемо дійсний час роботи обладнання:

$$\Phi_{до} = \Phi_p (1 - (a_1 + a_2)) = 150(1 - (0,05 + 0,07)) = 120 \text{ днів.}$$

Тоді потужність цеху в зміну за вищенаведеною формулою рівна:

$$M_m = \frac{П}{\Phi_p \cdot l_k} = \frac{2250}{120 \cdot 3} = 6,25 \text{ тис. кг/зм.}$$

Реконструкція цеху полягає у модернізації обладнання, а також заміні деяких застарілих машин лінії новими, зокрема модернізація етикерувальної машини, дозволить покращити зовнішній вигляд продукції. Внаслідок чого покращуються техніко-економічні показники цеху в цілому.

### **3.2 Вибір, обґрунтування параметрів технології виготовлення пасти томатної**

В цеху плодоконсервного заводу встановлена автоматизована універсальна лінія виробництва пасти томатної, на якій реалізовано неперервний технологічний процес.

Цех працює в три зміни з врахуванням двох санітарних днів на місяць. Кількість робочих днів у році  $D_k = 250$ , (врахувавши два санітарних дні на місяць та сезонність виробництва  $D_k = 120$  днів). Тривалість робочої зміни 8 год (з врахуванням 1 години на відпочинок).

Технологічна схема лінії зображена на рис. 3.1.

Технологія виготовлення всіх паст відрізняється лише певними особливостями термічної обробки. Крім того на лінії проводиться згущення яблучного повидла, яке є складовою томатного соусу. Для миття різного виду



сировини потрібне відповідне обладнання. Так для миття яблук можна використати машину з жорстким режимом миття, тоді як для миття томатів необхідна машина з м'яким режимом миття.

Загальний технологічний процес виготовлення пасти томатної:

- миття сировини;
- інспекція;
- протирання сировини;
- гомогенізація;
- згущення;
- підготовка тари;
- розфасовування в банки;
- термічна обробка в автоклаві;
- наклеювання етикетки;
- складування.

Термічна обробка є також і процесом стерилізації.

Банки з пастою формуються у блоки полімерною плівкою і відправляються на склад готової продукції. На складі продукція може зберігатись тривалий час, оскільки термін зберігання її досить високий.

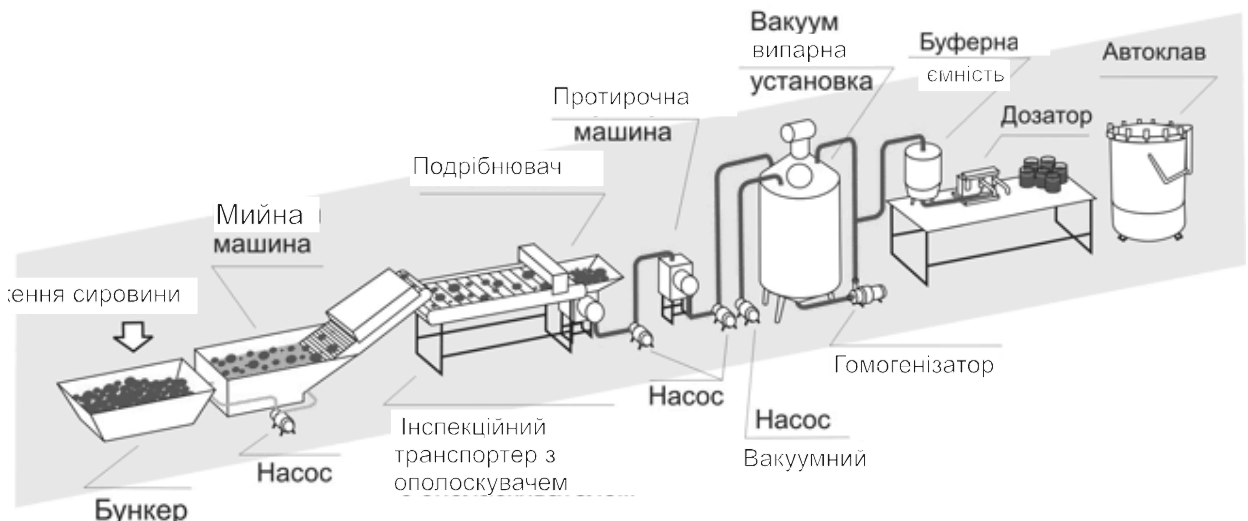


Рисунок 3.1 – Технологічна схема лінії виготовлення томатної пасти

Вище представлена функціональна технологічна схема лінії виготовлення томатної пасти.

Сировина – томати з автомобіля чи ящиків вивантажується у прийомний бункер, звідки подається у мийну машину КУМ–1. Після проходження інспекційного транспортера томати потрапляють у подрібнювач. Далі отримана маса насосом подається у протирочну машину, після чого підлягає випарюванню.

Після проведення гомогенізації томатна паста придатна до фасування.

В цей же час зі складу тари скляна посуда по пластинчастому конвеєру подається на машину для миття. Після миття банки проходять відбракування, в результаті якого з транспортера видаляються нестандартні, биті, брудні і банки. Пластинчатим транспортером банки направляються на дозувально–наповнювальний автомат, де вони наповнюються продуктом. Наповнені банки піддаються ретельному відбракуванню з використанням світлового екрана.

Потім банки поступають на закупорювальний автомат. Закриті банки подаються у автоклав, де проходить процес термічної обробки під тиском з подальшим охолодженням. Далі банки оформляються етикетками, які наклеюються на циліндричну частину, після цього пластинчатим транспортером вони направляються на автомат для їх укладання в тару, звідки по роликовому конвеєру вони потрапляють на склад готової продукції.

Всі операції за виключенням бракеражу та вкладання банок у автоклав, механізовані і автоматизовані.

Операції по рахуванню тари, готової продукції на багатьох підприємствах харчової промисловості проводяться візуально обслуговуючим персоналом. Саме ці операції являються відповідальними і основними, так як показниками роботи підприємства і являється кількість виробленої продукції. Автоматизація операції по рахуванні тари і готової продукції для цехів відіграє важливе значення.

### 33.3 Технологічні розрахунки установки вакуумного випарювання продуктивністю 20 т/год

Мета проведення технологічних розрахунків це визначення необхідних значень параметрів технологічного процесу вакуумного випарювання, – кількісних характеристик робочих середовищ та сировини, витрати енергії. Ці розрахунки містять обчислення для гідродинамічних і тепломасообмінних процесів, що протікають під час роботи установки.

Розрахунки тепломасообмінних процесів базуються на рівнянні матеріального балансу у відповідності до законів збереження енергії та матерії з врахуванням інших особливостей тепломасообміну в установці.

При виготовленні томатної пасти важливим є процес випарювання, який полягає у видалення певної кількості вологи з продукту. При цьому маса продукту значно зменшується і зростає вміст сухих речовин.

У свіжих помідорах процентний вміст вологи становить близько 94%, а у томатній пасті вміст сухих речовин 24–28%.

Маса поступаючої на переробку сировини рівна масі готового продукту і втрат:

$$\sum_{i=1}^n G_i = \sum_{j=1}^m G_j ,$$

де  $G_i$  – маса поступаючого  $i$ -го компоненту сировини, кг;

$G_j$  – маса готового  $j$ -го компоненту продукту та випареної вологи, кг;

Оскільки процес є безперервний, складемо матеріальний баланс складаємо за певний проміжок часу, тобто за 1 год.

Визначимо кількість томатної пасти і концентрацію сухих речовин в ній при згущенні, а також витрату гострої і гріночої пари використовуючи ЕОМ.

### Вихідні дані:

$M1 := 3392$  маса поступаючої на переробку томатної сировини, кг/год;

$W := 2560$  продуктивність установки по випареній волозі, кг/год;

$S1 := 6.2$  початковий вміст сухих речовин в томатній масі, %;

$t_0 := 75$  початкова температура томатної маси,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_1 := 68$  температура кипятіння томатної маси,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$F := 35$  поверхня нагріву вакуум-випарної установки,  $\text{m}^2$ ;

$Z := 1$  розглядуваний період роботи установки, год;

$t_{wp} := 15$  початкова температура води,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{wk} := 45$  кінцева температура води,  $^{\circ}\text{C}$ .

