

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерних наук  
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Довбиш А.С.

\_\_\_\_\_ 2020 р.

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 151 – “Автоматизація та комп'ютерно-інформаційні технології”  
на тему: “ Система керування термічною обробкою харчових продуктів ”

Керівник роботи:

к.ф.-м.н., доцент

Соколов С.В.

Дипломник студентка гр. СУ.м-91

Толбатова О.О.

Суми – 2020

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Кафедра комп'ютерних наук  
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Довбиш А. С.

“ \_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ “ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Толбатової Олени Олександрівни

1 Тема КРМ: Система керування термічною обробкою харчових продуктів.

Затверджено наказом ректора університету № 1820-III від « 25» листопада 2020р. Термін здавання студенткою закінченої роботи «17» грудня 2020 р.

2 Вихідні дані до КРМ: звіт з переддипломної практики, тези НТК, публікації, статті, монографії, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису технологічного процесу термічної обробки харчових продуктів.

3 Зміст кваліфікаційної роботи : сучасний стан проблеми термічної обробки харчових продуктів; характеристика об'єкта автоматизації; аналіз обробки полікомпонентних харчових систем; експериментально-розрахункова частина.

4 Перелік графічних матеріалів:

А). Схема функціональна системи обробки м'ясних виробів;

## 5 Календарний план

Номер етапу	Зміст етапу	Термін виконання (початок - кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Огляд літератури і пошук першоджерел	01.09.2020 – 15.09.2020
2	Сучасний стан проблеми обробки харчових продуктів	16.09.2020 – 20.09.2020
3	Термічна обробка ковбасних виробів	21.09.2020 - 02.10.2020
4	Розроблення розділів кваліфікаційної роботи	03.10.2020 – 03.11.2020
5	Вибір технічних засобів для розробки системи автоматичного регулювання	04.11.2020 – 24.11.2020
6	Технічне оформлення роботи. Здавання роботи керівнику	25.11.2020 – 15.12.2020

Дата видачі завдання “03 “ вересня 2020 р.

Керівник проекту:

к.ф.-м.н., доцент Соколов С.В.

До виконання прийняла:

студентка групи СУ.м-91 Толбатова О.О

## РЕФЕРАТ

Толбатова Олена Олександрівна. Система керування термічною обробкою харчових продуктів. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський державний університет. Суми, 2020 р. Система автоматизації розроблена на базі ПЛК ОВЕН 110 з використанням додаткових модулів вводу виводу.

Кваліфікаційна робота містить 77 сторінок, 23 рисунка, 3 таблиці, 3 додатки. При виконанні кваліфікаційної роботи були використані 35 літературних джерел.

Розроблена автоматична система керування забезпечує якісне адаптивне регулювання процесу термічної обробки різних продуктів в камері малого розміру.

Ключові слова: термічна обробка харчових продуктів, ПІД регулятор, управління температурою.

## ABSTRACT

Tolbatova Olena Olexandrivna. Food heat treatment control system.

Qualifying work of the master. Sumy State University. Sumy, 2020. The automation system is developed on the basis of the Aries PLC 110 using additional I/O modules.

Qualification work contains 77 pages, 23 figures, 3 tables, 3 appendices. 35 literature sources were used in the qualification work.

The developed automatic control system provides high-quality adaptive control of the process of heat treatment of various products in a small chamber.

Key words: heat treatment of food products, PID regulator, temperature control.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Історія розвитку виробництва ковбас .....	9
1.2. Аналіз сировинної бази України .....	11
1.3. Термічна обробка ковбасних виробів.....	13
<b>РОЗДІЛ 2. ЦІЛІ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>19</b>
2.1. Обґрунтування актуальності дослідження системи керування термічною обробкою харчових продуктів.....	19
2.2. Методи дослідження системи керування термічною обробкою харчових продуктів.....	20
<b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ.....</b>	<b>21</b>
3.1. Опис технологічних напрямів теплової обробки м'яса .....	21
3.2. Характеристика об'єкта автоматизації .....	34
3.3. Аналіз обробки полікомпонентних харчових систем .....	39
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....</b>	<b>46</b>
4.1 Розробка системи автоматичного регулювання.....	46
4.2 Передача інформації від джерела до програмованого логічного контролеру за протоколом RS-485.....	58
4.3. Передача інформації від джерела до програмованого логічного контролеру за протоколу MODBUS.....	65
4.4. Обґрунтування-економічної ефективності.....	68
4.5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	70
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>72</b>
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТОК А (Відгук керівника кваліфікаційної роботи) .....	78
ДОДАТОК Б (Рецензія на кваліфікаційну роботу магістра) .....	79
ДОДАТОК В (Функціональна схема автоматизації) .....	80

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматична система управління технологічним процесом

КГАСУТОС – комплекс гнучких автоматичних систем управління термічною обробкою сировини

ПЛК – програмований логічний контролер

СА – система автоматизації

САР – система автоматичного регулювання

СК - система контролю

СКТОХП – система керування термічною обробкою харчових продуктів

СР – система регулювання

ССК – структурна схема керування

ТО – термічна обробка

ФСА – функціональна схема автоматизації

## ВСТУП

У сучасному житті існують такі продукти, без яких ми не уявляємо свого життя. Вони оточують нас кожен день і складають основну частину нашого раціону. До цих продуктів відносяться ковбаси та інші м'ясні продукти тваринного забою. Виробництво м'ясної продукції у сучасних умовах ринкової економіки є безумовно вигідне та завжди буде перспективне.

Як, відомо сучасний український ринок м'ясних виробів переповнений різними підробками, а саме заміниками, наповнювачами та різними шкідливими речовинами (природними та штучними). Натуральні м'ясні вироби хоч і коштують набагато більше ніж підробки, але вони більше користуються і будуть користуватися завжди великим попитом і популярністю. Тому на ринку буде найбільш конкурентоспроможне те підприємство переробки м'ясопродуктів, яке зарекомендує себе, як виробник, що випускає найбільш якісні натуральні м'ясні вироби.

Зараз існує проблема - створення принципово нових технологій, глибокої комплексної переробки м'ясної сировини у продукти високої якості, які мають оздоровчий вплив на організм людини, забезпечують профілактику аліментарно-залежних станів і захворювань, сприяють усуненню дефіциту вітамінів, мікро- і макроелементів, інших речовин. Цим вимогам відповідають більшість продуктів функціонального призначення, які позитивно впливають на відповідні функції організму, з метою підвищення біологічної цінності і поліпшення властивостей ковбасних виробів використовується порошок моркви, бурякове харчове волокно і лактулоза у рецептурі варених ковбасних виробів, випуск яких складає близько 60% усієї м'ясної продукції, що споживається [1 – 35].

Впровадження сучасної АСУ ТП дає наступні можливості [19]:

- забезпечити високу якість продукту;
- підвищити вихід продукції з одиниці сировини;
- оптимізувати продуктивність і ефективність роботи обладнання;

- зменшити витрати ресурсів;
- оптимізувати чисельність персоналу;
- підвищити культуру виробництва.

**Метою дослідження** є наукове обґрунтування і вдосконалення технології теплової обробки полікомпонентних харчових систем та отримання напівфабрикатів високого ступеня кулінарної готовності з гарантованим рівнем харчової, біологічної цінності і пролонгованим терміном зберігання.

**Об'єктом дослідження** є процес термічної обробки харчових продуктів з доведенням її показників до відповідних технічних умов.

**Предметом дослідження** є адаптивне регулювання термічною обробкою продуктів харчування в камері малого розміру.

**Завдання магістерської роботи:** розглянути сучасний стан проблеми термічної обробки харчових продуктів, проаналізувати технологічний процес теплової обробки харчових продуктів з розробкою відповідної системи автоматичного регулювання.

**Наукова новизна** передбачає оптимізацію процесу термічної обробки харчових продуктів; були застосовані методи регуляції температурних параметрів при нагріванні повітрям, інфрачервоним випромінювання та парою.

Розроблена система забезпечує якісне адаптивне регулювання процесу термічної обробки різних продуктів в камері малого розміру.

**З практичної точки зору** дані дослідження можуть бути застосовані при реалізації технологічного процесу температурної обробки харчових продуктів невеликими партіями.

**Апробація результатів.** Основні результати дослідження доповідалися на науково-технічних конференціях АІСТ (індексується БД scopus/wos), ІМА (2016-2020 р.р.) та інших.

За результатами досліджень опубліковані статті у фахових і міжнародних виданнях.

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.



# 1. РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

## 1.1. Історія розвитку виробництва ковбас

Історія виникнення ковбас уходить у далекі часи, перші згадки про цей продукт були знайдені у Древній Персії, а у Древній Греції був дуже популярний продукт, древній предок ковбаси: варений або смажений фарш, котрий був упакований у свинячі шлунки. Розповсюдженню ковбаси по всьому світу сприяли моряки та купці. Вирушаючи у тривалу подорож, вони неодмінно брали із собою ковбасу. Саме у той час було помічено, що правильно приготована ковбаса набула властивість зберігатись та не псуватись до 2 років. Потрапивши до Європи, ковбаса отримала особливу увагу та пошану. Завдяки особливому коханні до м'яса, ковбаса у Європі перетворилась, з'явилося багато рецептів, видів, смаків ковбас. Із появою ковбасних фабрик, популярність та доступність ковбасних продуктів зросла у багато разів. У наш час дефіциту ковбаси – немає, полиці магазинів заповнені великим асортиментом цього товару, на будь-який смак – копчена, варена, із м'яса птиці, із свинини тощо. Яка ж користь може бути від ковбаси? Ковбаса – це багате джерело білку та енергії. Як деякі вважають, ковбаса містить у собі консерванти, барвники, різні наповнювачі та смакові добавки, що негативно позначається на її користі. Але тут необхідно підкреслити, що у складі ковбас якісного виробництва, якщо і входять ці інгредієнти, але лише натурального походження, що ніяк не відобразиться на її якості. Щоб не ризикувати своїм здоров'ям, при виборі ковбаси у магазині, ви навряд чи будете брати товар сумнівного виробника [7].

Взагалі, нема достовірної інформації про походження самого слова «ковбаса», вважається, що воно могло прийти к нам від латинського «колба» – круглий чи від польського - «киелбасар» – м'ясо, м'ясне їство. Деякі історики вважають, що слово «ковбаса» прийшло із тюркських мов: турецьке «kulbastu» значить «піджарене на сковороді м'ясо». По іншій

версії, слово «кълбаса» має слов'янський корень і має родинний зв'язок до слова «колобок». Сучасне слово «ковбаса» («sausage») пішло від латинського слова «salsus», що означає солоний. Мабуть, у стародавні часи цей термін мав більш широке значення, і значив не тільки сосиски і ковбаси у нашій уяві, а ще й солоне чи просто консервоване м'ясо. Тоді не було можливості зберігати м'ясо у холоді, а виготовлення ковбас (варених и копчених) був гарний спосіб його зберігти. Минали сторіччя, а люди все більше і більше удосконалювали процес виготовлення ковбас. Так, у залежності від географічного розташування у різних частинах світу з'явилися різні рецептури ковбас, які більш всього підходили для того чи іншого клімату. Для прохолодних районів північної Європи, коли сире м'ясо може достатньо довго зберігатися без спеціального охолодження, більш придатними були сирі ковбаси. Для того, щоб зберегти м'ясо у теплі місяці застосовувалось копчення[21], [22].

У південних районах Європи, а також в Азії, доцільним було готувати сухі ковбаси (dry sausage): у цьому випадку ковбаса без допоміжної обробки висувувалась на сонці. Прикладом такого способу приготування може слугувати суджук (шужук) і бастурма. Існує погляд, що кочівники з азійських степів зберігали суджук у сумках під сідлом. Саме там відбувався останній етап приготування ковбаси - висувуваючись, вона приймала специфічну форму. Зараз же плоска форма тільки дань традиції.

Люди, які живуть у різних областях держави почали вигадувати власні рецепти та давати готовому продукту звучне ім'я. Так з'явилися, віденські ковбаси, італійські, англійські, камберліндські... І тільки у баварському містечку Гассельдорф місцеві жителі встановили пам'ятник своєму земляку Йоганну Георгу Ланеру. Йоганн Георг Ланер вважається винахідником сосисок. М'ясник переїхав із Франкфурта у Відень. Там він відкрив м'ясний магазин і продавав сосиски, які він назвав франкфуртськими. Питання про те, хто саме винайшов сосиски, є старою суперечкою між містами Франкфурт і

Відень. У Франкфурті сосиски виготовляли із середньовіччя, але у віденських сосисках уперше використовували суміш яловичини і свинини, рецептура, по якій виготовляють сучасні сосиски.

Ось і виходить, що такі звичні нам ковбасні вироби, мають багаторічну історію і безліч іменних родичів у різних країнах.

В Україні ковбасне виробництво відоме з давніх часів. Татищев вказує, що русини вміли солити м'ясо вже при Святославі, а за Карамзіним, шинка з'явилася на Русі в епоху Володимира, окости подавали на бенкетах князя в Києві.

На початку ХІХ століття завдяки все більшому розвитку російського способу виробництва, в продажу з'явилася знаменита згодом углицька ковбаса, винайдена Русиновим, російським учнем німецького ковбасника, у місті Угличі. Після 1910 року в ковбасному виробництві почалося повальне технічне переозброєння за допомогою німецьких фірм, які пропонували сучасне обладнання.

У радянські часи до класичних сирокочених ковбас додалися варені сорти. У 1936 році випустили експериментальну партію дієтичної ковбаси із високим вмістом свинини, з ніжною структурою і без копчення. Ця ковбаса була випущена спеціально для медичних закладів (лікарні і санаторії) для тяжкохворих, людей, які перенесли операції чи «маючих підірване здоров'я у результаті Громадянської війни і Царського деспотизму», від чого і отримала назву «Лікарська». Після Другої Світової війни інтерес до ковбас, як до простої їжі, яка не потребувала приготування, тільки виріс. З кількістю випущеної ковбаси знижувалась [21], [22] її якість, і до 80 років досягла критичного рівня.

## **1.2. Аналіз сировинної бази України**

Тваринництво є сировинною базою для м'ясної промисловості. Воно забезпечує людей харчовими продуктами (молоко, масло, сир; близько 60%

білків, що їх споживає людина,—( продукти тваринництва), дає сировину для легкої (вовна) і харчової, а також фармацевтичної промисловості, тяглову силу (кінь, віл), основне органічне добриво— гній. Продукти тваринництва легко збувати, і вони за нормальних обставин часто бували основою бюджету українського селянина. Тваринництво поділяється (в Україні) на скотарство (розведення і використання великої рогатої худоби), вівчарство, конярство, козівництво, кролівництво; до тваринництва зараховують також бджільництво та шовківництво[21], [22].

По об'ємам продаж продуктів харчування м'ясо уступає тільки хлібобулочним виробам. Крім продуктів харчування, м'ясна промисловість також виробляє корми для сільського господарства, лікувальні препарати та ін.. Із тваринної сировини виробляють відомій всім гематоген.

Основні напрямки м'ясної промисловості – м'ясокомбінати, які знаходяться у великих містах, а також у районах розвинутого тваринництва. Найбільші з них знаходяться у Києві, Полтаві, Харкові, Одесі. У станній час сировинна база тваринництва розширювалась за рахунок прискореного розвитку птахівництва у Донбасі, навколо Києва, Харкова, а також у курортних зонах.

За даними ДержКомСтату, на 1 січня 2011 року чисельність ВРХ в Україні у всіх категоріях господарств в порівнянні з даними на 1 січня 2010р. знизилася на 87,2 тис. голів чи на 1,8% (на 1 січня 2010 р. – 4826,7 тис. голів). Найбільша кількість ВРХ у загальному секторі становила у Полтавській області (161,7 тис. голів),а найменше у Закарпатській (4,7 тис. голів).