$c_m := 3620$  питома теплоємність томатної маси,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

Концентрацію готового продукту визначають по формулі:

$$S2 := \frac{M1 \cdot S1}{M1 - W} \quad S2 = 25.277 \quad (\%)$$

Кількість готового продукту визначають по формулі:

$$M2 := M1 - W \quad M2 = 832 \quad (\text{кг/год})$$

Щоб визначити витрату пари, необхідно спочатку визначити коефіцієнт інжекції. По парових таблицях [12] знаходимо характеристики вторинної і гріючої пари:

Для гріючої пари:

тиск	$P_r := 3.9 \cdot 10^4$ (Па)
питома ентальпія пари	$i_1 := 2634000$ (Дж/кг)
питома ентальпія конденсату	$ct_{kd} := 314000$ (Дж/кг)

Для вторинної пари:

тиск	$P_v := 1.6 \cdot 10^4$ (Па)
питома ентальпія пари	$i_2 := 2600000$ (Дж/кг)

питома ентальпія конденсату  $ct1 := 230000$  (Дж/кг)

Коефіцієнт втрат теплоти:  $\eta := 0.85$

Степінь стиску:  $S := \frac{Pr}{Pb}$   $S = 2.438$

При  $S = 2.438$  коефіцієнт інжекції [10]:  $u := 0.6$

Витрата пари:

$$D_o := \left[ \frac{W \cdot (i_2 - ct_1) - M_1 \cdot c_m \cdot (t_o - t_1)}{[(i_1 - ct_{кд}) \cdot (1 + u) \cdot \eta]} \right] \quad D_o = 1.896 \times 10^3 \text{ кг/год.}$$

Витрата гострої пари  $\frac{D_o}{1000} = 1.896$  гострої пари/кг вторинної пари

Кількість гріючої пари:

$$D_r := D_o \cdot (1 + u) \quad D_r = 3.033 \times 10^3 \text{ кг/год.}$$

Коефіцієнт випаровування:

$$\alpha_n := \frac{i_1 - ct_{кд}}{i_2 - ct_1} \quad \alpha_n = 0.979$$

Коефіцієнт самовипаровування визначають за формулою:

$$\beta := \frac{c_m \cdot (t_o - t_1)}{i_2 - ct_1} \quad \beta = 0.011$$

Теплове навантаження вакуум-випарної установки визначають за формулою:

$$q := \frac{D_r \cdot (i_1 - ct_{кд})}{F \cdot Z} \quad q = 2.011 \times 10^7 \text{ Вт/м}^2$$

Інтенсивність процесу випарювання:

$$I := \frac{W}{F \cdot Z} \quad I = 7.314 \text{ кг вологи/м}^2.$$

Усереднений коефіцієнт теплопередачі:

$$k := \frac{I \cdot (i_2 - ct_1)}{(ct_{kd} - ct_1)} \quad k = 206.367 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Кратність циркуляції:

$$C := \frac{M_1}{W} \quad C = 1.325$$

Питома теплоємність води:  $c_w := 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}).$

Витрата води на конденсацію вторинної пари:

$$B := \frac{W \cdot (i_2 - ct_{kd})}{c_w \cdot (tw_k - tw_p)} \quad B = 4.656 \times 10^4 \text{ кг/год.}$$

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Розробка конструкції установки вакуумного випарювання

#### 4.1.1 Аналіз структури та складу вакуумновипарної установки.

Вакуумновипарна установка продуктивністю 20 т/доб призначена для випарювання та згущення мас харчових продуктів. У вакуумновипарній установці немає обертових механічних частин та кінематичних зв'язків, за винятком скребкового теплообмінника, який служить для охолодження готового продукту. Розроблено структурну та функціональну схеми, представлену на рис.4.1.

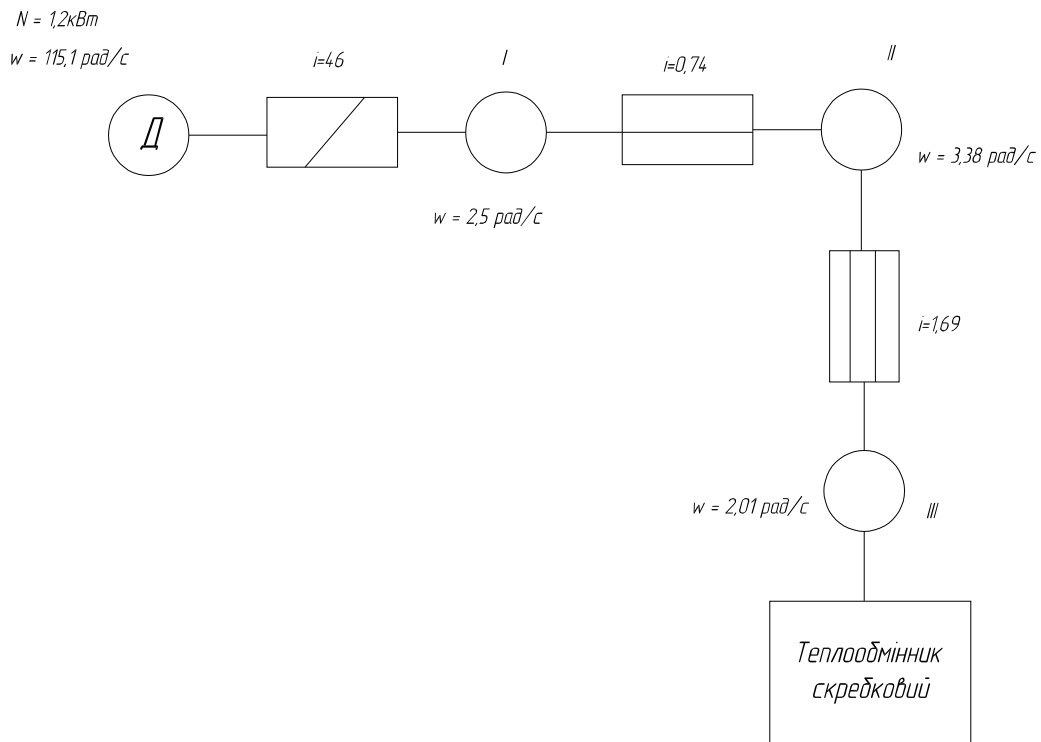


Рисунок 4.1 – Структурна схема теплообмінника вакуумновипарної установки

На схемі теплообмінник скребковий приводиться рух електродвигуном за допомогою черв'ячного редуктора через систему механічних передач.

### 4.2 Розрахунки деталей вакуумновипарної установки. Розрахунок ланцюгової передачі приводу вакуумновипарної установки.

Вихідними є параметри:

Потужність на валу двигуна  $P_o = 1.2$  (кВт);

Кутова швидкість ведучої зірочки  $\omega_1 = 2.5$  ( $c^{-1}$ )

Передаточне число 0,74

Потужність на валу веденої зірочки

$$P_1 = P_o \cdot u_p \cdot \eta = 1,2 \cdot 46 \cdot 0,98 = 54.0 \text{ кВт},$$

де  $u_p$  – передаточне число черв'ячного редуктора;

$\eta$  – ккд передачі.

На валу ведучої зірочки обертовий момент:

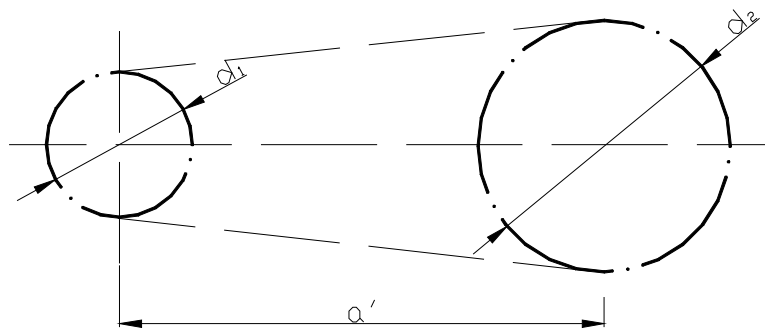


Рисунок 4.2 – Схема ланцюгової передачі

$$T_1 = \frac{P_1 \cdot 1000}{\omega_1} = \frac{54 \cdot 1000}{2,5} = 21,6 \text{ кНм}.$$

У випадку, коли крок ланцюгової передачі буде не більший ніж 19 мм, тоді для  $\omega_1 = 2,5$  ( $rad/c$ ) вибираємо число зубів ведучої зірки  $z_1 = 46$ . Відповідно число зубів веденої зірки  $z_2' = u \cdot z_1 = 0,74 \cdot 46 = 34$ . Прийmemo  $z_2 = 34$

Крок ланцюга розраховується як

$$P' = 13 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1}{z_1}} = 13 \sqrt[3]{\frac{21600}{46}} = 101,4 \text{ мм}.$$

По розрахованих значеннях оберемо ланцюг роликаний ПР105.05 [7], з кроком  $P = 105,05$  мм; площею поверхні шарнірна  $A_{оп} = 763 \text{ мм}^2$ ; Масимальне навантаження  $F_{PH} = 192,1$  кН; питома вага 1м ланцюга  $q = 5,9$  кг/м.

Розрахована лінійна швидкість ланцюгової передачі

$$v = \frac{P \cdot 10^{-3} \cdot \omega_1 \cdot z_1}{2 \cdot \pi} = \frac{105,05 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 46}{2 \cdot \pi} = 1,924 \text{ м/с}.$$

Розрахуємо міжосьову відстань передачі як,



$$a' = 40 \cdot P = 40 \cdot 105,05 = 4202 \text{ (мм)}$$

Кількість ланок ланцюга:

$$W' = 2 \cdot \frac{a'}{P} + 0,5 \cdot (z_1 + z_2) + \frac{P}{a'} \cdot \frac{(z_2 - z_1)^2}{(2 \cdot \pi)^2} = 2 \cdot \frac{4202}{105,05} + 0,5 \cdot (34 + 46) + \frac{105,05}{4202} \cdot \frac{(46 - 34)^2}{(2 \cdot 3,14)^2} =$$

$$= 120,10$$

Прийmemo  $W = 121$

Розрахована міжосьова віддаль:

$$a_0 = \frac{P}{4} \left[ W - 0,5 \cdot (z_1 - z_2) + \sqrt{[W - 0,5 \cdot (z_1 + z_2)]^2 - 8 \cdot \frac{(z_2 - z_1)^2}{(2 \cdot \pi)^2}} \right] =$$

$$= \frac{105,05}{4} \left[ 120 - 0,5 \cdot (46 - 34) + \sqrt{[120 - 0,5 \cdot (46 - 34)]^2 - 8 \cdot \frac{(46 - 34)^2}{(2 \cdot 3,14)^2}} \right] =$$

$$a_0 = 5984,3 \text{ мм.}$$

Міжосьова відстань для забезпечення провисання ведомої вітки

$$a = a_0 - 0,003 \cdot a_0 = 5984,3 - 0,003 \cdot 5984,3 = 5966 \text{ мм.}$$

Ділильний діаметр зірок передачі

$$d_1 = \frac{P}{\sin\left(\frac{\pi}{z_1}\right)} = \frac{105,05}{\sin\left(\frac{3,14}{46}\right)} \quad d_1 = 462,247 \text{ мм.}$$

$$d_2 = \frac{P}{\sin\left(\frac{\pi}{z_2}\right)} = \frac{105,05}{\sin\left(\frac{3,14}{34}\right)} \quad d_2 = 342,063 \text{ мм.}$$

Номінал навантаження ланцюга становитиме:

$$F_t = 2 \cdot \frac{T_1 \cdot 1000}{d_1} = 2 \cdot \frac{3600 \cdot 100}{462} \quad F_t = 15,584 \times 10^3 \text{ (Н)}$$

Максимальне навантаження ланцюга для запуску передачі:

$$F_{t \max} = K_n \cdot f_t \quad F_{t \max} = 34,29 \times 10^3 \text{ (Н)}$$

Максимальна діюча сила на вали передачі:

$$R_{\max} = 1,15 \cdot F_{t \max} = 1,15 \cdot 34,29 \cdot 10^3 = 39,46 \text{ (Н)}$$

### 4.3 Склад та принцип функціонування вакуумновипарної установки

На рисунку 4.4. представлена вакуумновипарна установка для виробництва томатної пасти.