У господарствах приватного сектора кількість ВРХ найбільше становила у Львівській області (232,1 тис. голів), а найменше у Донецькій (59,6 тис. голів)  
1)Чисельність корів за рік зменшилась на 2,2% и склала 2736 тис.голів.

Найбільше скорочення зафіксовано у Львівській області(-6,1%).

2) Чисельність свиней за рік збільшилася на 6,1% і це характерно для 19 областей України. Найбільше у Ровенській(+15,8%) та Івано-Франківській(+17,8%) областях.

3) Чисельність поголів'я птиці у порівнянні з груднем 2009 року збільшилась на 5,6%(грудень 2009 року – 191,446 млн. голів). Ріст характерний для 19 областей України. Найбільше у Хмельницькій(+34%) області.

Об'єм виробництва ковбасних виробів з початку минулого року склав 270,1 тис. тон. Це на 11,2% більше ніж за аналогічний період 2009 року (242,9 тис. тон). Основними виробниками цього виду м'ясопродуктів були господарства Дніпропетровської, Донецької і Полтавської областей. На долю яких припала третина всього виробництва.

Виробництво варених ковбас, сосисок і сардельок у порівнянні з минулим роком збільшилося на 8%. Виробництво напівкопчених та варено-копчених, напівсухих також збільшилося на 5% та 13,5% відповідно. А копчено-запечених ковбас зменшилося у виробництві на 6,3%[21], [22].

### **1.3. Термічна обробка ковбасних виробів**

Термічна обробка ковбасних виробів [20] складається з кількох процесів: осаджування, обжарювання, варіння, охолодження, копчення, запікання та сушіння. Необхідність проведення тієї чи іншої стадії залежить від виду виготовлення виробів.

Основна мета термообробки:

- довести продукт до кулінарної готовності;
- зафіксувати структуру м'ясопродуктів;
- знищити вегетативні форми мікроорганізмів та підвищити стійкість продукції до зберігання;
- сформувати органолептичні характеристики готового продукту - зовнішній вигляд, колір, смак, запах, консистенцію.

У вітчизняних технологіях [21], [22] та деяких традиційних західних технологіях виробництва ковбас перед термічною обробкою здійснюється осаджування.

## Осаджування

Осаджування - це процес витримування батонів, нашпицьованих до оболонки, у підвішеному стані при температурі 2-8°C та відносній

вологості повітря 80-85%. Тривалість осаджування складає для варених ковбас 2...3 години, напівкопчених - 2...6 годин, варено-копчених - 24...48 годин, сирокочених та сиров'ялених 5..7 діб.

Короткочасне осаджування варених та напівкопчених ковбас має на меті:

- відновлення зв'язків між складовими частинами фаршу, порушених під час шприцювання, та завершення процесу повторного структуроутворення;
- розвиток реакцій, пов'язаних зі стабілізацією фаршу, які проходять при подальшому обжарюванні та варінні;
- підсушування оболонки, що забезпечує хороший товарний вигляд ковбасних батонів після обжарювання [21], [22].

При тривалому осаджуванні сиров'ялених та сирокочених ковбас, нарівні з вказаними вище процесами, першорядного значення набуває дозрівання фаршу під дією тканинних ферментів та мікроорганізмів. У результаті розвитку цього процесу формується консистенція, колір, смак та аромат ковбас [21], [22].

Дозрівання починається у м'ясі безпосередньо після забою, продовжується у період соління, осаджування та копчення і завершується під час сушіння.

У період тривалого осаджування сирокочених ковбас циркуляція повітря повинна бути природною тому, що надмірне висихання поверхневого шару ковбасного батона Може негативно вплинути на подальші процеси копчення та сушіння.

Осаджувальну камеру устатковують підвісними доріжками. Для створення необхідного режиму у камері монтують настінні батареї або повітроохолоджувачі.

На більшості вітчизняних підприємств осаджування варених і напівкопчених ковбас проводять не у спеціальних камерах, а по шляху проходження ковбас з шприцювального відділення до обжарювального на протязі 20-60 хв у неохолоджених приміщеннях при температурі +15 - +25°C. Вплив нерегульованих температурно-вогкісних умов може викликати закисання фаршу і відновлення нітриту натрію до молекулярного азоту. У результаті є загроза мікробіологічного псування ковбас, появи місцевого знебарвлення (сірі плями на розрізі), пористості структури (за рахунок виділення газоподібного азоту). Використання сучасних технічно-технологічних принципів та засобів обробки сировини дозволяє виключити осаджування. До них відносяться:

- використання м'яса з високими функціональними властивостями;
- високий ступінь гомогенізації сировини при використанні сучасних високошвидкісних кутерів;
- застосування систем вакуумування при виготовленні і шприцюванні емульсій;
- введення до рецептур аскорбінатів та еритробатів натрію;
- підсушування ковбасної оболонки на першій фазі обжарювання та оптимізовані режими подальшої термообробки [21], [22].

Це дозволяє гарантовано забезпечити як тиксотропне відновлення деформації при шприцюванні структурної матриці м'ясної емульсії, так і необхідний рівень розвитку реакцій барвоутворення.

Обжарювання.

Обжарювання (гаряче копчення) - обробка поверхні м'ясопродуктів гарячими димовими газами з температурою 50-120 °C протягом періоду від 30 хвилин до 3 годин. Температура обжарювання багато в чому визначається видом м'ясопродуктів. Для більш жирнішої сировини потрібні мінімальні температури, щоб запобігти виступу жиру на поверхні оболонки. Щоб уникнути утворення зайвої зморшкуватості оболонки рекомендується підвищення вологості в камері до 52±5 % за 15-20 хвилин до закінчення

процесу обжарювання. Тривалість обжарювання залежить від діаметру батона і виду м'ясопродуктів. На підприємстві процес проводять в дві фази: підсушування оболонки при 50-60 °С і власне обжарювання при максимальних температурах.

Мета обжарювання - зміцнення структури і набуття товарного вигляду, завершення стабілізації забарвлення фаршу, випаровування частини слабо зв'язаної вологи, що дозволяє отримати готовий продукт з монолітною структурою, і дія на ковбаси диму, що забезпечує приємний специфічний смак і запах ковбас. При обжарюванні активізується реакція кольороутворення (починаючи з рівня температури 25-30 °С) в м'ясній емульсії за рахунок інтенсивного розпаду нітриту натрію. Застосування низьких температур обжарювання або скорочення її тривалості приводить до появи пористості і блідо-сірого кольору.

Велике значення при варінні м'ясних продуктів має швидкість нагріву [21], [22]. При дії високих температур протягом короткого часу унаслідок інтенсивного випаровування готовий виріб має незадовільні органолептичні показники, низьку соковитість і вихід. При повільному нагріві денатурація білкових фракцій носить характер послідовного наростання, функціональні групи

білків поступово і активніше беруть участь в побудові вторинного структурованого каркаса емульсії, що супроводжується меншою усадкою системи і мінімальними втратами води. На підприємстві використовують ступінчасті режими термообробки, які дозволяють забезпечити краще скріплення і розподіл вологи по об'єму продукту, поліпшити його якісні характеристики, скоротити загальну тривалість процесу. Чим м'якіші режими термообробки, тим більше виражений м'ясний аромат готових виробів.

Обжарюють ковбасні вироби без використання диму у камері з газовим, паровим або електричним нагріванням за звичайних режимів обжарювання.

Варіння.

Після обжарки ковбасні вироби негайно піддають варінню. В іншому



випадку можливо не тільки погіршення забарвлення фаршу, але і його закисання в наслідок розвитку мікробів товщі батону.

Позитивність між обжарюванням і варінням при необхідності не повинна перевищувати 30 хвилин. Тривалість варки визначається товщею батону. При надто довгому варінні ковбас може відбутись розрив оболонки і оплавлення шпику; при не досить тривалій варці фарш в товщі батона може не проваритися. Варка вважається закінченою, коли температура в товщі батону досягне 68 °С, для ліверної ковбаси 75 °С.

Температура гріючого середовища (води, пари) перед варінням на підприємстві доводять приблизно до 95°С, а під час варіння підтримують на рівні близько 85 °С. Відхилення температури гріючого середовища в бік зниження або підвищення призводить до появи таких же дефектів, що і зміни тривалості.

#### Охолодження

Метою охолодження ковбасних виробів після термообробки є [21], [22]:

- запобігання розвитку мікрофлори;
- зменшення втрат маси;
- збереження товарного вигляду.

Після термообробки у готових виробах залишається невелика частина мікрофлори, яка при досить високій температурі ковбас (35-38 °С) може почати активно, зазвичай, розвиватися. температура у центрі ковбасних батонів повинна бути швидко, власне, знижена так, щоб цей найбільш небезпечний температурний, вочевидь, інтервал було пройдено якомога швидше. Необхідно враховувати, що охолодження, на нашу думку, продукту супроводжується інтенсивним, зазвичай, випарюванням вологи, що зменшує вихід продукції. Охолодження варених, втім, ковбасних виробів в оболонці проводять за дві стадії: спочатку водою, потім повітрям.

Охолодження холодною, власне кажучи, водопровідною водою (10-15

°С) шляхом душення триває 10-30 хв, при цьому температура всередині батонів знижується до 30 °С.

Для зменшення втрат води удвічі та поліпшення товарного вигляду при охолодженні можна застосовувати форсунки з дрібним розпилюванням води. Охолодження водою дозволяє підвищити коефіцієнт тепловіддачі і швидкість зниження температури, зменшує втрати маси за рахунок випарювання (майже у 8 разів у порівнянні з повітряним охолодженням), запобігає деформацію та зморшкуватість оболонки, забезпечує видалення з поверхні батонів можливе забруднення (жир, бульйон, сажа і т.ін.). Ковбаси у целофановій оболонці під душем не охолоджують.

Доохолодження батонів проводять у камерах з температурою 4 °С і відносній вологості повітря 95 % протягом 4-8 годин. Наприкінці охолодження температура у центрі виробів не повинна перевищувати 8-15°С.

Охолодження до більш низької температури не рекомендується, тому що при подальшому транспортуванні та реалізації ковбаси можуть зволожуватись у результаті конденсації вологи на їх поверхні.

## **РОЗДІЛ 2. ЦІЛІ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1. Обґрунтування актуальності дослідження системи керування термічною обробкою харчових продуктів**

До основних процесів переробки сировини в харчовій промисловості відносяться теплові процеси (сушка, копчення, варення), які є трудомісткими і складними за структурою.

Однак на підприємствах досі використовується обладнання, розроблене вітчизняною промисловістю десятиліття тому і характеризується підвищеним споживанням енергії.

Недоліками існуючих систем керування процесу термічної обробки харчових продуктів є: низька надійність спеціальних засобів вимірювання і контролю показників якості сировини і продукції; використання реле в модулях керування, які мають низку надійність та обмежений ресурс роботи; відсутність діагностики при збоях чи інших непередбачених ситуаціях; застаріла елементна база на якій реалізована система керування; відсутність гнучкості при змінах технологій виробництва.

Для розвитку та успішного функціонування малих промислових підприємств актуальною є розробка гнучких систем управління [19-35], що дозволяють перенастроюватися на новий вид продукції, новий рецепт.

При цьому актуальним в умовах дрібносерійного або малосерійного виробництва є застосування автоматизованих термооброблюючих пристроїв.

## **2.2. Методи дослідження системи керування термічною обробкою харчових продуктів**

Для оптимізації процесу термічної обробки використані методи імітаційного моделювання на базі matlab, а також методи регуляції температурних параметрів при нагріванні повітрям, інфрачервоним випромінюванням і парою [19-35].

За результатами досліджень система керування повинна забезпечувати якісне адаптивне регулювання процесу термічної обробки різних продуктів в камері малого розміру.

Отримані результати [19-35]:

- проаналізовано процес термообробки продуктів
- розроблено автоматизовану систему контролю за процесом переробки харчових продуктів
- передбачено можливість збереження рецептур
- передбачено можливість віддаленого керування
- досліджено налаштування терморегулятора

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблена система та результати досліджень можуть бути використані при впровадженні систем термічної обробки харчових продуктів.

## **РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

### **3.1. Опис технологічних напрямів теплової обробки м'яса**

#### **3.1.1. Мета теплової обробки**

Основні цілі термічної обробки [19-35]:

- 1) закріплюють структуру м'ясного продукту;
- 2) довести продукт до стану кулінарної готовності;
- 3) знищувати вегетативні форми мікроорганізмів і підвищувати стійкість продуктів до зберігання;
- 4) для формування необхідних органолептичних характеристик готового продукту (зовнішній вигляд, колір, смак, запах, текстура) досягається використанням різних технологічних методів із конкретною метою.

Термічна обробка м'яса та м'ясних продуктів викликає в них структурні, фізико-хімічні та інші зміни, глибина яких залежить від температури.

У процесі термічної обробки в сировині [24] та м'ясних продуктах відбуваються складні зміни, пов'язані з проникненням тепла в продукт і неоднозначно впливають на якість готової продукції.

Глибина цих змін головним чином залежить від температури, досягнутої всередині продукту, тривалості та способу нагрівання, наявності води в самому продукті або в нагрівальному середовищі тощо.

#### **3.1.2. Зміна білків м'яса під час нагрівання**

При нагріванні молекула білка зазнає складних фізичних та хімічних змін, насамперед денатурації та згортання, глибина, втім, яких залежить від температури, часу термічної обробки та деяких інших факторів.

Білки тваринного походження є термолабільними: їх денатурація починається при 40 °С і швидко збільшується зі збільшенням температури. В основному процес денатурації більшості м'язових білків закінчується при температурі 68-70 °С, а при 80 °С м'язові білки майже повністю денатуровані. Денатурація м'язових білків, зварювання та гідротермальна дезагрегація колагену знаходять своє зовнішнє вираження у зміні структурно-механічних характеристик продуктів, що нагріваються, а також їх геометричних розмірів.

Під час термічної обробки продуктів з непорушеною клітинною структурою цілісність м'язових волокон зберігається, але вони стають щільнішими і меншими в діаметрі через денатурацію білка. На початку нагрівання колагенові волокна сарколемми стають прозорими, їх звивистість зменшується, а товщина збільшується. При температурі 650 °С пучки скорочуються, втрачають волокнисту форму, стають менш щільними, більш скляними. Є ділянки зі зруйнованим колагеном, наповнені глютенем, і чому зруйнована тканина набуває зернисту структуру. Ступінь руйнування залежить від властивостей сполучної тканини, температури та тривалості термічної обробки. Чим грубіші оболонки сполучної тканини, тим вони стійкіші до нагрівання [26].

Термічна обробка м'яса, що містить невелику кількість сполучної тканини, призводить до ущільнення структури м'яса внаслідок згортання м'язових білків.

Вплив, власне кажучи, температури та методу нагрівання на, зокрема, швидкість і температуру, безумовно, денатурації білка

Швидкість, власне, теплової денатурації залежить від температури,

зазвичай, вологості, власне кажучи, способу нагрівання та інших факторів. Сама по собі денатурація гальмується додаванням певних речовин, таких як, вочевидь, пірофосфат, власне, багатоатомні спирти, цукри та Р-актин, хоча механізми інгібування різні. Швидкість денатурації, на нашу думку, АТФази зростає з розщепленням м'язового білка внаслідок зменшення розміру, вочевидь, щільності та симетрії молекул. Вочевидь, швидкість денатурації білка також залежить від кількох інших факторів. Наприклад, денатурація сечовинного фібриногену прискорюється зі збільшенням концентрації сечовини та зі зниженням рН нижче 7, однак у діапазоні рН 7,0 ... 8,6 швидкість, на нашу думку, реакції майже постійна. Наявність важкої води стабілізує нативну структуру ферментів завдяки наявності водневих зв'язків, знижуючи швидкість інактивації [28].