Вона складається з основних функціональних вузлів, – інжектор 1, пароприймач 3, пароутворювач 5, теплообмінник скребковий 7, розширювач 9, гвинтовий насос 13, конденсатор 16, двигун 18, система трубопроводів 2, 4, 10, 14, 17. Також на рисунку 3.4 позначено: пробовідбірник 8, вакуумметри 11, 12, клапан 15, муфта тертя 19, опори 20, 21.

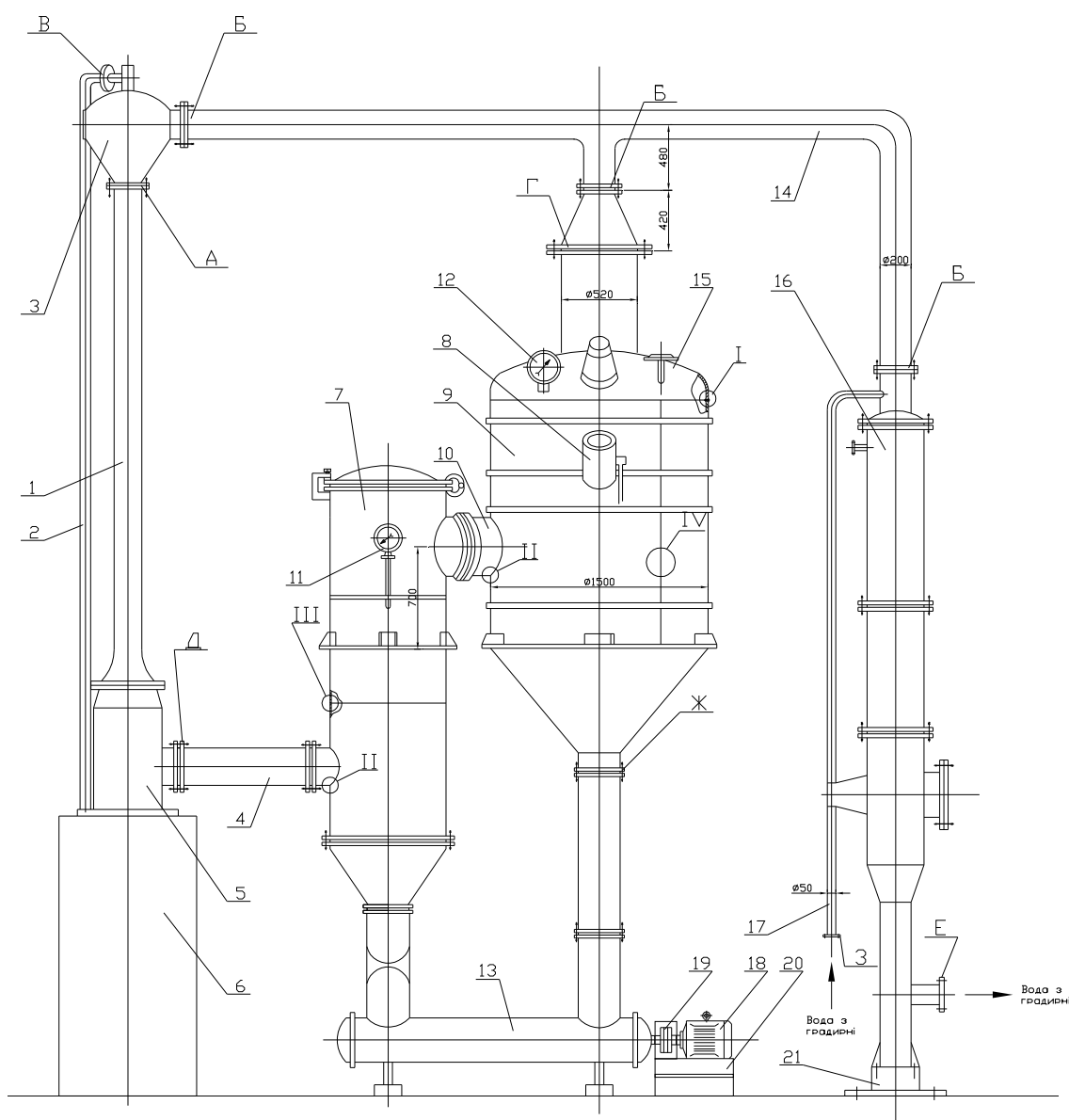


Рисунок 4.4 –Схема вакуумновипарної установки

## ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА.

Місткість апарата (повна) –557 літрів

Габарити:

Висота –6900 мм

Ширина –5600 мм

Корпус апарата:

Внутрішній діаметр –1450 мм

Висота циліндричної частини –1680 мм

Товщина стінки –5 мм

Кришка апарата:

Внутрішній діаметр –1450 мм

Радіус закруглення –110 мм

Висота –290 мм

Товщина стінки –5 мм

Корпус установки, днище і кришки виготовляються із сталі марки  $1X18H9T$  з  $\sigma_s = 52,0$  кг/мм<sup>2</sup>. Штуцери установки згідно ГОСТ 1255–54.

Продукт поступає по трубопроводах в теплообмінник 7. Туди ж в парову сорочку подається гріюча пара з інжектора 1, під дією якої продукт випарюється всередині кип'ятильних труб, омиваючих цими парами. Конденсат пари виводиться через патрубок в каналізацію. Далі продукт з теплообмінника подається гвинтовим насосом 13 в розширювач 9, з якого по трубопроводу поступає знову в теплообмінник 7. Шестерним насосом варений продукт подається на електронний рефлектометр, який контролює процентний вміст сухих речовин в продукті. Якщо величина задовольняє умовам, то відкривається двоходовий кран і продукт подається у збірник. Якщо продукт не досяг потрібної кількості сухих речовин, то двоходовий кран закритий і продукт знову потрапляє у розширювач. Там проходить випаровування вологи з поверхні продукту. Ці пари поступають по трубопроводу, де змішуються з водою і поступають на градирню. З басейна градирні вода подається з водопроводу в конденсатор 16, де зміщується з

вторинними парами і по трубопроводу поступає в басейн градирні за допомогою центробіжного насоса.

#### 4.4 Розробка системи автоматизації лінії виробництва томатної пасти

Метою автоматизації, при впровадженні новітніх технологій та конструктивів є мінімізація виробничих витрат та трудомісткості, покращення продуктивності та якості кінцевих продуктів.

Таблиця 4.1 –Схема автоматизації лінії виготовлення томатної пасти

№ п/п	Машина, агрегат, апарат	Параметр, місце зняття сигналу	Допустимі значення параметру	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Додаткові вимоги
1.	Електропривід транспортера мийної машини	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка
4.	Ванна мийної машини	Температура	48°C±2°C	Контроль, Регулювання	Сигналізація, Підтримка в заданому діапазоні	Світлова Дія на клапан подачі пари
3.	Ванна мийної машини	Рівень		Контроль, Регулювання	Сигналізація, Підтримка в заданому діапазоні	Світлова Дія на насос
4.	Електродвигун приводу інспекційного транспортера	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка
5.	Електродвигун приводу дробарки	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка
6.	Електродвигун приводу протирочної машини	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка

## Продовження таблиці 4.1

7.	Випарна установка	Температура	78°C±1°C	Контроль, Регулювання	Сигналізація, Підтримка в заданому діапазоні	Світлова Дія на клапан подачі пари
8.	Випарна установка	Концентрація	25 %±1°C	Контроль, Регулювання	Сигналізація, Підтримка в заданому діапазоні	Світлова Дія на двопозиційний клапан відведення продукту
9.	Випарна установка	Тиск		Контроль	Сигналізація	Візуальна
10.	Двигун теплообмін- ника	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка
11.	Двигун гомогенізатора	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка
14.	Двигун наповнювача банок	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка
13.	Двигун закаточної машини	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка
14.	Транспортер закаточної машини	Облік		Контроль	Дистанційне	Облік продукції
15.	Стерилізатор	Температура	98°C±2°C	Контроль, Регулювання	Сигналізація, Підтримка в заданому діапазоні	Світлова Дія на клапан подачі пари
16.	Двигун стерилізатора	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка
17.	Двигун етикувальної машини	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка

## Продовження таблиці 4.1

18.	Транспортер етикувальної машини	Облік		Контроль	Дистанційне	Облік продукції
19.	Банкомийна машина	Температура	74°C±2°C	Контроль, Регулювання	Сигналізація, Підтримка в заданому діапазоні	Світлова Дія на клапан подачі пари
20.	Електропривід банкомийної машини	Стан		Контроль, Управління	Сигналізація, Ручне, дистанційне	Світлова Пуск, зупинка

Принцип роботи лінії такий. Овочева сировина (томати) подається у мийну машину I, де проходить процес відмочування та видалення забруднень з поверхні плодів. Чиста сировина подається на інспекційний транспортер II, на якому проходить ручна інспекція, після чого, поступає у дробарку III. Подрібнена томатна маса подається у протирочну машину IV. Отримане томатне п'юре поступає у вакуум–випарну установку V.

Схема автоматизації передбачає автоматичний контроль концентрації сухих речовин томатної пасти, та дію на двопозиційний клапан виходу продукту з вакуумновипарної установки. Концентрація сухих речовин контролюється датчиком 4–2 типу КК–1, датчик– перетворювач якого 4–1 встановлений на виході з вакуумновипарної установки. Якщо рівень сухих речовин у томатній пасті досяг встановленої концентрації, двохпозиційний клапан відкривається за допомогою пристрою 4–3 і томатна паста поступає в теплообмінник на охолодження і подальшу обробку.

Томатна паста, виходячи з вакуумновипарної установки, проходить гомогенізацію на машині VI і фасується у банки на машині VIII. Банкомийна машина VII призначена для миття банок об'ємом від 1 до 3 л. Після закрутки банок на машині IX вони проходять стерилізацію в стерилізаторі X після чого оформляються етикетками на етикувальній машині XI. При досягненні максимального рівня рідини у мийній машині I спрацьовує датчик максимального рівня 2–1 та електронний сигналізатор рівня 2–2, типу

ЭРСУ–3 і вимикається привід насоса. При цьому загоряється сигнальна лампочка HL4.

Температура води у миючій машині I, температура випарювання у вакуумновипарнійустановці V, температура стерилізації у стерилізаторі X та температура миючого розчину у банкомийній машині VII відповідно контролюється датчиками 1–1, 3–1, 6–1 та 7–1 відповідно, типу ТСП8012–22, з яких сигнал поступає на електричні мости 1–2, 3–2, 6–2 та 7–2 відповідно, які контролюють і регулюють температуру. Далі сигнал поступає на регулюючі пристрої 1–3, 3–3, 6–3 та 7–3 відповідно, типу РТ–2БС, які передають регулюючу дію на вентилі з електромагнітним приводом. Внаслідок цього змінюється подача гріючої пари у нагрівальні пристрої даних машин.

Стерилізована томатна паста у банках після попереднього охолодження поступає на етикетувальну машину XI, де на циліндричну частину банки наклеюється етикетка.

Схемою передбачено управління електродвигунами обладнання місцеве – кнопочними вимикачами SB1, SB3, SB5, SB7, SB9, SB11, SB13, SB15, SB17, SB19, SB21, дистанційними кнопочними вимикачами SB2, SB4, SB6, SB8, SB10, SB12, SB14, SB16, SB18, SB20, SB22, а також сигналізація їх роботи лампами HL3, HL4, HL5, HL6, HL9, HL10, HL11, HL12, HL14, HL15, HL17. На схемі КМ1...КМ11 – магнітні пускачі.

Операції по рахуванні тари, готової продукції на багатьох підприємствах харчової промисловості проводяться візуально обслуговуючим персоналом. Саме ці операції являються відповідальними і основними, так як показниками роботи підприємства і являється кількість виробленої продукції. Автоматизація операції по рахуванні тари і готової продукції для консервних цехів відіграє важливе значення.

Схема автоматизації лінії виготовлення томатної пасти передбачає автоматичний рахунок пустих та наповнених банок, що поступають на наповнювач та рахунок банок, що поступають на автомат для наклеювання етикетки.

Рахунок пустих банок та банок, які поступають на наповнювач, проводиться з допомогою датчика 8–1 типу ДИП в комплексі з блоками індикації 8–2 типу БИМ.

Рахунок пляшок, що поступили на автомат для наклеювання етикеток, здійснюється з допомогою датчика 9–1 типу ДИП і блоку індикації 9–2 типу БИМ.

Крім того на схемі зображено цифрами потоки сировини і середовищ:

1 – вода; 2 – сировина томати); 3 – гріюча пара; 4 – сировина після миття; 5 – сировина після інспекції та відбракування; 6 – подрібнена сировина; 7 – томатне пюре; 8 – концентрована томатна паста; 9 – гомогенізовано томатна паста; 10 – чисті банки; 11 – наповнені банки; 12 – кришки; 13 – закупорені банки; 14 – стерилізовані банки; 15 – етикетки; 16 – готові банки оформлені етикетками; 17 – банки; 18 – жом з протирочної машини.

Отже автоматизація технологічної лінії виготовлення томатної пасти дає економію виробничих витрат, підвищення продуктивності праці, зменшення трудомісткості і принципову зміну характеру праці, також покращується якість вихідного продукту, оскільки зменшується людський фактор у контролі параметрів технологічного процесу виготовлення томатної пасти.



Таблиця 4.2 – Загальна специфікація на прилади

№ позиції по ФСА	Параметр, середовище	Граничне значення параметра	Місце встановлення	Найменування і характеристика приводу	Тип, модель	Кількість	Завод виготовлювач
2-1 6-1 2-2 6-2	Температура	0...200	Вакуумновипарна установка і стерилізатор	Термо-електричний термометр	ТСП8012-22	2	Казанський завод „Теплоконтроль”
1-1 7-1 1-2 7-2	Температура	0...100	Мийні машини для сировини і тари	Термо-електричний термометр	ТХК-0033	2	Сафоновський завод „Теплоконтроль”
1-3 2-3 6-3 7-3	Температура	-15...+225	Мийні машини, вакуумновипарна установка та стерилізатор	Термо-електричний регулятор	РТ-2БС	4	Сафоновський завод „Теплоконтроль”
8-1 9-1	Облік		Наповнювач, Етикету-вальна машина	Датчик блока індикації	ДИП	2	Експериментальний завод „Пищепром-автомат” м. Одеса
8-2 9-2 10-2	Облік		Наповнювач, Етикету-вальна машина	Блок індикації	БИМ	3	Івано-Франківський приладобудівний завод
5-1	Тиск	0,1 МПа	Вакуумновипарна установка	Вакуумметр	МЭД-22365	1	Томський манометричний завод
4-1 4-2	Концентрація	5% – 35% ±0,5%	Вакуумновипарна установка	Концентромір	КК-1	1	Експериментальний завод „Пищепром-автомат” м. Одеса
4-3	Концентрація	–	Вакуумновипарна установка	Електричний регулятор	КЕ-8МС	1	Сафоновський завод „Теплоконтроль”

## **4.5 Розробка автоматизованої системи управління і контролю установки вакуумно-випарної УВИП-20/5 – на базі програмованого контролера MCX53 - 34.x**

### **4.5.1 Призначення.**

Універсальний програмований контролер MCX53-34.x застосовують для реалізації великої кількості різноманітних завдань для автоматизації й контролю в різних галузях.

Контролери виконані у вигляді блоків з можливістю монтажу у стандартну DIN–планку. Програмований контролер MCX53-34.x містить 8 силових виходів та 12 універсальних входів/виходів, набір різних інтерфейсів цифрових промислових мереж.

Базовим елементом конструктиву MCX53-34.x є мікроконтролер ARM7 Cortex-M3 STMicroelectronics STM32F103 .

Застосування цього функціонально насиченого й з більшими обсягами пам'яті мікроконтролера, дозволило передвстановити у ПЛК MCX53-34.x однокристальний інтерпретатор -BASIC-Cortex. Наявність гальванічно розв'язаного RS485 дозволяє будувати протяжні мережі, що складаються з багатьох вузлів.

Додатковий локальний RS485 або CAN інтерфейс дозволяє легко нарощувати ПЛК до необхідної кількості входів/виходів. Програмування модуля виробляється простим підключенням до PC через USB-Порт. Деякі виконання MCX53-34.x додатково містять гальванічно розв'язаний канал MicroLan 1-wire з майстер чипом DS2482 спеціально призначеним для роботи із протяжними лініями.

12 універсальних ліній ПЛК MCX53-34.x працюють як у дискретному, так і в аналогових режимах. При це 2 канали можуть працювати в режимі ЦАП 0...10V / 0...20mA. Режим кожної лінії можна задавати індивідуально.

Усе вище перераховане, дозволяє за допомогою ПЛК MCX53-34.x швидко вирішувати безліч різних завдань по автоматизації різних об'єктів. Прост і ефективний -BASIC-Cortex допомагає реалізовувати досить складні алгоритми , найпростішими засобами.

MCX53-34.x дозволяє користувачеві самостійно, без спеціальних засобів оновлювати інтерпретатор -BASIC- Cortex при виході відновлень. Сама ж мова дозволяє при необхідності закрити код програми користувача від несанкціонованого читання й копіювання.