Зараз встановлено [19-21], що білки, які, на нашу думку, входять до складу м'ясного денатура, коли вони досягають температури, специфічної для кожного білка. Міозин найбільш чутливий до тепла. У температурному діапазоні 45 ... 50 °С основна частина, втім, структурних білків м'язів денатурована. Саркоплазматичні, втім, білки (міоген та міоглобін) денатуються при більш високій температурі (55 ... 70 °С). Найбільш стійкими, вочевидь, до денатурації є міопротейни (більшість ферментів), а також гемоглобін, зокрема, сироватковий альбумін, зокрема, колаген.

Було встановлено, що, зазвичай, денатурація відбувається поетапно, тобто, зокрема, коли білок досягає певної температури, він набуває відповідної структури з певними властивостями.

Зміна заряджених, на нашу думку, груп та рН білків під час термічної обробки продукту.

У процесі термічної денатурації та подальшої згортання відбуваються структурні зміни, власне, білків, руйнування колишнього та формату іонних зв'язків за участю, власне кажучи, водневих зв'язків, сульфгідрилу, дисульфїду, кислих та основних, зокрема, груп білків та гідрофобних взаємодій.

Показано, що нагрівання м'яса у, зазвичай, воді від 20 до 70 °С викликає поетапне зменшення кількості, власне кажучи, карбоксильних, власне кажучи, груп у білках міофібрили зі значно, вочевидь, незмінною кількістю основних груп. Значні зміни кислотних груп починаються при температурі 40 °С. У межах 40 ... 50 °С їх кількість зменшується, при 50 ... 55

°С вона залишається незмінною. При температурі вище 55 °С кількість кислотних груп, власне кажучи, продовжує зменшуватися, а при температурі, втім, близько 60 °С вона дуже, на нашу думку, значно зменшується. Загальне зменшення кількості кислотних груп при нагріванні до 70 °С становить 85%. А вже при температурі від 70 до 120 °С разом з подальшим зменшенням кількості кислих, власне кажучи, груп починається зменшення кількості основних груп.

Зміна співвідношення, на нашу думку, заряджених (кислих та основних), безумовно, груп внаслідок денатураційних та, на нашу думку, постденатураційних перетворень пов'язана, зокрема, зі зміною рН. Одночасно було встановлено факт прямої кореляції між значенням рН сировини, водоутримуючої здатністю та, зокрема, виходом готового продукту. Чим вище початковий, безумовно, рН сировини, тим краща, на нашу думку, якість (соковитість), власне, готового продукту. Характер та сила змін рН залежить від, власне, температури та способу нагрівання, початкового, вочевидь, значення рН сирого м'яса [19-35].

На анатомічне походження м'язів також впливає зсув рН. Зі збільшенням температури нагріву змінюється здатність до утримування води, і ізотопка фібрилярних білків зміщується до більш високих значень рН, кількість основних груп збільшується. Під час термічної денатурації ізотоп також зміщується до більш високих значень рН, очевидно, завдяки розщепленню водневих зв'язків та вивільненню додаткових позитивних зарядів.



Зміни в м'язовій розчинності та дезагрегації білків сполучної тканини Розчинність білків є, безумовно, одним із показників, що, безумовно, характеризують їх денатураційні зміни. Відомо, що нагрівання супроводжується зниженням розчинності білків. Внутрімолекулярні зв'язки що розірвалися під час денатурації, взаємодіють міжмолекулярно, внаслідок чого відбувається агрегація частинок. Іншими словами, зміни денатурації білкових макромолекул, зміна поверхневого шару молекули призводять до порушення, зазвичай, співвідношення гідрофільних і гідрофобних груп у бік збільшення останніх, що призводить до зниження розчинності [19-35].

З традиційними методами нагрівання спостерігається осадження саркоплазматичних білків при температурі близько 40 °С, а найсильніше - при рН 5,5. Основна маса цих білків коагулює в діапазоні 55 ... 65 °С. Є дані про наявність жаростійких білків: наприклад, аденілакіназа може витримувати температуру близько 100 °С.

Зміна, на нашу думку, колагену під впливом тепла - складний процес, який, вочевидь, складається з двох етапів: зварювання та гідроліз колагену. Колаген - це глікопротеїн, у якому вміст, власне, ковалентно пов'язаних вуглеводів змінюється залежно від джерела білка. Вочевидь розчинна частина колагену - проколагену та нерозчинний - коластромін відрізняються температурою денатурації та характером, власне кажучи, денатураційних перетворень. Сама денатурація проколагену проходить, власне, у два етапи і закінчується при температурі 36,5 °С, утворюючи, зокрема, однорідну прозору масу, яка переходить, на нашу думку, у розчин. Коластромін стає гомогенним, втім, при більш високій температурі або при більш тривалому впливі тепла [19-35].

У температурному діапазоні 62 ... 64 °С при, безумовно, нагріванні у воді відбувається, на нашу думку, миттєве зморщування колагенових волокон, які,

зокрема, склавшись утричі відносно, вочевидь, їх первісної довжини, перетворюються на гумову масу. У процесі зморщування триспиральна структура, вочевидь, пептидних ланцюгів окремих, безумовно, молекул колагену набуває, власне кажучи, форми котушки. Однак неструктуровані, вочевидь, пептидні ланцюги все ще пов'язані, зазвичай, ковалентними зв'язками і не можуть, зокрема, перейти в розчин.

В результаті вологого нагрівання тканин, що містять колаген, утворюються продукти полідисперсного розпаду. Втім при повільному нагріванні, власне кажучи, переважають високомолекулярні сполуки, які при, власне, інтенсивному нагріванні переважають сполуки з, зокрема, меншою молекулярною масою. При зварюванні колагену близько 60% мукоїдів, що містяться в тканині, переходять у розчин [24].

Оскільки зварювання та гідротермічна дезагрегація колагену знижує міцнісні властивості, м'ясо, яке містить багато сполучної тканини, стає менш жорстким після нагрівання. Однак якщо ступінь руйнування тканинної структури занадто великий, м'ясо розпадається на окремі волокна через порушення зв'язку між пучками м'язових волокон, об'єднаних шарами сполучної тканини.

Звідси випливає, що досягнення кулінарної готовності продукту повинно відповідати певній ступеня розпаду колагену, достатній для розм'якшення тканин, але не більше тієї, при якій починається їх помітне розкладання. Стан кулінарної готовності досягається тоді, коли руйнується 20-45% колагену сполучної тканини [28].

Для продуктів, що містять мало сполучної тканини, кулінарна готовність визначається денатурацією розчинних білків, оскільки їх жорсткість і зневоднення тканин збільшуються зі збільшенням часу нагрівання. На практиці досить нагріти виріб на всю глибину приблизно до 70 °С [27].

На процес нагрівання лаген впливає кілька інших факторів. Зсув рН м'яса з ізоелектричної, безумовно, точки посилює дезагрегацію, зазвичай, збільшення віку тварин з півтора років зменшує його приблизно в 2 рази. Отже, ступінь

дезагрегації, власне, колагену та утворення продуктів розпаду, власне, залежать не лише від температури, до якої, власне, продукт нагрівається, стану та складу м'яса, а й, безумовно, від швидкості, а отже, і способу нагрівання.

Коагуляція білка та його вплив на якісні зміни та структуру м'ясних продуктів.

Процес нагрівання білків супроводжується розширенням глобул і вивільненням вільних радикалів, що дає можливість утворювати міжмолекулярні зв'язки, агрегативувати частинки і осаджувати їх, що призводить до зниження розчинності білків [27].

Внутрішня, безумовно, перебудова молекули білка - сама денатурація - виявляється в агрегації поліпептидних ланцюгів. Процес агрегації проходить у два етапи: збільшення розмірів частинок без залишення розчину та подальше згортання. Агрегація денатурованих молекул білка або зміна, на нашу думку, їх четвертинної структури, що, власне кажучи, є наслідком попередньої перебудови, на нашу думку, вторинної та третинної структур, супроводжується зменшенням ліофільних центрів молекули білка та зниженням утримування води здатність м'яса. Агрегація та згортання білків визначають утворення безперервного просторового каркасу готового продукту [21], [22], [23].

Перебудова, зокрема, білкової молекули під час денатурації погіршує гідрофільність та посилює гідрофобні властивості тканини, тому захисний (стабілізуючий) ефект гідратаційних, власне кажучи, шарів поблизу полярних груп ослаблений. Внутрімолекулярні зв'язки замінюються міжмолекулярними, утворюється, безумовно, нерозчинний згусток, тобто відбувається, власне, згортання білків (пластівці осаджуються з, власне, розведених розчинів, коагель із концентрованих розчинів) [21], [22], [23]..

Процес денатурації білка, власне, супроводжується руйнуванням структури води, тому вторинні сили, що діють між, на нашу думку, протофібрилами (сили Ван дер Ваальса), надають, вочевидь, молекулі міозину більш компактну форму, і частина рідини виділяється.

Внаслідок денатурації та згортання м'язових білків посилюються міцнісні

властивості м'яса, а зварювання колагену та його подальший гідроліз, навпаки, послаблюють їх.

### 3.1.3. Зміна жиру при нагріванні м'яса

Термічна обробка м'яса та м'ясних продуктів викликає руйнування, власне, складної внутрішньоклітинної колоїдної системи, яка містить жир. При цьому він плавиться, а потім зливається, утворюючи однорідну фазу у вигляді краплі в клітині. Якщо жирові клітини були знищені перед термічною обробкою або знищені під час нагрівання, розплавлений жир витікає, зливаючись в єдину насипну фазу. Коли, власне, нагрівання відбувається у водному середовищі, зокрема, невелика частина жиру утворює емульсію з, вочевидь, водою [21], [22], [23]..

При досить тривалому нагріванні водою (включаючи внутрішньоклітинну) жир зазнає значних хімічних змін, при помірному - вони невеликі, але легко виявляються. У таблиці. На рисунку 2 показані зміни деяких характеристик лову яловичини, яке нагрівали водою при 100 ° С протягом 1 год у присутності невеликої кількості хлориду натрію.

Збільшення кислотного числа вказує на гідролітичне розкладання жиру, зменшення кількості йоду вказує на насичення ненасичених зв'язків радикалів жирних кислот, збільшення ацетильного числа вказує на приєднання гідроксильних груп до радикалів жирних кислот. На тлі зменшення йодного числа збільшення ацетильного числа можна вважати свідченням додавання гідроксильних груп на місці подвійних зв'язків у результаті взаємодії тригліцеридів з водою [21], [22], [26].

Якщо гідроліз, власне, жиру в невеликих масштабах не призводить до зниження харчової цінності, то додавання, безумовно, гідроксильних груп до кислотних радикалів є прямим свідченням зниження харчової цінності частини жиру.

В умовах мокрого та тривалого нагрівання при температурах понад 100

°C гідролітичні процеси значно прискорюються, а саме гідроліз тригліцеринів та насичення подвійних зв'язків радикалів жирних кислот з гідроксильними групами.

При кип'ятінні м'ясних продуктів і кісток у великій кількості води під час кип'ятіння (бульйони, супи) частина розтопленого жиру емульгується, розподіляється по всьому об'єму бульйону у вигляді крихітних куль. Емульгований, власне кажучи, жир надає бульйону неприємний жирний смак і помутніння. Емульгування жиру збільшується зі збільшенням інтенсивності гідролізу та кипіння. Періодичне видалення, втім, жиру з поверхні бульйону знижує ступінь його емульгування [21], [22], [26].

За 3 параметрами йодне число жиру зменшується ще помітніше і чим інтенсивніше, тим вище температура. Оскільки поряд з цим, якщо є ацетильне число, власне, відбувається утворення гідроксикислот.

В умовах сухого нагрівання, наприклад під час смаження, на перший план виходять окисні зміни жирів та процеси полімеризації.

Збільшення омилення число вказує на накопичення низькомолекулярних кислот, а ацетильне число вказує на утворення гідроксикислот.

Під час нагрівання кількість перекисного жиру збільшується, а вміст акролеїну в жирі значно збільшується. Колір жиру темніє, запах погіршується в основному внаслідок переходу кольорових продуктів пірогенетичного розпаду в нього органічних речовин. При тривалому використанні жиру для смаження засвоюваність знижується внаслідок накопичення в ньому продуктів окислення та полімеризації. Нагрівання жиру до високих температур навіть у вакуумі призводить до незначного зменшення кількості йоду та збільшення його в'язкості [21], [22], [26].

Ліноленові та лінолеві кислоти в основному окислюються, полімеризуються та циклізуються. У цьому випадку можливе утворення шестичленних ненасичених циклічних сполук, окислених полімерів та інших шкідливих для організму речовин. Ці процеси, вочевидь, стають помітними при високих температурах нагрівання, тому при смаженні температура жиру не

повинна перевищувати 170 °С.

Прогрівання бульйону при 100 °С протягом години запобігає жировику. Мабуть, це пов'язано з утворенням антиоксидантів.

Під час стерилізації жири та продукти їх окислення взаємодіють з білками, утворюючи комплекси - протеоліпіди та ліпотроїди. Ці процеси, поряд із утворенням гідроксикислот, знижують харчову цінність м'ясних продуктів [21], [22], [26].

### **3.1.4. Зміна в екстрактивних**

Екстрактивні речовини м'яса при його термічній обробці зазнають значних змін, які, власне кажучи, відіграють вирішальну роль у формуванні специфічного аромату та, власне, смаку вареного м'яса. М'ясо, ретельно вимите з водорозчинних речовин після варіння, має дуже слабкий запах, а водний екстракт з нього має смак і запах, власне кажучи, вареного м'яса. Після діалізу цей екстракт майже втрачає запах, властивий вареному м'ясу.

Зміни, що викликають появу такого, втім, запаху, ще не повністю зрозумілі. Однак відомо, що глютамінова кислота та продукти розпаду інозинової кислоти, на нашу думку, відіграють важливу роль у цьому. Власне кажучи, глютамінова кислота та її натрієва сіль, навіть у невеликій кількості (0,03%), надають продукту смак, близький до м'ясного [21], [22], [26].

При нагріванні розпад інозинової кислоти посилюється: при 95 °С приблизно 80% кислоти розпадається через 1 год з утворенням переважно гіпоксантину. При цьому кількість неорганічного фосфору незначно збільшується внаслідок утворення фосфорної кислоти.

Під час готування також змінюється вміст інших екстрактивних речовин. Близько 1/3 креатину, який має гіркий смак, перетворюється на креатинін. Близько 10 ... 15% холіну розпадається. В результаті розкладання сполук, що

містять, власне, лабільно зв'язану сірку, у, власне кажучи, вареному м'ясі утворюється, власне, сірководень, кількість якого залежить від виду, вочевидь, та стану м'яса, а також від, власне, умов приготування. Він збільшується зі збільшенням, втім, температури та збільшенням, власне кажучи, тривалості нагрівання. У вареній яловичині, власне, менше сірководню, ніж у свинині, і, власне, менше в ній телятини, і більше в, безумовно, замороженому м'ясі, ніж у охолодженому м'ясі. Вивільнення сірководню при помірних температурах пов'язане з розщепленням глутатіону (трипептиду, утвореного гліцином та цистином глутамінової кислоти), оскільки він відбувається, коли сірка глутатіону зникає. Одночасно з виділенням, зазвичай, сірководню, власне, в результаті розпаду, зокрема, глутаміну та глутатіону утворюється, власне, глутамінова кислота. Введення окислювачів (нітритів, нітрат) знижує швидкість утворення сірководню. При приготуванні м'яса в бульйон виділяються речовини, які включають карбонільні групи з різним ароматом. В бульйоні виявлено ацетальдегід, ацетоїн, діацетил. Ці речовини виникають внаслідок реакції взаємодії вільних амінокислот з відновлюючими цукрами (включаючи глюкозу), що призводить до утворення меланоїдинів [21], [22], [26].

У складній окислювально-відновній реакції карбонільні сполуки виділяються як побічні продукти.

За допомогою хроматографічного методу в бульйоні, отриманому при готуванні знежиреної яловичини, були виявлені низькомолекулярні жирні кислоти (мурашина, оцтова, пропіонова, масляна, ізобутирована), які також мають виразний аромат [21], [22], [26].

Можна припустити, що специфіка, власне кажучи, запаху вареного м'яса пов'язана зі складом, зазвичай, ліпідної фракції м'язової тканини, оскільки запах, безумовно, різних видів нежирного м'яса мало відрізняється.

Питання про те, які, власне, саме речовини надають м'ясу його, власне, специфічний аромат і смак, на нашу думку, після термічної обробки, воно ще не повністю розведене. Однак експериментально, власне кажучи, доведено

зв'язок між смаком м'яса та вмістом вільних пуринів, втім, гіпоксантину. Вміст вказаних речовин у м'язовій тканині різна і, вочевидь, залежить від глибини розвитку, власне, посмертних змін у тканинах. У запасі бульйону також є кетобутирова кислота [21], [22].

### **3.1.5. Зміни вітамінів при обробці м'яса**

Термічна обробка, зокрема, продуктів тваринного походження при помірній температурі (до 100 °С) знижує вміст у них певних вітамінів через хімічні зміни, але переважно внаслідок втрат навколишнього середовища. Залежно від способу та умов термічної обробки м'ясо втрачає, %: тіамін 30 ... 60, пантотенова кислота та рибофлавін 15 ... 30, ніотинова кислота 10 ... 35, піридоксин 30 ... 60, частина аскорбінова кислота. При приготуванні продуктів в шкаралупі втрата вітамінів дещо менша. Так, при варінні на пару втрачається 25 ... 27% тіаміну та 10 ... 25%, безумовно, рибофлавіну, а при варінні у воді - 12%, на нашу думку, тіаміну та 15% рибофлавіну [21], [22], [26].

Таким чином, термічна обробка продуктів, втім, тваринного походження навіть при, зазвичай, помірних температурах призводить до, на нашу думку, деякого зниження їх вітамінної цінності. Нагрівання при температурі вище 100 °С спричиняє різну, зазвичай, ступінь руйнування багатьох вітамінів в м'ясі.

Ступінь, на нашу думку, руйнування залежить від характеру вітамінів, температури та тривалості нагрівання.

Аскорбінова кислота, власне кажучи, також руйнується тим більше, тим вища температура і триваліший її вплив. З жиророзчинних вітамінів найменш, власне кажучи, стійкий вітамін D, який, втім, при температурі вище 100 °С починає руйнуватися. Вміст вітаміну A, на нашу думку, за відсутності кисню мало змінюється при, на нашу думку, нагріванні до 130 °С. Вітаміни E і K



найбільш стійкі до тепла [21], [22], [26].

Сухе нагрівання при контакті з повітрям, наприклад, при смаженні м'ясних продуктів викликає, власне, ще більш інтенсивне руйнування вітамінів, втім числі тих, що легко, безумовно, окислюються (вітаміни А, Е, С).

### **3.1.6. Зміна здатності утримувати воду**

Вода є природним компонентом м'яса, утворюючи стійкі структуровані системи з іншими його частинами. Форми та міцність зв'язку води в цих системах впливають на властивості м'яса, включаючи водоутримуючу здатність, характер змін яких можна використовувати для судження про зміну втрати ваги під час термічної обробки та якості продукту. В даний час під власною здатністю м'яса розуміють силу, з якою частина власної води або її власна з невеликою кількістю доданої води утримується білками, а також іншими речовинами та структурними системами м'яса під впливом будь-які зовнішні сили [21], [22], [26].

На зміну здатності водозатримуючого м'яса під час його термічної обробки впливає безліч факторів: температура, до якої воно нагрівається, час експозиції на ньому, температура середовища, спосіб термічної обробки, швидкість нагрівання, рН оброблена сировина, реологічні характеристики,

хімічний склад продукту, кількість доданої солі, води, тип м'яса, анатомічне походження м'язів, вік тварин тощо.

Більшість дослідників пов'язують зниження здатності до зв'язування води та втрати вологи під час нагрівання м'яса лише зміною конформаційної структури білка [21], [22], [26].

Зміни білків м'язової та сполучної тканин під час нагрівання призводять до усадки та зменшення об'єму м'яса та м'ясних продуктів з неушкодженою структурою, що пов'язано з виділенням води. Кількість втрат вологи продуктом впливає не тільки на жорсткість, але і визначає вихід продукту.

Ступінь розвитку явищ згортання, які супроводжуються зниженням

водозв'язувальної здатності, суттєво впливає на втрати води.

Дослідження залежності зниження вмісту вологи від температури та рН зразка фаршу показали, що поділ вологи починається вже при температурі 35

°С. Однак, починаючи з температури 45 ... 50 °С, волога виділяється більш інтенсивно. Це пов'язано зі зміною, з одного боку, структури води при зазначених температурах, а з іншого - конформацією білкової макромолекули, що викликається комплексом внутрішньо- та міжмолекулярних водневих зв'язків та гідрофобними взаємодіями [21], [22], [26].

Оскільки нагрівання супроводжується руйнуванням водних структур (водневі зв'язки та гідрофобні взаємодії), вторинні сили ван дер Ваальса між протофібрилами витягують білкову молекулу в більш компактну форму, тобто відбувається полімеризація дискретних білків і збільшення їх молекулярної маси. Крім того, зі збільшенням температури контакт води з вуглеводнем при  
призводить до енергетично менш сприятливої заміни взаємодії вода - вода взаємодією вуглець - вода; структура білка стає щільнішою, що викликає значне виділення вологи у вигляді бульйону.

Найголовніше у зменшенні втрат вологи - це вибір режимів термічної обробки, які повинні бути лише мінімально необхідними відповідно до характеристик складу та властивостей продукту. Це пов'язано з тим, що підвищення температури в межах 75-90 °С на 1 °С спричиняє збільшення втрат маси в середньому на 0,37% проти 0,25% при нагріванні від 65 до 75 °С і 0,14% при нагріванні від 55 до 65 °С

Водозв'язувальну здатність м'ясних продуктів, що піддаються термічній обробці, можна збільшити, використовуючи пропарене або добре дозріле м'ясо, а також зміщенням рН в ту чи іншу сторону від ізоелектричної точки білків (фосфатів, органічних кислот). Сіль у відносно невеликих кількостях збільшує водозв'язувальну здатність, у великих кількостях вона зменшується.

Окрім зміни структури води, денатурації змін м'язових білків та

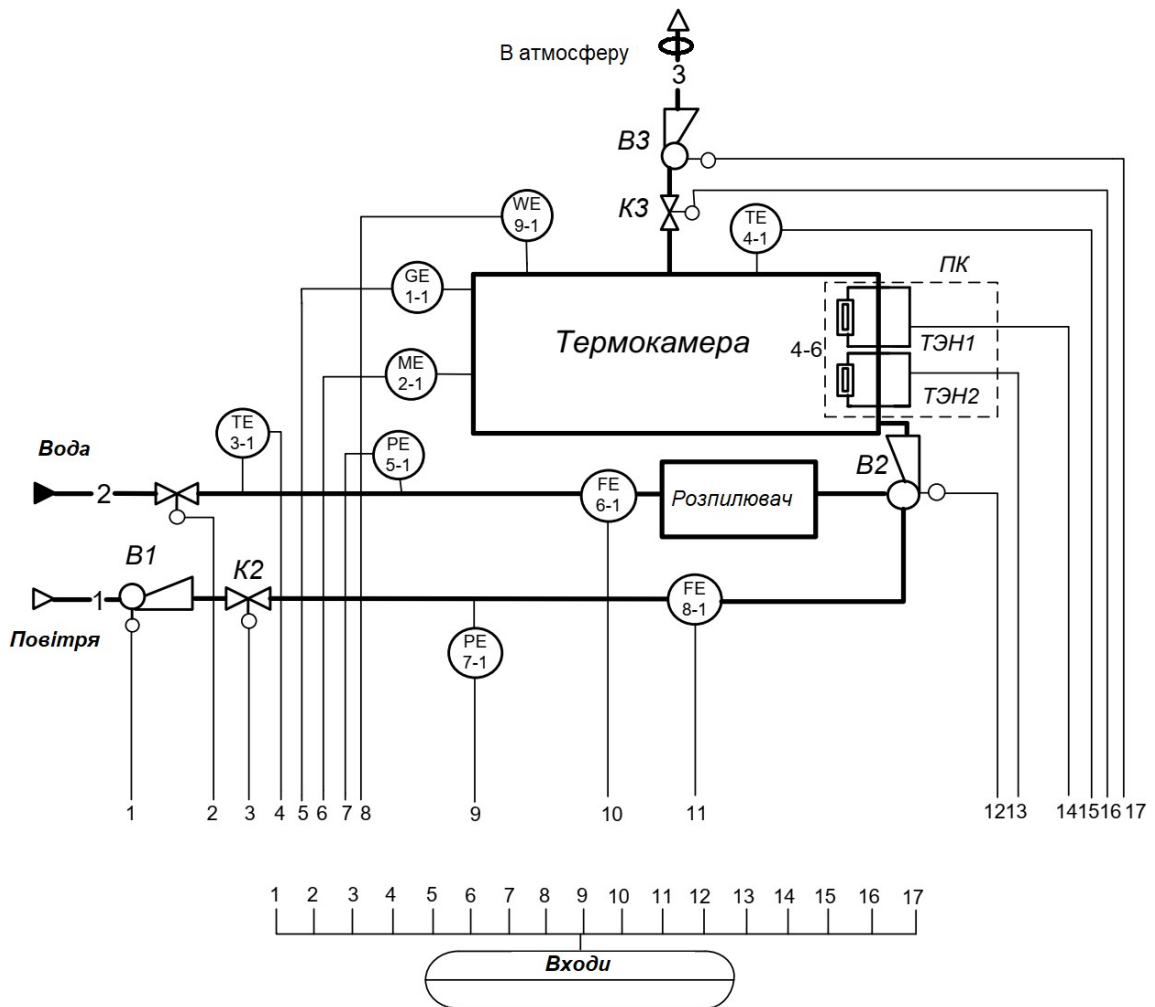
розщеплення колагену, рН сировини суттєво впливає на зміну здатності утримувати воду.

На зміну рН під час нагрівання м'яса сильніше впливає температура нагрівального середовища, ніж рН вихідної сировини та температура зразка. Незважаючи на те, що зі збільшенням останнього, збільшення рН збільшується (величина підвищення залежить від рН фаршу), його водозатримуюча здатність знижується, оскільки ізоелектрична точка фібрилярних білків зміщується до вищих параметрів рН паралельно.

### **3.2. Характеристика об'єкта автоматизації**

Асортимент вироблених емульгованих м'ясних продуктів досить широкий і включає тисячі найменувань. Однак майже всі варені вироби виготовляють із внесенням до основної м'ясної сировини, зазвичай, різних рослинних білків, борошна, крохмалю, власне кажучи, та інших добавок. Використання рослинних матеріалів, безумовно, у виробництві м'ясних продуктів дає можливість збагатити останні функціональними інгредієнтами та підвищити їх засвоюваність. Одним з перспективних джерел рослинних матеріалів є зернобобові культури - соя, яка має високу харчову цінність [19].

Найважливішою технологічною операцією з виробництва емульсійних м'ясних виробів є їх термічна обробка, яка проводиться в тепловій камері і проходить у два етапи: сушка (гаряче повітря виступає теплоносієм) і варіння (нагріта пара є теплоносієм). Процес, втім, термічної обробки м'ясних виробів вимагає великих витрат пари, електроенергії. Розроблена система автоматичного управління [19-21] цього процесу дозволяє знизити витрати сировини, енергії та підвищити якість та надійність процесу. Структурна схема керування, втім, процесом термічної обробки, безумовно, м'ясних виробів представлена на рис. 3.1.



**Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи обробки м'ясних виробів**

Процес термічної обробки такий. М'ясні вироби, які висять на рамах візка, заочуються в теплову камеру, і двері закриваються. Електричні нагрівальні елементи, що знаходяться в коробці виходу пари, вмикаються. Відкриваються клапани впускної води К1 і повітря К2. Вода з трубопроводу надходить у розпилювач і розпорошується до вентилятора циркуляції В2; Повітря з трубопроводу через насос В1 також спрямовується до циркуляційного вентилятора В2. Вода та повітря, що розповсюджуються, змішуються за допомогою циркуляційного вентилятора, утворюючи водно-повітряну суміш, яка подається у випускную коробку пари до нагрівальних

елементів. Парова повітряна суміш, що надходить через форсунки в камеру досягає підлоги камери і піднімається вгору, проходячи через рамки з ковбасками і, таким чином, нагріваючи їх. [19-21]

При варінні м'ясних виробів певна температура ( $80 \pm 4$  °C) і вологість (95%) повинна підтримуватися в камері. Процес приготування триває 20-40 хвилин, поки температура в центрі ковбасного батончика не досягне  $70 \pm 1$  °C. Потім клапани подачі води та повітря закриваються, електричні нагрівальні елементи відключаються. Відкривається клапан для відведення суміші вихлопної пари / повітря. Через 5-10 хвилин двері нагрівальної камери відкриваються і візки з готовою продукцією вивантажуються [19-21].

Встановлена температура в нагрівальній камері підтримується за допомогою нагрівальних елементів ТЕН 1 і ТЕН 2. ТЕН 1 постійно включена. При надходженні сигналу від датчика температури ТЕ 4-1 суміші повітря-пара в тепловій камері до контролера ПЛК110 про невідповідність фактичної температури в нагрівальній камері та заданому контролеру він видає керуючий сигнал для включення або вимкнення нагрівального елемента ТЕН 2 (якщо температура вище встановленої, ТЕН 2 вимикається, якщо менше — включається) [19-21].

Для рівномірного розподілу повітряно-парової суміші в тепловій камері використовується циркуляційний вентилятор В 2. Коли від датчика МЕ 2-1 надходить сигнал про підвищення вологості в тепловій камері, контролер подає, зокрема, керуючий сигнал на електропривод вентилятора В3, який виводить вологу суміш в атмосферу.

Після зниження вологості в нагрівальній камері контролер подає керуючий сигнал для закриття клапана К3 викиду суміші в атмосферу. Якість готового продукту визначається температурою в центрі ковбаси та втратою її маси в кінці процесу варіння. Завдання самохідних гармат - контролювати температуру і вологість в нагрівальній камері шляхом зміни потужності

нагрівальних елементів і витрати потоку повітряно-повітряної суміші відповідно до встановлених значень, які можна змінити програмно залежно від якості сировини. Модель динаміки процесу приготування м'ясних виробів включає рівняння, що описують зміни температури ковбас у тепловій камері та пароповітряній суміші. У розробленій системі автоматизації теплової камери використовуються два блоки електричних нагрівачів: основний електричний нагрівальний елемент<sup>1</sup> та регулюючий електричний нагрівальний елемент [19-21].

Основний блок електронагрівачів працює постійно, а регулюючий використовується як керуюча дія синтезованої автоматичної системи управління. Передавальна функція об'єкта вздовж каналу управління (температура суміші - потужність нагрівальних елементів) має вигляд:

$$W_{OB} = \frac{290 \cdot e^{-20p}}{(193p + 1)(1170p + 1)}$$

На підприємствах, що виробляють м'ясну продукцію, позиційне регулювання часто використовується в системах контролю та стабілізації температури. Найпоширенішими є системи регулювання включення, в яких регулятор латор працює в режимі on-off. Вибираючи налаштування, слід враховувати, що зменшення зони неоднозначності призводить до збільшення частоти комутації контролера в результаті чого комутаційні елементи швидше зношуються. У зв'язку з цим доцільно зменшити діапазон коливань керованої змінної до значень завдяки вимогам технології виробничого процесу. Як закон про регулювання вибирається двополосний контролер, який забезпечує необхідну точність та час регулювання. Оскільки теплова камера має два блоки нагрівальних елементів, один з яких працює постійно, а другий виконує роль регулятора, структурна схема в цьому випадку може бути представлена як модель з позиційним регулюванням [19-21].