### **Короткі технічні характеристики:**

Мікроконтролер STM32F103RET6 / STM32F103RGT6 / STM32F205RGT6

- Швидкодія 72 MHz / 120 MHz / 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 4.1)
- Flash 512 Кбайт / 1024 Кбайт
- RAM 64 Кбайт / 96 Кбайт / 128+4 Кбайт
- АЦП 3 АЦП 12 біт 1мкс / 0.5мкс
- ЦАП 2 ЦАП 12біт

Відлагоджувальний роз'єм Serial wire debug (SWD)

- Убудований однокристальний -BASIC-Cortex
- Інтерфейси без розв'язки - USB, RS485/CAN, I2C, SPI, MicroLan
- Гальванічно розв'язані інтерфейси - RS485, MicroLan DS2482-100
- Годинники реального часу з літієвим елементом

Універсальні сигнальні входи /виходи - 12

- режим АЦП 0...+3.3В
- режим АЦП 0...10(24)В
- режим АЦП 0...20мА
- режим РТ1000
- режим дискретного входу "сухий контакт" 3мА
- режим дискретного входу 0 / +3.3В
- режим дискретного входу 0/24У
- режим програмного MicroLan з підтримкою паразитного живлення
- режим логічного виходу 0/3.3В +/-20мА
- режим виходу ШІМ 0/3.3В (8 ліній)
- режим ЦАП 12 біт 0...10В / 0...20мА (2 лінії)

*Всі перераховані варіанти доступні у всіх основних виконаннях одночасно, режим задається індивідуально для кожної лінії*

Ізольовані силові виходи - 8

- механічне реле 250V AC / 5 A
- оптопара з детектором нуля 400 V / 0.15A
- оптореле 1(2)A / 50В
- ВХІД з індивідуальною гальванічною розв'язкою

Живлення +9...24В

Габарити вузла в DIN конструктиві - 105x86x58

#### **4.5.2 Склад і функціонування.**

МСХ53-34.х можна умовно розділити на наступні складові частини:

- мікроконтролер з резонаторами й стабілізатором;
- група зовнішніх інтерфейсів RS485, (CAN) ,USB і MicroLan;
- сигнальні входи / виходи із джамперним полем;
- силові виходи;
- відлагоджувальний роз'єм;
- роз'єм розширення;
- елемент живлення для RTC;

- імпульсний стабілізатор;
- схема формування сигналу ЦАП;
- світлодіодна індикація.

Перелік основних ресурсів STM32F103RET6 GET6 приведено в ДОДАТКУ 2  
Докладний опис складових модулів MCX53-34.x приведено в ДОДАТКУ 3.

Призначення виводів роз'ємів модуля MCX53-34.x приведено в ДОДАТКУ 4.

### **4.5.3 Робота з модулем**

MCX53-34.x може використовуватися як самостійно, так і в складі групи контролерів у якості master або slave контролера. В свою чергу, обоє ці варіанта можуть бути автономними або підключеними до вищестоящої мережі.

Послідовність включення, що рекомендується, для варіанта єдиного контролера:

1. необхідно встановити всі джампери відповідно до обраної конфігурації входів
2. підключити USB і записати програму
3. при першому включенні оператором RLDT встановити час і дату
4. відключити USB
5. виконати підключення всіх сигнальних ліній і навантажень
6. підключити джерело живлення 9...24В
7. подати живлення

Імовірно, при налагодженні, може знадобитися використання підключення до комп'ютера, уже підключеного контролера. Тут потрібно звернути увагу на те, що в контролері канал USB не має гальванічної розв'язки із сигнальними лініями й живленням контролера. Не допускається підключення USB «на ходу» при поданому живленні на контролер.

Підключення USB у цьому випадку, потрібно робити при виключеному живленні контролера й датчиків(якщо такі є). Після підключення до комп'ютера, можна включити живлення контролера (і датчиків).

Послідовність включення, що рекомендується, для варіанта групи

контролерів:

Послідовність як і для одного, тільки в пункт 5 додається міжконтролерне з'єднання, з врахуванням того, що міжмодульний канал не має гальванічної розв'язки із сигнальними лініями й живленням. Живлення в цьому випадку зручніше подавати від одного джерела.

Вищестояща мережа може підключатися «на ходу» до гальванічно розв'язаного каналу RS485. При необхідності цей канал можна використовувати й для міжконтролерного з'єднання, якщо в групі потрібна гальванічна розв'язка між сигнальними лініями різних контролерів. В цьому випадку живлення цих контролерів теж повинне мати розв'язку.

#### **4.5.5 Підключення до комп'ютера**

Перед першим підключенням модуля до систем з операційною системою Windows необхідно встановити драйвер віртуального COM-Порту STMicroelectronics. Для систем з Linux установка спеціального драйвера не потрібно.

Драйвер VCP для Windows доступний на сайті STMicroelectronics. Після цього через кабель USB A-miniB підключити модуль до комп'ютера. Операційна система знайде й установить новий пристрій. В системі з'явиться VCP -> віртуальний COM порт. Надалі при настроюванні терміналу для роботи з модулем, необхідно буде вказати цей порт.

Якщо необхідно, що вийшов номер COM порту можна змінити, зайшовши в диспетчер пристроїв і вибравши цей канал.

При наступних підключеннях модуля буде з'являтися COM порт із цим же номером. Якщо буде підключений інший контролер, то в системі з'явиться інший COM порт. Параметри каналу : швидкість 115200 бод, 8 біт, 1 стоп біт, без парності, апаратний контроль.

Зверніть увагу - при запуску Boot-loader для відновлення версії - BASIC-Cortex або інших цілей, номер COM порту швидше за все буде іншим чим при підключенні в режимі -BASIC-Cortex.

## **5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.**

### **5.1 Програмування модуля RS 2-1 в мережах MODBUS**

Модуль виконує функцію периферійного “Slave” пристрою. У цьому режимі дані, що надходять по послідовному каналі, розглядаються внутрішньою програмою, як пакетне повідомлення від центрального пристрою (“Master”) у форматі Modbus RTU (усі отримують – двійкові дані). У заголовку пакета (перший байт) “Ведучий” завжди передає код адресуемого пристрою. Мережна адреса модуля зберігається за адресою 27h у реєстровому файлі PIC-контролера і його значення завжди повинне бути парним.

Справа в тім, що нульовий біт заголовка визначає ресурси до яких звертається убудована програма при виконанні команди. Значення за замовчуванням для вмісту цього реєстра не вибирається, тому що всі модулі повинні “відгукуватися “ на нульову адресу. Для захисту від помилок у лінії зв'язку в дейтограмме передбачене поле контрольної суми, що визначається по методу CRC(Cyclical Redundancy Check) . Алгоритм підрахунку контрольної суми приводиться в розділі 5. Прийняті дані обробляються модулем (виконується команда і формується чи відповідь квитанція) тільки при збігу підрахованого і прийнятого значення контрольної суми і за умови, що повідомлення адресоване конкретному модулю. Границі пакета визначають тимчасові інтервали в переданому байтовом потоці. Тимчасова затримка передачі чергового байта не перевищує часу передачі 1.5 байт. Пауза між послідовними пакетами перевищує час передачі 5.5 байт.

### **5.2 Формати команд**

Внутрішня програма модуля підтримує виконання чотирьох команд:

- команда 6 - запис реєстра типу 4
- команда 1610 – запис реєстрів типу 4
- команда 3 - читання реєстрів типу 4
- команда 4 – читання реєстрів типу 3

Обробка інших команд полягає у формуванні квитанції с кодом помилки 1 (невірна команда). При обробці “свого” пакета убудована програма аналізує нульовий біт заголовка. Якщо задана адреса парний - операція виконується при звертанні до власних ресурсів RS2-1, інакше за допомогою циклів шини I2C на ресурсах зовнішніх модулів.

Кількість адресуемых регістрів для всіх команд не перевищує 256. Значення старшого байта адреси регістра для команд 3, 4 і 16 при операціях безпосередньо з RS2-1 повинно бути нульовим. Для команд зі звертанням по шині I2C, на місці старшої адреси регістра розташовується Slave-адреса зовнішнього модуля. По специфікаціях протоколу MODBUS регістри типу 3 і 4 мають ємність два байти. Організація реєстрового файлу PIC-контролерів - байтовая.

Під час читання “майстер” може просто ігнорувати прийнятий “зайвий” байт, а для зручності запису одного байта даних прийнята наступне угода по виконанню команди б: убудована програма обробляє тільки молодший байт даних, якщо нульовий біт старшого байта адреси регістра встановлений в одиницю. Ємність програмних буферів приймача і передавача - 32 байта Але з урахуванням заголовка й обов'язкової контрольної суми число байт даних переданих в одному повідомленні не повинне перевищувати 22 (11 слів).

**Формат команди запису запиту:**

адреса пристрою

б - код команди

адреса регістра (старший байт)

адреса регістра (молодший байт)

дані – значення регістра (старший байт)

дані – значення регістра (молодший байт)

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

**Відповідь:**



адреса пристрою

6 – код команди

адреса регістра(старший байт)

адреса регістра(молодший байт)

дані – значення регістра (старший байт)

дані – значення регістра (молодший байт)

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

квитанція:

адреса пристрою

### **8616 – код команди з установленим старшим бітом**

#### **код помилки(один з перерахованих):**

1 - загальне число байт не відповідає формату команди

2 - неприпустиме значення старшого байта адреси при звертанні до власних ресурсів

4 - немає відповіді від slave-пристрою (при звертанні до модуля на шині I2C)

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

### **Формат команди запису 1610**

#### **запит:**

#### **адреса пристрою**

1610 - код команди

адреса першого регістра (старший байт)

адреса першого регістра (молодший байт)

кількість регістрів(старший байт) - завжди повинний бути дорівнює 0

кількість регістрів(молодший байт) -  $0 <$  припустиме значення  $\leq 11$

кількість байт даних

дані – значення першого регістра (старший байт)

дані – значення першого регістра (молодший байт)

...