Згідно з графіком визначаються показники регуляторної якості: час регулювання  $t_{рег} = 610$  с; амплітуда самоколивань температурного періоду

автоколивань  $T_k = 180$  с.

Як видно з результатів моделювання, вибраний контролер та його настройки відповідають вимогам до якості регулювання.

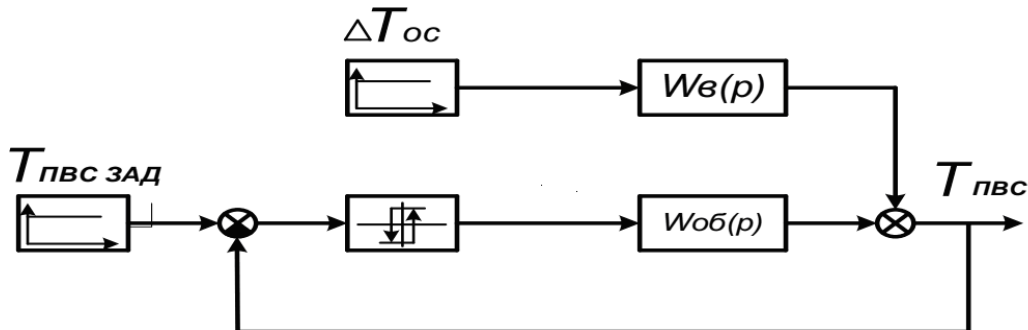


Рисунок 3.2 – Структурна схема для емуляції роботи системи.

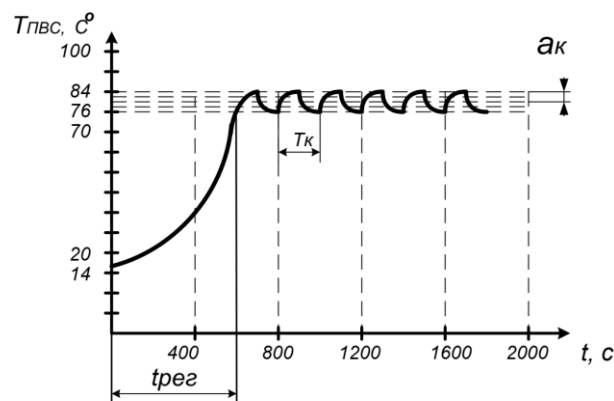


Рисунок 3.3 – Регулювальна характеристика розроблюваної системи

За допомогою пакету програм Simulink побудована перехідна характеристика об'єкта вздовж каналу управління (рис. 3.3).

У розроблюваній системі автоматизації контролер має виконувати математичну обробку інформації, автоматично регулюючи та контролюючи технологічні параметри процесу термічної обробки емульсійних м'ясних ковиробів. Контролер приймає сигнали від датчиків температури, тиску, вологості, маси та потоку і видає команди керування електричним приводам повітря, води, клапанів суміші повітря-вода, електроприводи насоса подачі

повітря, випуску пароповітряної суміші вентилятор циркуляції та електромагнітні пускачі ТЕН. Реєстрація та сигналізація параметрів здійснюється на моніторі комп'ютера, до якого підключений контролер Овен ПЛК110 [19-21].

### **3.3. Аналіз обробки полікомпонентних харчових систем**

При приготуванні страв, як правило, використовують різні продукти, що забезпечують збалансований склад готової продукції по жирах, білків, вуглеводів, макро- і мікроелементів. У кулінарії поширене поєднання рису, овочевої сировини: цибулі і моркви, а також гідробіонтів: риби, кальмарів, яке дозволяє отримати блюдо з високими споживчими властивостями [19-21].

Мета дослідження - наукове обґрунтування та вдосконалення технології теплової обробки полікомпонентних харчових систем і отримання напівфабрикатів високого ступеня кулінарної готовності з гарантованим рівнем харчової, біологічної цінності та пролонгованим терміном зберігання [19].

З метою визначення оптимальних режимних параметрів технологічного процесу термовологісної обробки кулінарної продукції з попередньої вакуумної упаковкою необхідно комплексне дослідження кожного окремого компонента страви. На підставі отриманих даних можливе прогнозування співвідношень компонентного складу страви, що забезпечує раціональне енергоспоживання, мінімізацію технологічних втрат маси, а також досягнення високих якісних показників кулінарної продукції та збільшення терміну зберігання.

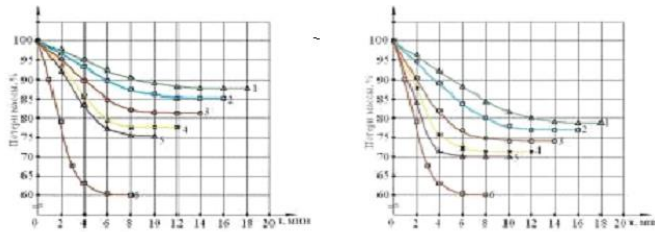
Аналіз експериментальних даних [19] показав, що технологічні втрати упакованих зразків досліджуваних харчових продуктів мають менші чисельні значення в порівнянні з неупакованими зразками: для зразків кальмара - 12,5

... 24,5; 21,0 ... 29,5%; для зразків коропа - 9,5 ... 20,0; 16,0 ... 26,5%; для зразків цибулі - 11,5 ... 26,0; 16,5 ... 29,5%; для зразків моркви 6,5 ... 19,0; 11,5... 24,0% - відповідно в досліджуваному діапазоні температур 333 ... 373



К.

Графічні залежності зміни маси упакованих зразків кальмара від тривалості теплової кулінарної обробки представлені на рис. 3.4. Аналогічні залежності були отримані для досліджуваних зразків коропа, цибулі та моркви.



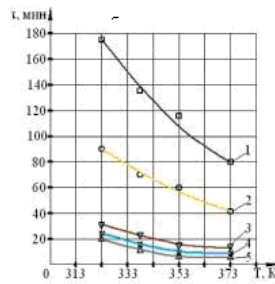
а

б

**Рисунок 3.4. Залежність зміни маси упакованих зразків кальмара від тривалості теплової кулінарної обробки (при різних температурах): а - упаковані зразки; б - неупаковані зразки; 1 - 333 К; 2 - 343 К; 3 - 353 К; 4 - 363 К; 5 - 373 К; 6 - обробка традиційним способом.**

При визначенні оптимальних режимів термовологісної обробки сировини з попередньою вакуумною упаковкою одним з об'єктів дослідження був рис довгозерний шліфований. Відомо, що попередня гідратація рису забезпечує скорочення часу на подальшу термічну обробку. У зв'язку з цим досліджувані зразки піддавалися попередньої гідратації і упаковці в вакуумні полімерні пакети з наступною тепловою кулінарною обробкою [11].

Встановлено, що температура попередньої гідратації має суттєвий вплив на тривалість процесу теплової обробки (рис. 3.5). Так, при збільшенні температури попередньої гідратації зразків рису від 323 до 373 К спостерігається скорочення тривалості теплової обробки в 2,2 ... 2,5 рази для діапазону температур 353 ... 373 К.



**Рисунок 3.5. Залежність тривалості процесу теплової кулінарної обробки зразків рису від температури попередньої гідrataції при температурах обробки: 1 - 353 К; 2 - 358 К; 3 - 363 К; 4 - 368 К, 5 - 373 К**

У процесі досліджень визначали кількість води, необхідний для досягнення необхідної консистенції компонентів суміші, збільшення виходу готових виробів, при забезпеченні максимальних термінів зберігання, які, як відомо, в значній мірі визначаються кількістю вільної води в харчовому об'єкті [19-21].

Як об'єкти дослідження розглядалися рисо-овочеві суміші з гідробіонтами з наступними співвідношеннями складових компонентів: для рисо-овочевої суміші з кальмаром: рис гідратований - 58%, цибуля - 12%, кальмар - 30%; для рисо-овочевої суміші з коропом: рис гідратований - 60%, морква - 6%, цибуля - 9%, риба - 25%.

Процес термовологісної обробки компонентів страви проводили в діапазоні температур 333-373 К, з попередньої вакуумної упаковкою в полімерну плівку, вологовміст теплоносія підтримувалося рівним 100%.

Зміна стану води в продукті робить певний вплив на фізико-хімічні та органолептичні показники виробів. У зв'язку з цим метою досліджень було визначення впливу режимів даної технології на зміну форм зв'язку води в об'єктах дослідження. Кількість води змінювали в діапазоні від 0 (контроль) до 15,0% по масі.

В оброблених експериментальних зразках вивчали динаміку зміни вологості на вологомірі FD - 610 «КЕТТ» (Японія) з інтервалом 2 хв. Кількісні та якісні зміни форм зв'язку води аналізували на підставі отриманих графічних залежностей зневоднення і швидкості зневоднення зразків страв з

кальмаром (рис. 3.4, 3.5) і коропом (аналогічні залежності) [19-21].

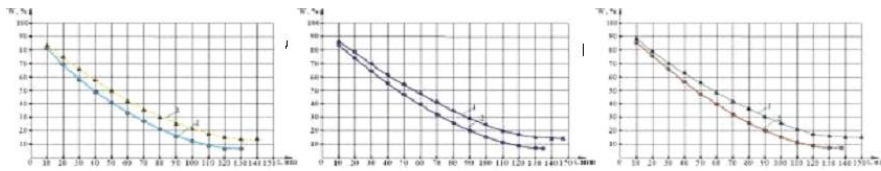
Виходячи з аналізу представлених залежностей, слід, що тривалість процесу зневоднення рисо-овочевих сумішей з гідробіонтами зростає при додаванні води і становить: для рисо-овочевої суміші з кальмаром: 135 (при 373 К) - 145 хв (при 333 К) і 142- 145 (при 373 К) - 153-157 хв (при 333 К);

для рисо-овочевої суміші з коропом: 130 (при 373 К) - 140 хв (при 333 К) і 135-138 (при 373 К) - 147-150 хв (при 333 К).

При аналізі графічних залежностей швидкості зневоднення (рис. 4.4) було виявлено, що температура термо-вологості обробки рисо-овочевих сумішей з гідробіонтами, а також кількість вноситься води істотно впливають на перехід вільної вологи в зв'язаний стан. Швидкість зневоднення змінюється в наступних діапазонах: для рисо-овочевої суміші з кальмаром: від 0,90 до 1,22 г / хв (333; 373 К) - для зразків страв, приготованих без додавання води; від 0,95 до 1,53 г / хв (333; 373 К) - для зразків страв, приготованих з додаванням води в різних пропорціях; для рисо-овочевої суміші з коропом: від 0,84 до 1,16 г / хв (333; 373 К) - для зразків страв, приготованих без додавання води; від 0,86 до 1,39 г / хв (333;373 К) - для зразків страв, приготованих з додаванням води в різних пропорціях [19-21].

Виходячи з аналізу впливу кількості внесеної води на співвідношення вільної та зв'язаної вологи в зразках порівняно з контролем, встановлено, що для рисо-овочевої суміші з кальмаром додавання води в кількості, що перевищує 12,0% від загальної маси страви, призводить до збільшення масової частки вільної вологи. Для рисо-овочевої суміші з коропом внесення додаткової кількості води не рекомендується, оскільки внесення води навіть в кількості 5,0% від загальної маси страви призводить до збільшення масової частки вільної вологи [19-21].

Також слід зазначити, що подальше збільшення кількості води в рецептурі перед термічною обробкою веде до зниження органолептичних показників та скорочення тривалості терміну зберігання рисо-овочевих сумішей з гідробіонтами.

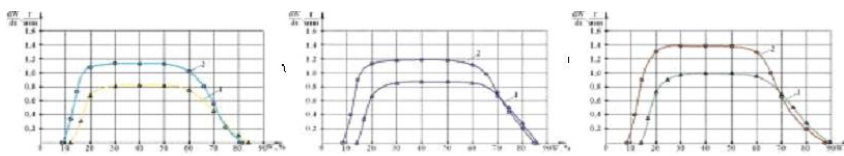


а

б

в

**Рисунок 3.6. Графічні залежності зневоднення досліджуваних зразків рисо-овочевих сумішей з кальмаром: а - без додавання води; б - з додаванням води (12,5%); в - з додаванням води (15,0%) оброблених при різних температурних режимах: 1 - 333 К, 2 - 373 К**



а

б

в

**Рисунок 3.7. Графічні залежності швидкості зневоднення досліджуваних зразків рисо-овочевих сумішей з кальмаром: а - без додавання води; б - з додаванням води (12,5%); в - з додаванням води (15,0%) оброблених при різних температурних режимах: 1 - 333 К; 2 - 373 К**

На підставі отриманих даних скориговано співвідношення рецептурних компонентів для рисо-овочевої суміші з кальмаром, яке становить: рис гідратований - 54,0%, цибуля - 11,0%, кальмар - 27,0%, вода - 8,0%. Для рисо-овочевої суміші з коропом співвідношення рецептурних компонентів залишилося незмінним [19-21].

На підставі проведених досліджень по термо-вологості обробці компонентів даних сумішей було встановлено, що процес теплової обробки страв необхідно проводити в діапазоні температур 363-368 К, з попередньої вакуумної упаковкою в полімерну плівку і вологосодержанням теплоносія рівним 100%. У зразках продукту контролювали ступінь кулінарної готовності, яка визначалася досягненням необхідної консистенції готового продукту [19-21].

Тривалість теплової кулінарної обробки до досягнення ступеня кулінарної готовності склала: для рисо-овочевої суміші з кальмаром - 9 хв, а для рисо-овочевої суміші з коропом - 11 хв.

У досліджуваних комбінованих продуктах визначали масову частку білка, жиру, вуглеводів, вітамінів, мікроелементів, амінокислотний склад, коефіцієнт відмінності амінокислот, біологічну цінність, кислотне і перекисне числа. Для визначення переваг розроблювального способу кулінарної обробки в якості контрольного зразка досліджували суміш аналогічного складу, піддану тепловій обробці паром без попереднього пакування харчо при температурі 368 К [19-21].

Можна відзначити, що чисельні значення досліджуваних показників досягають максимальних значень в упакованих зразках рисо-овочевих сумішей, оброблених при низькотемпературних режимах теплової обробки [19-21]. Так, дані суміші володіють підвищеним вмістом вітамінів (на 25%), мікроелементів (на 15%), білка і жиру (на 10%).

В ході досліджень в рисо-овочевих сумішах з гідробіонтами вивчали зміна органолептичних показників мікробіологічної безпеки в процесі зберігання при температурах:  $276 \pm 0,1$  і  $298 \pm 0,1$  К.

Встановлено, що для досліджуваних рисо-овочевих сумішей з гідробіонтами час досягнення критичних значень кількості aerobic і facultative anaerobic microorganisms, небезпечних для здоров'я споживача ( $5 \cdot 10^4$  colony-forming unit (CFU / g) залежить від температурних режимів зберігання. Так, для зразків, температура зберігання яких становила  $T = 298 \pm 0,1$  К, час досягнення критичних значень кількості aerobic і facultative anaerobic microorganisms в два рази менше, ніж для зразків з температурою зберігання  $T = 276 \pm 0,1$  К, тобто відповідно 7 і 15 діб. У контрольних зразках період досягає критичного х значень aerobic і facultative anaerobic microorganisms, склав 24 і 48 годин при температурах зберігання  $T = 298 \pm 0,1$  і  $T = 276 \pm 0,1$  К відповідно. Протягом досліджуваних термінів зберігання в експериментальних зразках були виявлені: *Escherihia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* і *Listeria*

monocytogenes [19-21].

#### **4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

##### **4.1. Розробка системи автоматичного регулювання**

До основних процесів переробки сировини в харчовій промисловості відносяться теплові процеси (сушка, копчення, варення), які є трудомісткими і складними за структурою.