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

**ВІДПОВІДЬ:**

адреса пристрою

1610 – код команди

адреса першого регістра(старший байт)

адреса першого регістра(молодший байт)

кількість регістрів (старший байт)

кількість регістрів (молодший байт)

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

**квитанція:**

**адреса пристрою**

9616 – код команди з установленим старшим бітом

код помилки(один з перерахованих):

1 - загальне число байт не відповідає формату команди

2 - неприпустиме значення старшого байта адреси при звертанні до власних ресурсів

4 - немає відповіді від slave-пристрою (при звертанні до модуля на шині I2C)

7 - неприпустима кількість регістрів

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

**Формат команд читання 3,4**

**запит:**

адреса контролера

3(4) – код команди

адреса першого регістра (старший байт)

адреса першого регістра (молодший байт)

кількість регістрів(старший байт) - завжди повинний бути дорівнює 0

кількість регістрів(молодший байт) -  $0 < \text{припустиме значення} \leq 11$

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

**Відповідь:**

адреса пристрою

3(4) – код команди

кількість байт даних

дані – значення першого регістра (старший байт)

дані – значення першого регістра (молодший байт)

...

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

**квитанція:**

**адреса пристрою**

8316 (8416)- код команди з установленим старшої битому код помилки(один з перерахованих):

1 - загальне число байт не відповідає формату команди

2 - неприпустиме значення старшого байта адреси при звертанні до власних ресурсів

4 - немає відповіді від slave-пристрою (при звертанні до модуля на шині I2C)

7 - неприпустима кількість регістрів

контрольна сума(молодший байт)

контрольна сума(старший байт)

**5.3 Алгоритм обчислення контрольного циклічного коду (CRC16)**

Обчислення контрольного циклічного коду виробляється шляхом логічного розподілу бітової послідовності отриманої з послідовно складених байтів інформаційного блоку на утворюючий поліном виду  $X^{16}+X^{15}+X^2+1$ .

Алгоритм програмного обчислення CRC.

1. Завантажити в двухбайтовий регістр (назвемо його CRC- регістром) початкове значення  $CRC=0FFFFh$

2. Скласти по модулі 2 (виняткове “ЧИ”) молодший байт CRC- регістра з першим байтом послідовності і помістити результат у CRC-регістр.

5. Зрушити вправо CRC-регістр на прапор переносу (старший біт старшого байта замінити нулем).
5. Якщо прапор переносу = 0, повторити п.3 Якщо прапор переносу =1, скласти по модулі 2 уміст CRC- реєстра з константою 0A001h; результат помістити в CRC- реєстр.
5. Повторювати п.3, п.4 поки загальна кількість зрушень не стане дорівнювати 8.
6. Повторити п.2 для наступного й інших байтів послідовності.
7. Що вийшло в результаті дій по п.1...п.6 значення CRC- реєстра є контрольним циклічним кодом усєї послідовності.

### **Установки послідовного приймально-передавача**

За замовчуванням установлений наступний формат посилки:

8 біт даних , 1 стіп біт , без контролю паритету швидкість передачі 9600 біт/сек

### **Програмування паузи між послідовними пакетами**

Відповідно до протоколу, ця пауза повинна бути не менш часу передачі 5.5 байт. У теж час орієнтуючись саме на це значення внутрішня програма визначає момент завершення передачі повідомлення. Регістр з адресою 26h містить кількість внутрішніх циклів тривалістю в 250 мкс, що укладаються на тимчасовому відрізку рівному часі передачі 5.5 байт. При швидкості умовчання 9600 біт/сек для передачі зазначеної кількості байт потрібен час порядку 5.5 мс , тому за адресою 26h записане значення 15.

Зміною вмісту цього реєстра можна підтримувати передачу пакетів даних у діапазоні швидкостей від 115200 до 600 біт/сек. При необхідності переходу на більш низькі швидкості необхідно змінити значення внутрішнього циклу. Формування цього інтервалу здійснює таймер 1, з періодом внутрішньої синхронізації – 8 мкс.

Розрахувати нове значення завантаження таймера можна по формулі

$$T = 65535 - (\text{новий час циклу, у мкс}/8)$$

Молодший байт T записують за адресою 24h, а старший – 25h

Важливо: вміст адрес 24h і 25h, а також регістра генератора швидкості 99h може бути збережене в енергонезалежній пам'яті і автоматично відновлюватися щораз після включення харчування.

### **Програмування мережної адреси**

Необхідне значення адреси записується в регістр PIC-контролера з адресою 27h. Нагадаємо, що значення, що задається, повинне бути парним. Операція виконується за допомогою команди 6 у форматі для запису одного байта (значення старшого байта адреси регістра встановлено рівним 01). Тут і далі у всіх прикладах усі числа шестнадцятиричні.

Запит:

00 06 01 27 00 02 B8 2D

Відповідь:

02 06 01 27 00 02 B9 CF

Програми вимірювання напруги на аналоговому вході модуля RS2-1, керування зовнішніми модулями, програмування модуля RS2 у режимі перетворювача інтерфейсу I2C – RS232/RS422/RS488 приведені в Додатку 5.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 ОХОРОНА ПРАЦІ**

#### **6.1.1 Правила безпеки при експлуатації обладнання, що проектується.**

1. Блок призначений для експлуатації у зонах не вище класу В-11а по ПУЕ, розділ 7.
2. Перед початком роботи блоку перевірити наявність заземлення блоку і його складових частин.
3. Блок повинен бути оснащений засобами автоматичного пожежогасіння. Система пожежогасіння повинна бути постійно включена .
4. На робочому місці повинні знаходитись:
  - робоча інструкція по експлуатації;
  - інструкція по техніці безпеки і пожежній безпеці при експлуатації блоку;
  - принципова електрична схема блоку;
  - експлуатаційний журнал;
  - технологічна інструкція .
5. Перед початком роботи ознайомитись з записами в експлуатаційному журналі попередньої зміни. В випадку виявлення попередньою зміни неполадок перевірити, чи усунені вони.
6. При підготовці блоку до роботи перевірити:
  - Працездатність окремих частин блоку і блоку в цілому;
  - Спрацювання аварійної сигналізації;
  - Працездатність системи пожежогасіння.
7. При виявленні неполадок в процесі експлуатації робота на блоці негайно припинити і до повного усунення неполадок блок не включати.
8. До обслуговування блоку повинні допускатися особи, котрі отримали право на самостійну роботу у відповідності з ГОСТ 12.0.004-79 ССБТ “Організація навчання працюючих безпеки праці. Загальні положення ” і вивчивши “Керівництво по техніці безпеки, пожежної безпеки і промислової санітарії на виробництві”.

9. При експлуатації блоку та блокіровок слідкувати за нормальною роботою складових частин блоку і блокіровок у відповідності з робочими інструкціями по експлуатації.
10. В зоні обслуговування блоку проводять контроль стану повітряного середовища не рідше одного разу в квартал. Контроль стану повітряного середовища проводить також при зміні технологічного процесу та реконструкції вентиляційних установок.
11. У випадку виникнення пожежі перевірити відключення вентиляції та включення системи пожежогасіння. Про пожежу повідомити адміністрацію.
12. Недопускати проведення робіт пов'язаних з використанням відкритого вогнища та іскроутворюванням (зварювальні роботи і т.п.), поблизу блоку на відстані до 15м.
13. Блок повинен періодично піддаватися технічному обслуговуванню відповідно таблиці з занесенням результатів в експлуатаційний журнал.
14. Ті, що використовуються для контролю параметрів блоку прилади КВП і автоматики повинні бути відремонтованими і пройденими контрольні випробування.
15. Конструкція блоку повинна забезпечувати рівень звуку не більше 85дБ відповідності з ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. "Шум. Загальні вимоги безпеки".
16. Заземлення блоку повинно піддаватися періодичному огляду. Заміри опору заземлюючого приладу повинні проводитись не рідше одного разу в рік. Опір заземлюючих приладів повинен бути не більше 4 Ом.
17. Необхідно періодично проводити заміри опору ізоляції апаратів та електропроводок з відповідним документальним оформленням. Строки проведення замірів і величина опору повинні відповідати діючим "Правилам технічної експлуатації електроприладів користувачів".
18. На блоці не допускати наявності бруду, пилу, та сторонніх предметів.
19. Внутрішні поверхні обладнання повинні піддаватися очищенню від забруднень не рідше одного разу в тиждень.

20. Ремонт, регулювання обладнання блоку проводити тільки після відключення електроживлення та повної зупинки обладнання.
21. На щитах відключити автоматичні вимикачі.
22. На пускових приладах повісити плакати: “Не включати! Працюють люди!”
23. Після закінчення ремонтних робіт повинні бути проведені випробування блоку і його збірних частин.
24. Заборонити роботу на блоці при несправності блокувань безпеки.

### **6.1.2 Розрахунок природнього освітлення для проектованої ділянки.**

Забезпечення освітленості природнім освітленням пов'язане з розміщенням вікон. Конструктивно вікна можуть бути різними по вконанню і місцезнаходженню. Тому і характер природнього освітлення має свої особливості. Воно може бути боковим, верхнім і комбінованим. На проектованій ділянці використовується бокове природнє освітлення.

Природнє освітлення характеризується відношенням природної освітленості, яка створюється всередині приміщення небесним світлом, до значення зовнішньої освітленості земної поверхні від небосхилу, виражене в процентах. Це відношення прийнято називати коефіцієнтом природного освітлення (КПО). Нормування природного освітлення також проводять по розміщенню вікон і в значній мірі залежить від їх конструктивних особливостей та поруч стоячих будівель. При боковому природному освітленні його мінімальне значення  $e_{\min}$  нормується:

- при односторонньому – в точці розміщеній на відстані 1 м від стіни, найбільш віддаленої від світлових отворів;
- при двосторонньому – в точці посередині приміщення на перетині вертикальної площини характерного розділу приміщення і умовної робочої поверхні, або підлоги.