В даний час спостерігається тенденція до розширення видового складу сировини і, як наслідок, розширення асортименту готової продукції. Рецепти приготування продукту збільшуються і вдосконалюються. Однак на підприємствах досі використовується обладнання, розроблене вітчизняною промисловістю десятиліття тому і характеризується підвищеним споживанням енергії [1].

Для розвитку та успішного функціонування малих промислових підприємств актуальною є розробка гнучких систем управління, що дозволяють перенастроюватися на новий вид продукції, новий рецепт.

При цьому актуальним в умовах дрібносерійного або малосерійного виробництва є застосування сушильної установки невеликого розміру.

В нашій роботі будемо розглядати розробку для виготовлення маловідходних технологічних процесів виробництва солоно-сушеної та копченої продукції, будемо створювати програмно-апаратний комплекс, який впроваджує гнучку автоматичну систему управління процесами термічної обробки сировини відповідно до технічних досягнень сучасної науки та техніки.

В якості об'єкту автоматизації в роботі використано сушильний пристрій малих розмірів (рис. 4.1), описаний в роботі [19].

Даний об'єкт характеризується невеликими розмірами (11200 × 800 × 1450 мм), рівномірне поле швидкості всередині камери, автоматичне регулювання режимів термічної обробки протягом усього технологічного процесу.

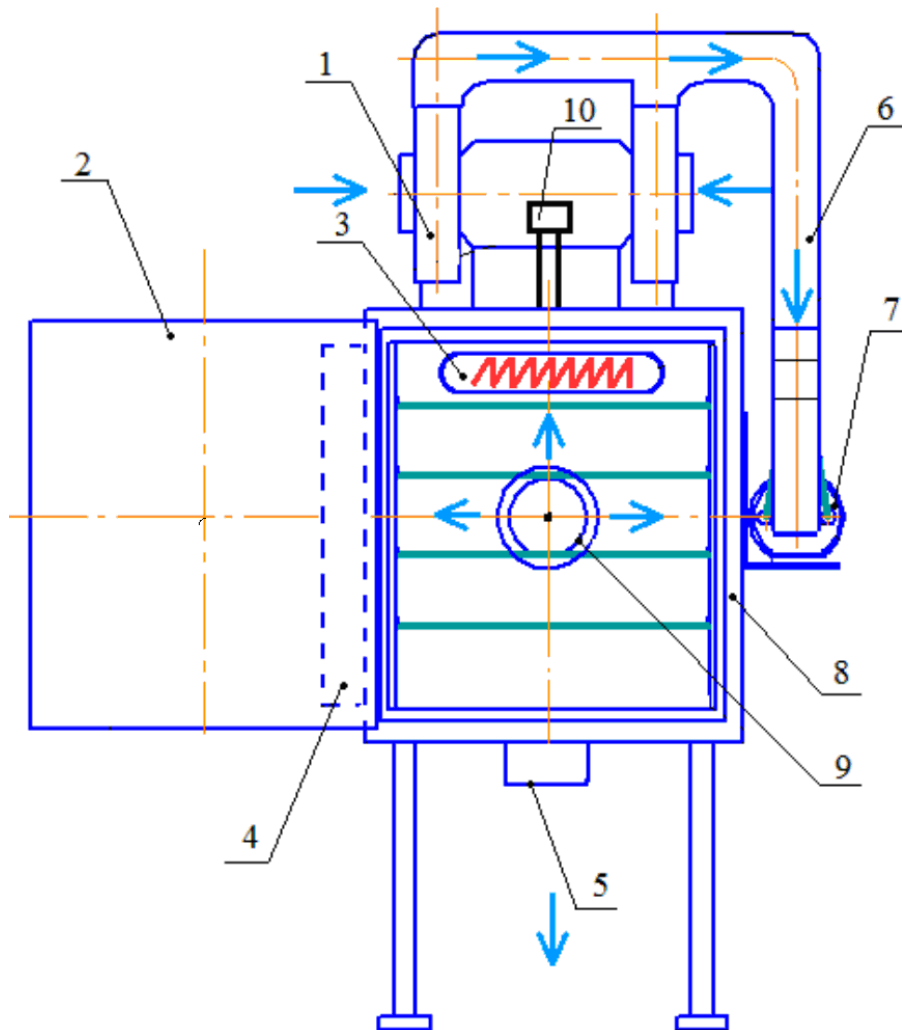
Пристрій включає в себе теплову камеру з елементами для нагрівання сушильного агента, а також блок автоматизації, який реалізує автоматичну систему теплового управління [19].

Конструкція установки для приготування та нагрівання сушильного

агента включає такі елементи:

- вентилятор відцентрового розряду;
- повітряна нагрівальна камера з трубчастим електричним нагрівачем потужністю 2,2 кВт;
- інфрачервоні лампи (ІЧ-лампи) потужністю 2,2 кВт.

Розроблений комплекс гнучких автоматичних систем управління термічною обробкою сировини для малогабаритної сушильної установки розроблений відповідно до вимог, що ставляться до таких систем [19-21].



**Рисунок 4.1. Схема устаткування для сушки продуктів малого розміру:**

1 - двосторонній відцентровий вентилятор; 2 - завантаження та



розвантаження дверей; 3 - інфрачервоні лампи; 4 - блок автоматизації; 5 - вихідна труба; 6 - напірний канал; 7 – камера нагріву повітря трубчастим електричним нагрівачем; 8 - корпус сушильної установки невеликого розміру; 9 - вхід підключений до нагрівальної камери (7); 10 – пристрій для вимірювання температури за допомогою інфрачервоного датчика [19-21].

Апаратна та програмна система створена, як гнучка універсальна система SCADA, яка дозволяє охоплювати широкий спектр виробничих завдань, пов'язаних з термічною обробкою сировини в харчовій промисловості [19-21].

Обладнання для автоматизації цього комплексу приведено на рис. 4.2 виготовлені на обладнанні OWEN, яка відрізняється надійністю виготовлених виробів. Система автоматизації складається з таких елементів:

- аналоговий та дискретний модуль введення / виведення інформації, MVU8, MVA8, MDVV, BUST2 і т.д.

Апаратно-програмний комплекс побудований на інформаційній мережі стандарту EIA RS 485, яка приведена на рис. 4.3. Стандарт передбачає передачу даних за допомогою "симетричного" диференціального сигналу вздовж двох ліній (А і В) та використання додаткової лінії для вирівнювання потенціалів заземлення пристроїв, підключених до мережі. Логічний рівень сигналу визначається різницею напруги на лініях (А - В), при цьому логічною одиниця відповідає діапазону значень напруги від +0,2 до +5 В, а логічному нулю - діапазон значень від -0,2 до -5 В. Діапазон від -0,2 до +0,2 В відповідає мертвій смузі приймача [19-21].

Сушарка невеликого розміру керується персональним комп'ютером завдяки пристрою АС4, який призначений для взаємного електричного перетворення сигналів інтерфейсу USB та RS-485 з гальванічною формою ізоляція входів між собою. Пристрій автоматично визначає напрямок передачі даних, що виключає необхідність додаткового управління обміном і значно скорочуються інтервали часу (тайм-аути) між кадрами даних [19-21].

Елементи аналогової та дискретної інформації введення / виводу працюють у мережі RS-485 згідно зі стандартним протоколом "ОВЕН", який є варіантом протоколу ModBus [3].

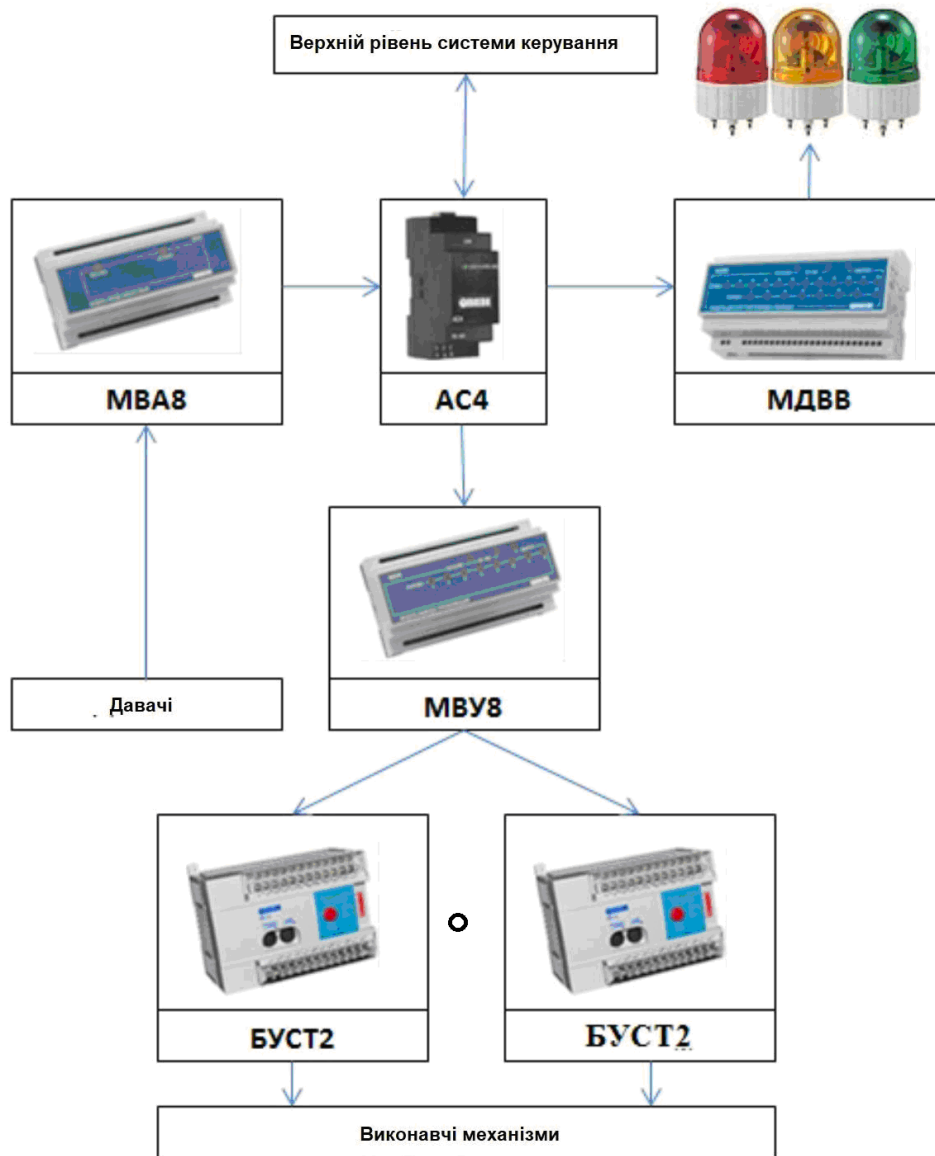


Рисунок 4.2 – Структура розроблювальної системи

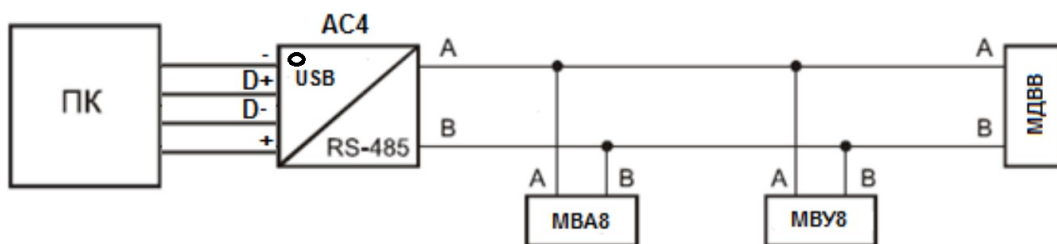


Рисунок 4.3 – Структурна схема інформаційної мережі

Аналоговий вимірювальний вхідний модуль MBA8 призначений для збору інформації від системних датчиків [19-21]:

- термостійкість TSP 100P компанії "ОВЕН", яка вимірює температуру в тепловій камері малогабаритної сушильної установки в межах від  $-200$  до  $750$  °C з роздільною здатністю  $0,1$  °C і межа основної зниженої похибки на  $0,25\%$ ;

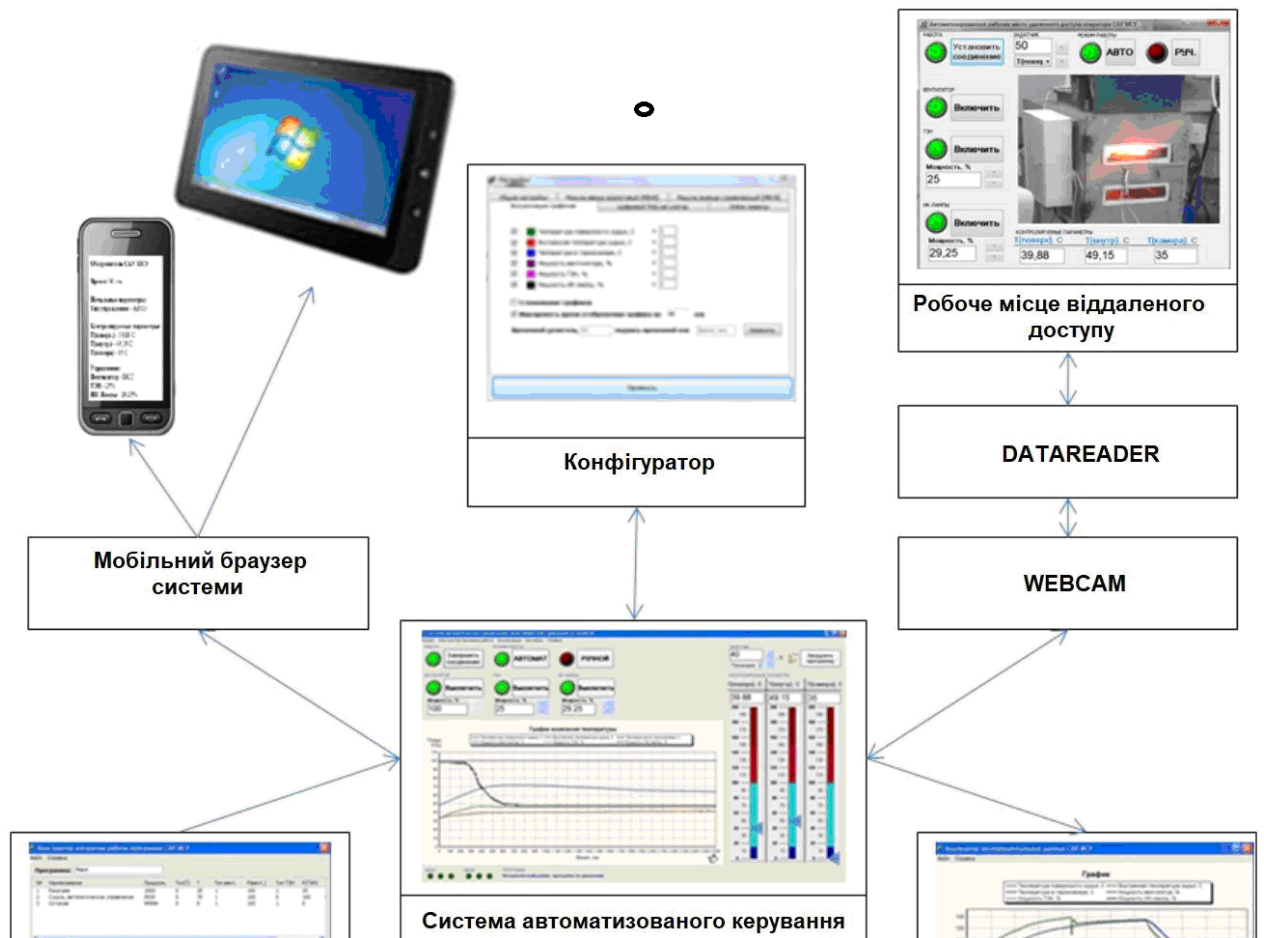
- пристрої для безперервного безконтактного вимірювання температури  $1$  з використанням стаціонарного інфрачервоного датчика температури СТ серії Optris, вимірювання температури поверхні сировини в діапазоні від  $-50$  до  $900$  °C з оптичним дозволом  $20:1$  та точністю  $\pm 1\%$ , але не менше  $\pm 1$  °C.

Дискретний модуль вводу / виводу MDVV призначений для збору сигналів, що надходять від кінцевих вимикачів і сигналізації про закриття дверей малогабаритної сушильної установки, для включення світлової індикації режимів роботи установки, а також для управління сигналами від мережі RS-485 вентилятором відцентрового розряду [19-21].

Модуль MVU8 призначений для перетворення цифрових сигналів, що передаються по мережі RS-485, в аналогові керуючі сигнали для приводів (трубчасті електричні нагрівачі та інфрачервоні лампи). Сигнали управління від модуля MVU8 надходить до пускачів через використовувані триаки для регулювання напруги живлення резистивних індуктивних навантажень. Тривалість відкритий стан триаків регулюється пристроями BUST2 відповідно до вхідного сигналу управління від модуля MVU8 [19-21].

Програмна частина комплексу складена за допомогою імперативної, структурованої, об'єктно-орієнтованої мови програмування Delphi, що є розвитком Object Pascal.

Програмна частина комплексу, схематично представлена на рис. 4.4.



**Рисунок 4.4 – Загальний вигляд модулів системи керування**

Вона складається з таких елементів [19-21]:

- програмне забезпечення «Автоматична система управління малогабаритною сушильною установкою»;
- програмне забезпечення «Конструктор алгоритму експлуатації малогабаритної сушильної установки»;

- програмний модуль «Конфігуратор системи автоматичного управління малогабаритною сушильною установкою»;
- програмне забезпечення "Аналізатор експериментальних даних";
- програмне забезпечення «Автоматизована робоча станція віддаленого доступу»;
- програмне забезпечення «Мобільний браузер»;
- програмний модуль "DATAREADER";
- програмний модуль "WEBCAM". Програмний елемент "Автоматична система управління малогабаритною сушильною установкою" реалізує основні принципи автоматичного управління технічні об'єкти. Програмне забезпечення легко вивчити, налаштувати та керувати, оскільки має чіткий та інтуїтивний інтерфейс (рис. 4.5) [19-21].

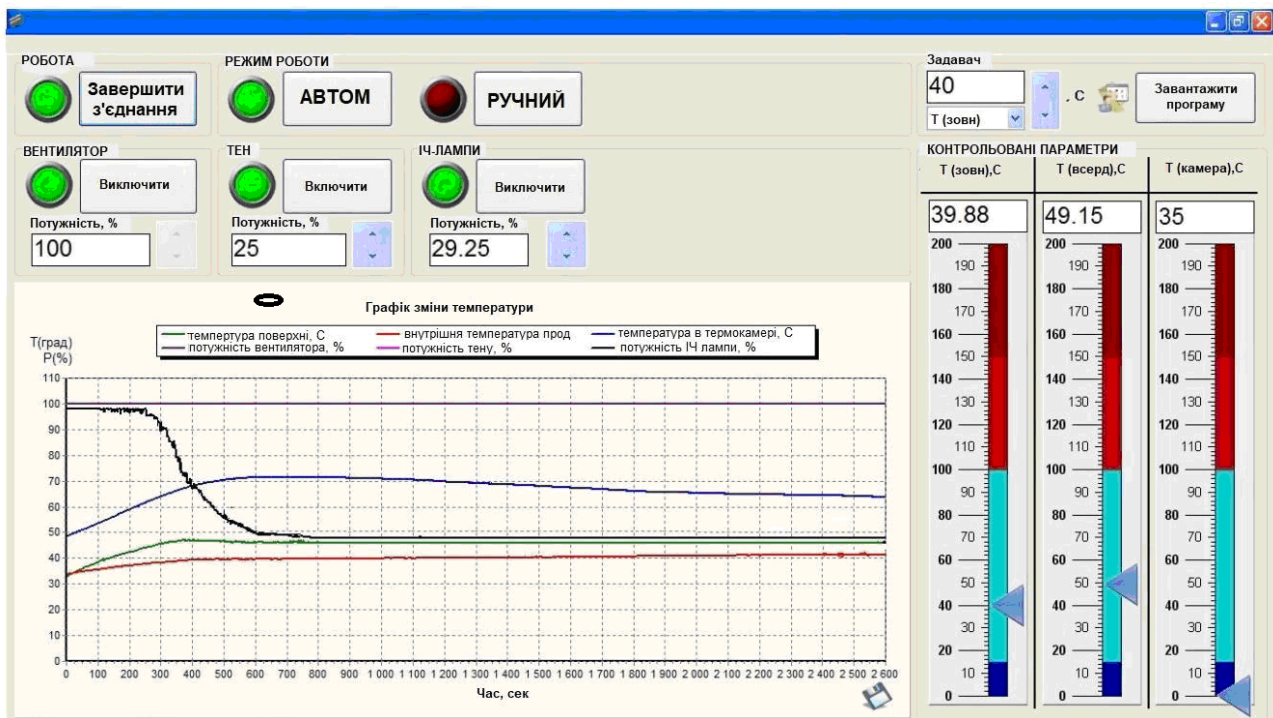


Рисунок 4.5 – Створена головна форма програми

Програмне забезпечення «Автоматична система управління малогабаритною сушильною установкою» забезпечує функціонування

персонального комп'ютера в інформаційній мережі як «майстер мережі». Обмін інформацією з апаратними модулями.

Він здійснюється в мережі RS-485 згідно зі стандартним протоколом.

Програмна реалізація протоколу «ОВЕН» здійснюється за допомогою інструментів Delphi за допомогою бібліотеки OWEN\_IO.lib, що дозволяє організувати підтримку пристроїв «ОВЕН» в мережі RS-485.

Алгоритм роботи розробленої системи приведено на рис. 3.9 Програмне забезпечення реалізує автоматичне та ручне управління. У ручному режимі управління процесом здійснює оператор. В автоматичному режимі сушильна установка управляється без втручання оператора, процесом керується програма, що генерується в програмному забезпеченні [19-21]

«Конструктор алгоритмів» і завантажується в систему. Програмне забезпечення «Конструктор алгоритму» призначене для розробки алгоритму, згідно з яким автоматизовується режим роботи теплової камери.

"Конструктор алгоритмів" передбачає гнучкість всього апаратного та програмного комплексу, оскільки дозволяє налаштувати програму під конкретні технологічні процеси термічної обробки сировини. Програмне забезпечення програмне забезпечення дозволяє користувачеві вводити до 1000 робочих кроків на кожному конкретний етап дозволяє встановити різні комбінації режимів роботи (автоматичний режим, режим постійної потужності тощо) виконавчих механізмів (інфрачервоні лампи, нагрівальні елементи, відцентровий вентилятор тощо) [19-21].

В автоматичному режимі роботи системи управління процесом здійснюється за допомогою вбудованих цифрових пропорційних інтегро-диференціальних (PID) контролерів, використання яких визначається їх поширеністю в автоматичних системах управління, простотою та надійністю [19-21].

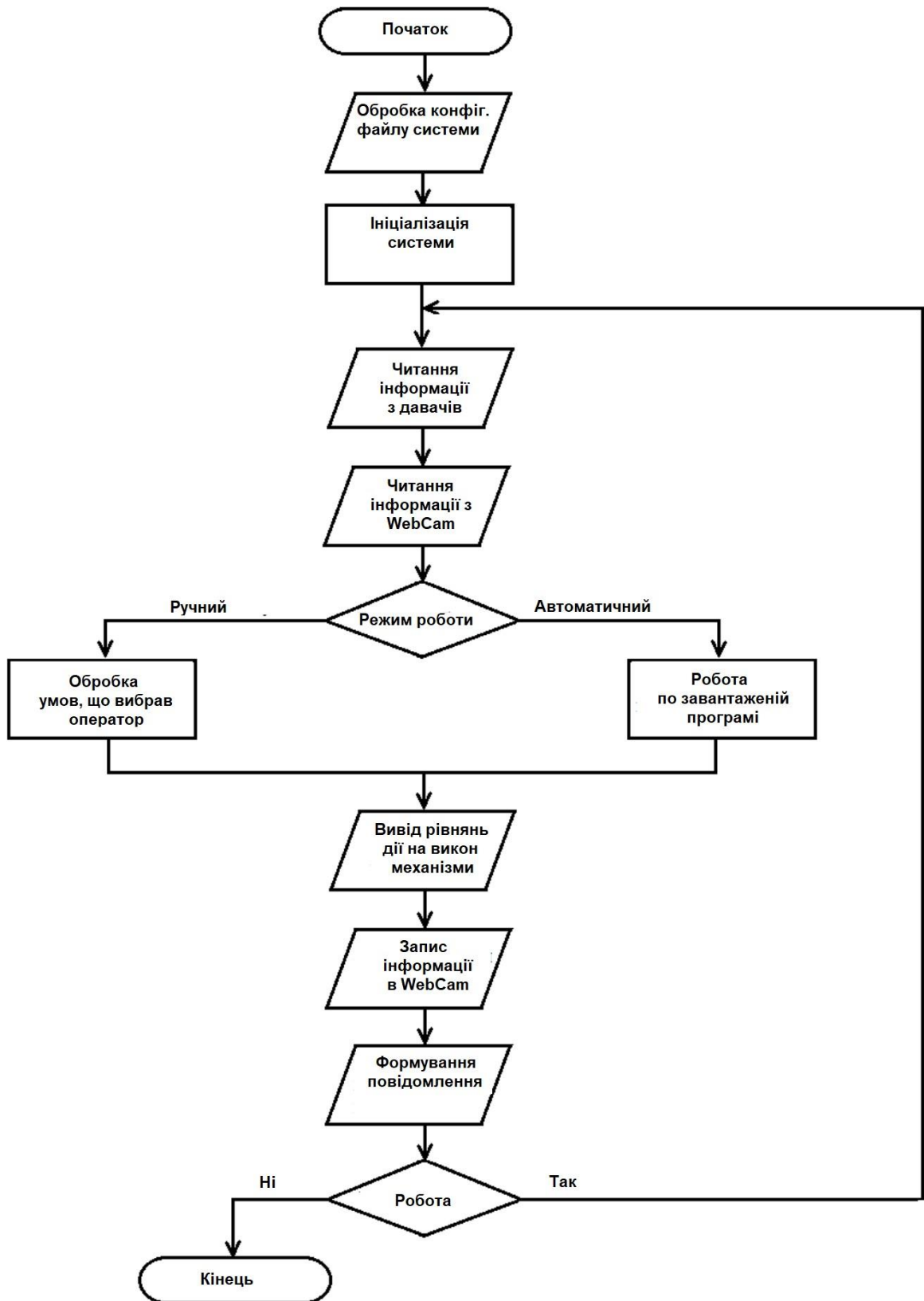


Рисунок 4.6 – Алгоритм роботи розробленої системи



Скоротити час пошуку оптимальних параметрів цифрових PID-контролерів. Програмно-апаратний комплекс гнучких автоматичних систем управління термічною обробкою сировини включає програму "Ідентифікація теплової моделі», яка дозволяє обчислити передавальну функцію об'єкта управління (теплової камери) за експериментальними даними на основі його перехідної реакції. На основі даних, отриманих за допомогою програмного забезпечення [19-21].

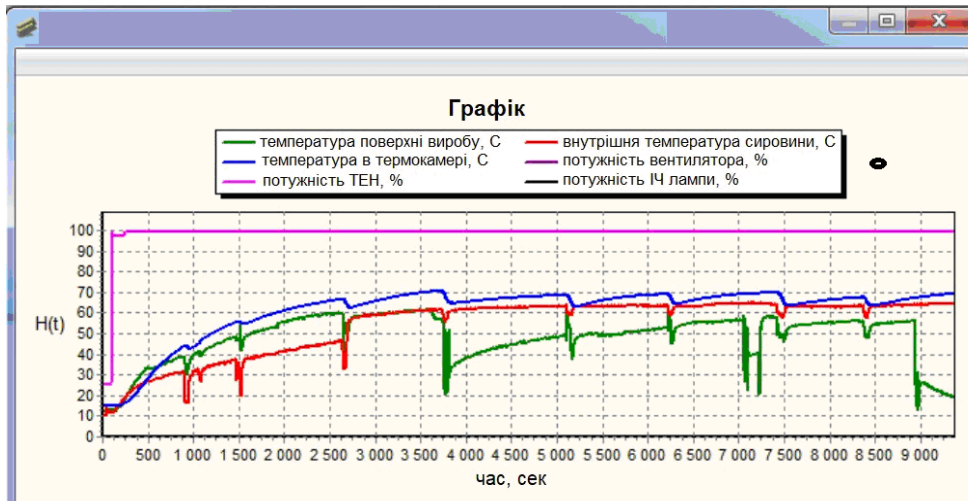
Програмне забезпечення PID OPTIMIZE VIEWER забезпечує початкову цифрову настройку ПІД-регуляторів [19-21].

Налаштування програмного та апаратного забезпечення гнучкого автоматичного комплексу контроль процесу термічної обробки сировини здійснюється через програмний модуль «Конфігуратор автоматичної системи». Модуль працює з ini-файлом конфігурації системи і дозволяє користувачу налаштовувати пристрої введення / виведення інформації, виробляти початкове налаштування цифрових PID-контролерів, а також налаштування мережі налаштування функціонування модулів "DATAREADER" та "WEBCAM" [19-21].

Працюючи в режимі реального часу, програмне забезпечення «Автоматична система управління» архівує всю інформацію про потік процесу в базу даних Microsoft Access.

У Delphi реалізація підключення до бази даних здійснюється за допомогою інтерфейсу програмування додатків для доступу до даних об'єктів даних ActiveX, розробленого від Microsoft за допомогою драйвера Microsoft Jet 4.0. [17]

Для візуального перегляду архівованих даних було розроблено програмне забезпечення (рис. 4.7).



**Рисунок 4.7 – Режим перегляду архіву отриманих даних**

В інформаційній системі комплекс гнучких автоматичних процесів управління термічна обробка сировини за допомогою стандартних інструментів Delphi віддалений моніторинг в Інтернеті та контроль мережі [19-21].

Онлайн-моніторинг заснований на використанні протоколу FTP, призначеного для передачі файлів у комп'ютерні мережі за допомогою компонента Delphi IdFTP. Програмне забезпечення для мобільних пристроїв створює файли у форматі html та передає їх на віддалений сервер. Спеціальна установка призначена для розробки алгоритму, згідно з яким автоматизовуються функції теплової камери [19-21].

У системі сервер вибирається як віддалений сервер безкоштовний хмарний інтернет сервер. користувачі, що використовують телекомунікаційні канали, такі як мобільний зв'язок, Інтернет, та ввівши адресу у веб- переглядачі мобільних пристроїв, онлайн-моніторинг функціонування апаратно-програмного комплексу [19-21].

Однією з проблем із протоколом FTP є його захист. Протокол не шифрується, під час аутентифікації логін та пароль передаються чітким

текстом, тому розробка, крім моніторингу, також дистанційного керування була недоцільною. При цьому функції мережі реалізуються в інформаційній системі апаратно-програмного комплексу моніторинг та контроль малогабаритної сушильної установки через закриту локальну мережу на основі програмного забезпечення «Автоматизоване робоче місце» віддалений доступ до системи. Програмне забезпечення дозволяє віддалено керувати усім процесом, що протікає в невеликій сушильній системі. Для візуалізації технологічного процесу система відображає в онлайн-режимі відеопотік із веб-камери, сформований програмним модулем WEBCAM та отриманий через програмний модуль DATAREADER [19-21].