Під умовною робочою поверхнею розуміють умовно прийняту горизонтальну поверхню розміщену на висоті 0,8 м від підлоги.



При дослідному визначенні КПО потрібно проводити заміри освітленості всередині та зовні приміщення одночасно, при хмарному небі. Місце для виміру зовнішньої освітленості вибирають на відкритій ділянці земної поверхні. Для визначення КПО в декількох місцях приміщення зазвичай користуються базовою точкою, для якої КПО визначені значенням  $e_б$ . Як правило, місце цієї точки повинно бути добре освітленим природним світлом. Щоб визначити КПО другої точки, вимірюють освітленість в базовій точці  $E_б$  і в другій вибраній точці  $E_x$ . Тоді коефіцієнт природного освітлення для нової точки можна обчислити за формулами [14] :

$$e_x = e_б \cdot \frac{E_x}{E_б} \quad (6.1).$$

При суміщеному природному освітленні КПО визначають за формулою (7.8.):

$$e_c = e_б + e_v \quad (6.2).$$

Для забезпечення нормованого значення КПО площу світових отворів визначають за формулою (7.9):

$$S = \frac{e_n \cdot \eta_0 \cdot S_n \cdot K_{зд} \cdot K_з}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1}, \quad (6.3)$$

де:  $e_n$  – нормоване значення КПО;  $S$  – площа вікон,  $m^2$ ;  $\eta_0$  – світлова характеристика вікна;  $S_n$  – площа підлоги;  $\tau_0$  – загальний коефіцієнт світлопропускання;  $r_1$  – коефіцієнт, що враховує збільшення КПО від відбитого світла;  $K_{зд}$  – характеризує затемнення вікон від навколишніх будинків;  $K_з$  – коефіцієнт запасу.

Значення коефіцієнтів вибираємо із “СНиП 11-4-79” згідно умов:  $e_n = 1,5$ ;  $\tau_0 = 0,9$ ;  $r_1 = 2$ ;  $K_{зд} = 1$ ;  $K_з = 1,5$ ;  $S_n = 288 m^2$ . Тоді:

$$S = \frac{1,5 \cdot 11 \cdot 288 \cdot 1 \cdot 1,5}{100 \cdot 0,9 \cdot 2} = 40 m^2.$$

Отже загальна площа вікон, щоб забезпечити КПО повинна дорівнювати  $40 m^2$ .

## 6.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.2.1 Основні заходи захисту населення і територій

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитися спеціальний комплекс заходів. Він має такі складові:

Оповіщення та інформування

Оповіщення про загрозу і постійне інформування населення досягається:

завчасним створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних автоматизованих систем централізованого оповіщення населення;

організаційно-технічним з'єднанням територіальних систем централізованого оповіщення і систем оповіщення на об'єктах господарювання;

завчасним створенням і організаційно-технічним з'єднанням з системами спостереження і контролю постійно діючих локальних систем оповіщення та інформації населення в зонах можливого катастрофічного затоплення, районах розміщення радіаційних і хімічних підприємств, інших потенційно небезпечних об'єктів;

централізованим використанням загальнодержавних і відомчих систем зв'язку, радіопровідного, телевізійного оповіщення, радіотрансляційних мереж та інших технічних засобів передачі інформації.

Спостереження і контроль

Спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування

і водою забезпечується:

створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до них існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості;

організацією збору, опрацювання і передачі інформації про стан довкілля, забруднення продуктів харчування, харчової сировини, фуражу, води радіоактивними, хімічними речовинами та

інфекційними мікроорганізмами;

наданням населенню можливості придбати найпростіші засоби захисту і контролю в особисте користування.

Укриття у захисних спорудах

Укриттю в захисних спорудах підлягає усе населення відповідно до його належності до груп (працююча зміна, населення, яке проживає в небезпечних зонах, тощо).

Створення фонду захисних споруд досягається шляхом:

комплексного освоєння підземного простору міст і населених пунктів для взаємопогодженого розміщення в ньому споруд і приміщень соціально-побутового, виробничого і господарського призначення та з урахуванням пристосування і використання частини приміщень для укриття населення в надзвичайних ситуаціях;

обстеження і взяття на облік підземних і наземних будівель та споруд, що відповідають вимогам захисту, споруд підземного простору міст, гірничих виробок і природних порожнин;

дообладнання з урахуванням реальної обстановки підвальних та інших заглиблених приміщень;

будівництва заглиблених споруд, які окремо стоять, об'єктів господарювання, пристосованих для захисту;

масового будівництва в період загрози найпростіших сховищ та укриттів;

завчасного будівництва за рішенням Кабінету Міністрів України окремих сховищ і протирадіаційних укриттів.

Наявний фонд захисних споруд використовується для господарських, культурних і побутових потреб у порядку, визначеному органами МНС України.

## 6.2.2 Евакуаційні заходи

В умовах неповного забезпечення захисними спорудами в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його у позаміській зоні.

Евакуації підлягає населення, яке проживає в населених пунктах, що знаходяться у зонах можливого катастрофічного затоплення, небезпечного радіоактивного забруднення, хімічного ураження, в районах прогнозованого виникнення локальних збройних конфліктів у 50-кілометровій прикордонній смузі, в районах виникнення стихійного лиха, великих аварій і катастроф (якщо виникає безпосередня загроза життю та заподіяння шкоди здоров'ю людини).

Залежно від обстановки, яка склалася на час надзвичайної ситуації, може бути проведено загальну або часткову евакуацію населення тимчасового або безповоротного характеру.

Загальна евакуація в особливий період проводиться в окремих регіонах за рішенням Кабінету Міністрів України для всіх категорій населення і планується на випадок:

небезпечного радіоактивного забруднення навколо АЕС (якщо виникає безпосередня загроза життю та заподіяння шкоди здоров'ю населення, яке проживає в зоні ураження);

загрози катастрофічного затоплення місцевості з чотиригодинним добіганням проривної хвилі;

загрози або виникнення збройного конфлікту в районах 50-кілометрової прикордонної смуги.

Часткова евакуація здійснюється, як правило, в умовах переведення за рішенням Кабінету Міністрів України системи захисту населення і територій на воєнний стан до початку застосування агресором сучасних засобів ураження, а в мирний час - у разі загрози або виникнення стихійного лиха, аварії, катастрофи.

Під час проведення часткової евакуації завчасно вивозиться не зайняте у виробництві і сфері обслуговування населення: студенти, учні навчальних закладів, вихованці дитячих будинків, пенсіонери та інваліди, які утримуються у будинках для осіб похилого віку, разом з викладачами та вихователями, обслуговуючим персоналом і членами їхніх сімей.

### **6.2.3 Розрахунок евакуаційних шляхів із виробничих приміщень (дільниці) цеху що проектується.**

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати евакуацію через евакуаційні шляхи всіх людей які знаходяться в приміщенні будівель, цехів на протязі необхідного часу евакуації.

Розрахунковий час евакуації з приміщень і будівель проводиться по формулах.

1. Для забезпечення безпечної евакуації людей з приміщень і будівель розрахунковий час евакуації  $t_p$  не повинно бути більше необхідного часу евакуації людей  $t_{нб}$ :

$$t_p \leq t_{нб} , \quad (6.4)$$

2. Розрахунковий час евакуації людей з приміщень і будівель встановлюється по розрахунку часу руху одного або декількох людських потоків через евакуаційні виходи від найбільш віддалених місць розміщення людей.

При розрахунку весь шлях руху людського потоку ділиться на дільниці (прохід , коридор, дверний проєм, сходовий марш, тамбур) довжиною  $l_i$  і шириною  $\delta_i$ . Початковою ділянкою є проходи між робочими місцями, обладнанням. При визначені розрахункового часу довжина і ширина кожної ділянки шляху приймаються по проекті. Довжина шляху по сходових маршах, а також по пандусах вимірюється по довжині маршу. Довжина шляху в дверних проємах приймається рівною до нуля. Проєм , розташований в стіні товщиною більше 0,7 м . а також тамбур потрібно рахувати самостійною ділянкою горизонтального шляху маючи закінчену довжину  $l_i$ .

3. Розрахунковий час евакуації людей  $t_p$  потрібно визначати як сумму часу руху людського потоку по різних ділянках шляху  $t_i$  по формулі:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i, \quad (6.5)$$

де  $t_1$  – час руху людського потоку на першому (початковій) ділянці, хв;

$t_2, t_3, \dots, t_i$  – час руху людського потоку на кожному з послідуєчих після першої ділянки шляху, хв.

4. Час руху людського потоку по першій ділянці шляху потрібно визначати по формулі:

$$t_1 = \frac{I_1}{V_1} \quad (6.6)$$

де  $V_1$  – значення швидкості людського потоку по горизонтальному шляху на першій ділянці, визначається по таблиці 6.1. в залежності від щільності  $D_1$ , м/хв.

Щільність людського потоку  $D_1$  на першій ділянці шляху який має довжину  $I_1$  і ширину  $\delta_1$  потрібно визначати за формулою:

$$D_1 = \frac{N_1 f}{I_1 \delta_1}, \quad (6.7)$$

де  $N_1$  – число людей на першій ділянці;  $f$  – середня площа горизонтальної проєкції людини, яка приймається рівною,  $m^2$ : дорослого в домашньому одязі – 0,1;

5. Значення швидкості  $V_1$  руху людського потоку на ділянках шляху, наступній після першого, приймається по таблиці 6.1. в залежності від значення інтенсивності руху людського потоку по кожному з цих ділянок шляху, яке потрібно визначити для всіх ділянок шляху, в тому числі і для дверних проємів по формулі:

$$\rho_i = \frac{\rho_i - 1 \delta_i - 1}{\delta_i} \quad (6.8)$$

де  $\delta_i, \delta_{i-1}$  – ширина розглядаємого  $i$  і попереднього до нього  $i-1$  ділянки шляху, м;  $\rho_i, \rho_{i-1}$  – значення інтенсивності руху людського потоку по розглядаємому  $i$  і попереднього  $i-1$  ділянки шляху, м/хв; значення

інтенсивності руху людського потоку на першій ділянці шляху, визначається по таблиці 6.1.. по значенню  $D_1$ , встановлений по формулі (6.4).

Таблиця 6.1 – Швидкість і інтенсивність руху людського потоку в залежності від його щільності.

Щільність потоку $D, \text{м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальний шлях		Проєм дверей	Сходи вниз		Сходи вверх	
	Швидкість $V, \text{м/хв}$	Інтенсивність $P \text{ м/хв}$		Інтенсивність $P \text{ м/хв}$	Швидкість $V, \text{м/хв}$	Швидкість $V, \text{м/хв}$	Інтенсивність $P \text{ м/хв}$
	0,01	100	1		1		100
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,5	22	11
0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,8
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 і більше	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

При дверях, які відкриваються в сторону евакуаційного шляху розрахункову ширину евакуаційного шляху потрібно приймати рівною:

- Ширина коридору, зменшена на половину ширини дверного полотна, - при односторонньому розміщенні дверей;
- Ширині коридору, зменшений на ширину дверного полотна, при двосторонньому розміщенні дверей.
- Двері сходових кліток в відкритому положенні не повинні зменшувати розрахункову ширину сходових площадок і маршів.
- Мінімальна ширина ділянок шляхів евакуації встановлюється в залежності від призначення будівель, але не менше 1м. Мінімальна ширина дверей на шляхах евакуації повинна бути 0,8м. Ширина зовнішніх дверей сходових кліток повинна бути не менше ширини маршу сходів.

На шляхах евакуації не повинно бути крутих підйомів (більш як 1/5) порогів та інших перепон. У таблиці 6.2. наводяться допустимі відстані від найвіддалених робочих місць до виходів назовні в залежності від категорії виробництва і ступеня вогнестійкості приміщення.

Необхідна сумарна ширина сходових маршів а також дверей або проходів на шляхах евакуації повинна бути забезпечена з розрахунку не менш як 125 чол. на 1м ширини для одно- та двоповерхових, 100 чол на 0,6м ширини для приміщень висотою в 3 і більше поверхів. Ширина коридорів у виробничих приміщеннях має бути не менше 1,4м , а ширина дверей не менше 0,8м. Сумарна ширина проходів для евакуації всіх людей, що перебувають у цеху визначаються за формулою [11]:

$$B = \frac{M \times C}{t\psi} M \quad (6.9)$$

де М – кількість людей у цеху; С – мінімальна ширина одного потоку, м; Т – час евакуації, хв;  $\psi$  - середня пропускна здатність одного потоку, люд/хв.

При розрахунку С = 0.6м а  $\psi$  - в залежності від поверховості приміщення, для двоповерхового  $\psi = 25$  люд/хв, для триповерхового  $\psi = 20$  люд/хв, для приміщення, що має багато поверхів  $\psi = 15$  люд/хв.

Таблиця 6.2 –Допустимі відстані від робочих місць до виходів назовні

Категорія виробництва	Ступінь вогнестійкості приміщення	Найбільші відстані від робочих місць до виходів назовні, м.	
		В одноповерхових	В багатоповерхових
А	1 і 2	30	25
	Б	75	50
В	1 і 2	75	50
	3	60	40
	4	50	30
	5	50	-
Г	1 і 2	Не обмежуються	Не обмежуються
	3	60	50
	4 і 5	50	-
Д	1 і 2	Не обмежуються	Не обмежуються
	3	100	75
	4	60	50
	5	50	40



## **Висновок розділу**

Виконання вимог, норм проектування, інженерно-технічних заходів цивільної оборони сприяє нормальному функціонуванню промислових підприємств і забезпеченню робітників і службовців не тільки в надзвичайних умовах мирного і воєнного часу, але і покращує умови праці і проживання людей.

## ВИСНОВОК

В кваліфікаційній роботі проведено дослідження роботи автоматичної системи управління контролю установкою вакуумного випарювання томатної пасти та її згущення до заданого вмісту вологи у кінцевому продукті.

Технологічний процес згущення продукту методом вакуумного випарювання проходить при значеннях температури нагріву сировини до стану кипіння значно нижчих ніж за нормальних умов, при звичайному атмосферному тиску. Забезпечення низьких температур кипіння сировини і скорочення тривалості технологічного переходу випарювання найкраще забезпечує кінцеву якість харчових продуктів та ефективність установки в цілому, – підвищення її енергоефективності та скорочення тривалості виробничого циклу.

В даній кваліфікаційній роботі запропоновано удосконалену динамічну модель установки вакуумного випарювання, яка враховує зміни по каналах збурення, а саме, – відхилення витратних характеристик, температурні коливання теплоносія та сировини, динамічні зміни параметрів тиску у камері установки.

Створено структурну динамічну схему вакуумвипарної установки, визначені передавальні функції по каналах управління, відхилення та збурення. Запропоновано алгоритм роботи ПД-регуляторів в автоматичній системі управління і контролю вакуумною установкою випарювання.

Проведено розрахунок оптимальних налаштувань пропорційної, інтегруючої та диференціальної складових регулятора, що значно підвищило ефективність використання енергоресурсів при реалізації даного технологічного процесу.

В кваліфікаційній роботі розроблено автоматизовану систему керування установкою вакуумного випарювання УВИП-20/5 – на базі програмованого контролера МСХ53-32.х .

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Брусиловский, Л. П. АСУТП цельномолочных и молочных производств / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг. - М.: Колос, 1993. - 363 с.
2. Хомяков, А. П. Усовершенствование выпарных установок «Виганд» для сгущения молока / Т. К. Трофимов, В. Д. Харитонов // Молочная промышленность. - 1999. - № 2. - С. 17-19.
3. Новое в автоматизации технологических процессов сгущения и сушки молока и молочных продуктов / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг, В. П. Молотков. - М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1983. - 56 с.
4. Хомяков, А. П. Отечественное оборудование для сгущения молока и молочных продуктов / А. П. Хомяков, Л. К. Трофимов // Молочная промышленность. - 1999. - № 1. -
5. Опыт эксплуатации выпарного и сушильного оборудования на Лианозовском комбинате / Ю. И. Меркулов [и др.] // Молочная промышленность. - 1993. - № 1. - С. 21-24.
6. Брусиловский, Л. П. Приборы технологического контроля в пищевой промышленности / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг. - М.: Агропромиздат, 1990. - 288 с.
7. Ицкович Г. М. Курсовое проектирование деталей машин М.: Машиностроение, 1970-560с.
8. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя том 2.- М.:Машиностроение, 1980-560с.
9. Горбачев А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения М.: Машиностроение, 1975.-340с.
10. Соколов В.Н. Конструирование оборудования пищевых производств.- М.: Пищевая промышленность, 1983-348с.
11. Харламов С. В. Конструирование технологических машин пищевых производств. М.: Машиностроение, 1979 г. – 256с.
12. Зайчик О. С. Сборник задач по расчетам оборудования винодельческих предприятий. М.: Пищевая промышленность, 1973 г. – 235 с.

13. Гулий І.С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості К.: Нова книга 2000 р. – 575 с.
14. Соколов В.Н. Конструирование оборудования пищевых производств. - М.: Пищевая промышленность, 1979-386с.
15. Иванов К.А., Смирнов Г.А. Механизация погрузочно- разгрузочных, транспортных и складских работ.-М.: Агропромиздат 1980.-231с.
16. Азаров Б. М. Технологическое оборудование пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1988. – 320 с.
17. Красов Б. В. Ремонт и монтаж оборудования предприятий молочной промышленности. изд. 3-е. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 305с.
18. Справочник по монтажу технологического оборудования молочной промышленности. Под ред. Шувалова В. Н. М.:Машиностроение, 1968. – 500с.
19. Справочник конструктора – машиностроителя. Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова – М.:Машиностроение, 1972. – 712с.
20. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы. Под редакцией Якубовского С.В., Справочник. М.: Радио и связь, 1977. – 494с.
21. Самофалов К.Г.,Карнейчук В.І., Тарасенко В.П. «Электронные цифровые вычислительные машины». - К.: Высшая школа , 1978 - 479 с.
22. Савельев А.Я. «Арифметические и логические основы цифровых автоматов». - М.: Наука , 1980 - 555 с.
23. Цифровая и вычислительная техника ( під редакцією Э.В. Евреннова ) - М.: Радио и связь , 1991 -464 с.
24. Васильев В.И., Гусев Ю.М. , Миронов В.Н. «Электронные промышленные устройства». - М.: Высшая школа ,1988 - 303 с.
25. Титце У., Шенк К. «Полупроводниковая схемотехника». - М.: Мир ,1992 - 512 с.
26. Терещук Р.М. и др. “Полупроводниковые приемно–усилительные устройства”: Справочник радиолюбителя. Киев. Наукова думка, 1987.-800 с.

27. Забродін Ю.С. “Промислова електроніка”. – М.: Вища школа, 1982.
28. Александров К., Кузьмина “Електротехнічні креслення та схеми” – Енергоиздат – 1990
29. ”Линейные интегральные схемы”. Справочник под. ред. Шило В.Л., М.: 1979.

## **ДОДАТКИ**