#### **4.2 Передача інформації від джерела до програмовано логічного контролеру (ПЛК) за протоколом RS-485**

RS-485 (Recommended Standard 485 або EIA / TIA-485) - рекомендований стандарт передачі даних по двопровідному напівдуплексному багатоточковому послідовному симетричному каналу зв'язку. Спільна розробка асоціацій: Electronic Industries Alliance (EIA) і Telecommunications Industry [19].

Association (TIA). Стандарт описує тільки фізичні рівні передачі сигналів (тобто тільки 1-й рівень моделі взаємозв'язку відкритих систем OSI). Стандарт не описує програмну модель обміну і протоколи обміну. RS-485 створювався для розширення фізичних можливостей інтерфейсу RS232 з передачі двійкових даних.

Переваги стандарту RS-485:

1. Хороша завадостійкість.
2. Велика дальність зв'язку.
3. Однополюсне живлення +5 В.
4. Проста реалізація драйверів.
5. 5.Можливість широкомовної передачі.
6. Багатоточкове з'єднання. Недоліки RS485:

1. Велике споживання енергії.

2 Відсутність сервісних сигналів. 3.Можливість виникнення колізій.

### Технічні характеристики RS-485

Інтерфейс RS-485 володіє наступними технічними характеристиками:

- Допустима кількість прийомопередавачів (драйверів) 32
- Максимальна довжина лінії зв'язку 1200 м (4000ft)
- Максимальна швидкість передачі 10 Мбіт / с
- Мінімальний вихідний сигнал драйвера  $\pm 1,5$  В
- Максимальний вихідний сигнал драйвера  $\pm 5$  В
- Максимальний струм короткого замикання драйвера 250 мА
- Вихідний опір драйвера 54 Ом
- Вхідний опір драйвера 12 кОм
- Допустимий сумарний вхідний опір 375 Ом
- Діапазон нечутливості до сигналу  $\pm 200$  мВ
- Рівень логічної одиниці ( $U_{ab}$ )  $> +200$  мВ
- Рівень логічного нуля ( $U_{ab}$ )  $< -200$  мВ [19]

Вхідний опір для деяких приймачів може бути більш 12 КОм (одиночного навантаження). Наприклад, 48 кОм (1/4 одиночного навантаження) або 96 КОм (1/8), що дозволяє збільшити кількість приймачів до 128 або 256. При різних вхідних опорах приймачів необхідно, щоб загальна вхідний опір не було менше 375 Ом .

Так як стандарт, RS-485 описує тільки фізичний рівень процедури обміну даними, то всі проблеми обміну, синхронізації і квітування, покладаються на більш високий протокол обміну (ModBus, DCON і т.п.).

Сам RS-485 виконує тільки наступні дії:

1. Перетворює вхідну послідовність "1" і "0" в диференційний сигнал.
2. Передає диференційний сигнал в симетричну лінію зв'язку.
3. Підключає або відключає передавач драйвера по сигналу вищого протоколу.
4. Приймає диференційний сигнал з лінії зв'язку.

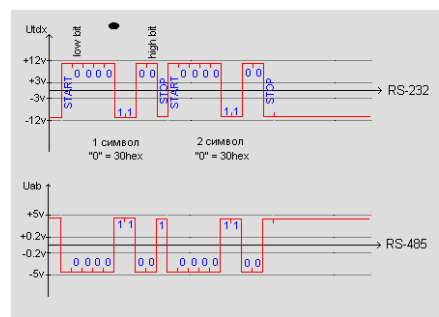
## Переваги фізичного сигналу RS-485 перед сигналом RS-232

1. Використовується однополюсний джерело живлення +5, який використовується для живлення більшості електронних приладів і мікросхем. Це спрощує конструкцію і полегшує узгодження пристроїв [19].

2. Потужність сигналу передавача RS-485 в 10 разів перевершує потужність сигналу передавача RS-232. Це дозволяє підключати до одного передавача RS-485 до 32 приймачів і таким чином вести трансляцію передачу даних.

3. Використання симетричних сигналів, у якої є гальванічна розв'язка з нульовим потенціалом мережі живлення. В результаті виключено попадання перешкоди по нульовому проводу живлення (як в RS-232). Враховуючи можливість роботи передавача на слабке навантаження, стає можливим використовувати ефект придушення синфазних перешкод за допомогою властивостей "кручений пари". Це істотно збільшує дальність зв'язку. Крім цього з'являється можливість "гарячого" підключення приладу до лінії зв'язку (хоча це не передбачено стандартом RS-485). Зауважимо що в RS-232 "гаряче" підключення приладу зазвичай призводить до виходу з ладу COM порту комп'ютера [8].

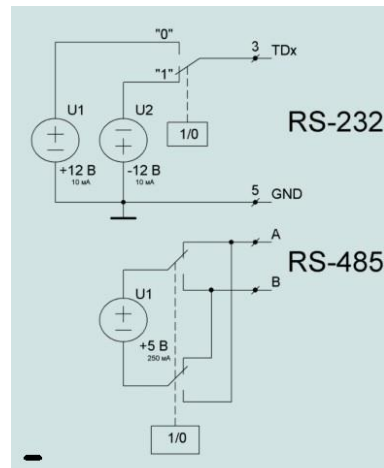
Якщо підключити осцилограф до контактам А-В (RS-485) і контактам GND-TDx (RS-232), то ви не побачите різниці в формі сигналів передаються в лініях зв'язку. Насправді, форма сигналу RS-485 повністю повторює форму сигналу RS-232, за винятком інверсії (в RS-232 логічна одиниця передається напругою -12 В, а в RS-485 +5 В).



**Рисунок 4.8. - Форма сигналів RS-232 і RS-485 при передачі двох**

символів "0" і "1".

Як видно з рис. 4.8 відбувається просте перетворення рівнів сигналу по напрузі. Хоча форма сигналів однакова у вище зазначених стандартах, але спосіб їх формування та потужність сигналів різні.



**Рисунок 4.9 - Формування сигналів RS-485 і RS-232**

Перетворення рівнів сигналів і новий спосіб їх формування дозволив вирішити ряд проблем, які свого часу не були враховані при створенні стандарту RS-232 [19-21].

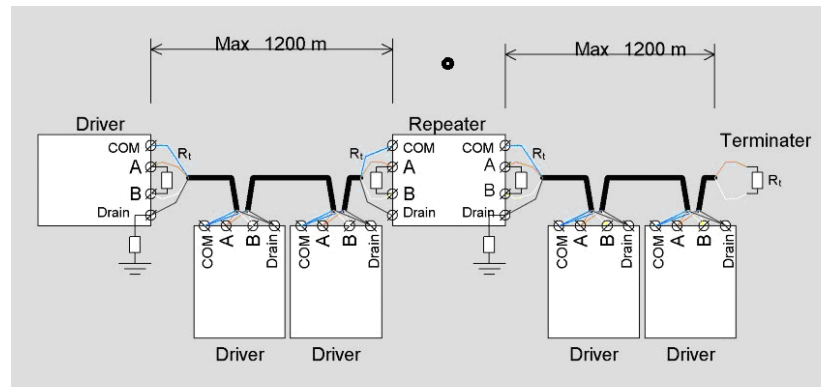
Топологія мережі RS-485

Мережа RS-485 будується за послідовною шиною (bus) схемою, тобто прилади в мережі з'єднуються послідовно симетричними кабелями. Кінці ліній зв'язку при цьому повинні бути навантажені погодженими резисторами

- "термінаторами" (terminator), величина яких повинна дорівнювати хвильовому опору кабелю зв'язку.

Термінатори виконують такі функції:

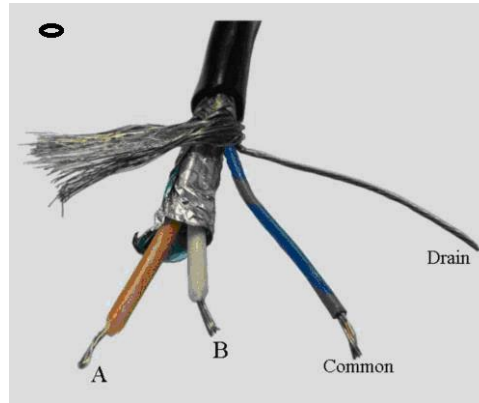
- Зменшують відображення сигналу від кінця лінії зв'язку.
- Забезпечують достатній струм через всю лінію зв'язку, що необхідно для придушення синфазної перешкоди за допомогою кабелю типу "вита пара" [19-21].



**Рисунок 4.10. - Топологія мережі RS485**

Якщо відстань сегмента мережі перевищує 1200 м або кількість драйверів в сегменті більш 32 штук, потрібно використовувати повторювач (repeater), для створення наступного сегмента мережі. При цьому кожен сегмент мережі повинен бути підключений до термінатора. Сегментом мережі при цьому вважається кабель між крайнім приладом і повторювачем або між двома повторювачами [8].

Стандарт RS-485 не визначає, який тип симетричного кабелю потрібно використовувати, але де-факто використовують кабель типу "вита пара" з хвильовим опором 120 Ом.



**Рисунок 4.11. - Промисловий кабель Belden 3106A для мереж RS485**

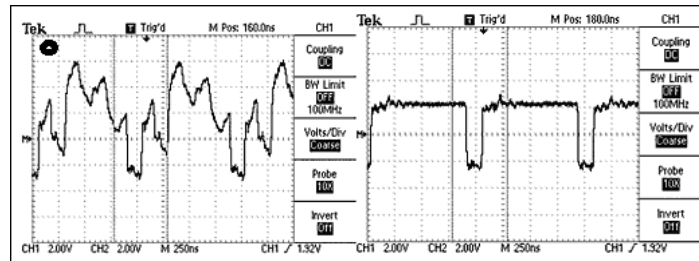
Рекомендовано використовувати промисловий кабель Belden3106A для прокладки мереж RS485. Даний кабель має хвильовий опір 120 Ом і подвійний екран кручений пари. Кабель Belden3106A містить 4 дроти. Помаранчевий і білий провід представляють собою симетричну екрановані виту пару. Синій провід кабелю використовується для з'єднання нульового потенціалу джерел живлення приладів в мережі і називається "загальний" (Common). Провід без ізоляції використовується для заземлення обплетення кабелю і називається "дренажний" (Drain). У сегменті мережі дренажний провід заземлюється через опір на шасі приладу, за одного з кінців сегмента, щоб не допустити протікання блукаючих струмів через обмотку кабелю, при різному потенціалі землі у віддалених точках [19-21].

Зазвичай опору термінаторів і захисного заземлення знаходиться всередині приладу. Необхідно правильно підключити їх за допомогою перемичок або перемикачів. У технічній документації фірми виробника приладів необхідно знайти опис цих підключень [19-21].

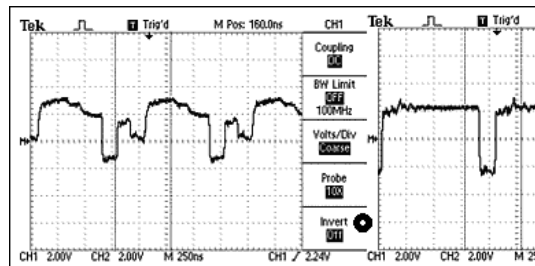
При використанні інших симетричних кабелів, особливо, коли невідомо їх хвильовий опір, величину термінаторів підбирають дослідним



шляхом. Для цього необхідно встановити осцилограф в середину сегмента мережі. Контролюючи форму прямокутних імпульсів переданих одним із драйверів можна зробити висновок про необхідність коригування величини опору терміатора [32].



**Рисунок 4.12. - Неузгоджене мережу RS-485 (без термінатора) і її підсумкова форма сигналу (зліва) у порівнянні з сигналом, отриманим на правильно узгодженій мережі (праворуч)**



**Рисунок 4.13. - Термінатор встановлений в середині сегмента мережі RS-485**

Для аналізу якості узгодження лінії зв'язку застосовують тестові функції. Зазвичай така функція вбудована в конкретний прилад або програму. Під час тестування передавач посилає в мережу задану послідовність символів, а приймач на іншому кінці лінії аналізує правильність прийому цієї відомої йому послідовності символів. Мережа тестується певну кількість часу, після чого за кількістю помилок робиться висновок про якість зв'язку [19-21].

### 4.3. Передача інформації від джерела до програмовано логічного контролеру (ПЛК) за протоколом MODBUS

Основні принципи реалізації протоколів верхнього рівня (типу MODBUS)

Modbus - комунікаційний протокол, заснований на архітектурі «клієнт-сервер». Широко застосовується в промисловості для організації зв'язку між електронними пристроями. Може використовувати для передачі даних через послідовні лінії зв'язку RS-485, RS-422, RS-232, а також мережі TCP/IP (Modbus TCP) [19-21].

Коротко розглянемо ці протоколи, хоча вони не мають відношення до стандарту RS-485, але саме протокол MODBUS задіяний у даному проекті. Зазвичай протокол верхнього рівня включає в себе пакетну, кадрову або фреймову організацію обміну. Тобто, інформація передається логічно завершеними частинами. Кожен кадр обов'язково маркується, тобто позначається його початок і кінець спеціальними символами. Кожен кадр містить адресу приладу, команду, дані, контрольну суму, які необхідні для організації багато точкового обміну. Щоб уникнути колізій зазвичай застосовують схему "ведучий" (master) - "ведений" (slave). "Ведучий" має право самостійно перемикає свій драйвер RS-485 в режим передачі, решта драйвери RS-485 працюють в режимі прийому і називаються "веденими". Щоб "ведений" почав змінювати дані в лінію зв'язку "ведучий" посилає йому спеціальну команду, яка дає приладу з вказаною адресою право переключити свій драйвер в режим передачі на певний час [9].

Після передачі роздільної команди "веденого", "ведучий" відключає свій передавач і чекає відповіді "веденого" протягом проміжку часу, який називається "таймаут". Якщо перебігу таймаута відповідь від "веденого" не отримано, то "ведучий" знову займає лінію зв'язку. У ролі "ведучого" зазвичай виступає програма, встановлена на комп'ютер або у даному випадку на ПЛК. Існують і більш складна організація пакетних протоколів, яка дозволяє

циклічно змінювати роль "ведучого" від приладу до приладу. Зазвичай такі прилади називають "лідерами", або говорять що прилади передають "маркер". Володіння "маркером" робить прилад "провідним", але він повинен буде обов'язково передати його іншому пристрою мережі по визначеному алгоритму. В основному, зазначені вище протоколи, відрізняються за цими алгоритмам.

Як ми бачимо, верхні протоколи мають пакетну організацію і виконуються на програмному рівні, вони дозволяють вирішити проблему з "колізіями" даних і багато точкову організацію обміну даними [19-21].

#### Специфікація Modbus

Протокол Modbus описує структуру запитів і відповідей. Їх основа - елементарний пакет протоколу, так званий PDU (Protocol Data Unit). Структура PDU не залежить від типу лінії зв'язку і включає в себе код функції і поле даних. Код функції кодується однобайтовим полем і може приймати значення в діапазоні 1 ... 127. Діапазон значень 128 ... 255 зарезервований для кодів помилок. Поле даних може бути змінної довжини. Розмір пакета PDU обмежений 253 байтами [19-21].

Таблиця 4.1

#### Елементарний пакет протоколу PDU (Protocol Data Unit)

Modbus-PDU	
номер функції	дані
1 байт	N < 253 (байт)

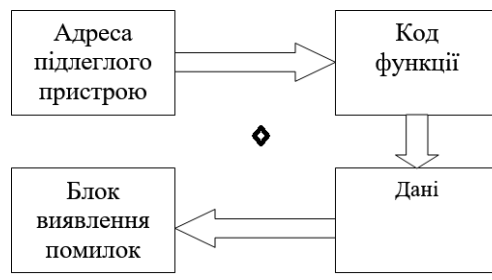
Для передачі пакету по фізичних лініях зв'язку PDU поміщається в інший пакет, що містить додаткові поля. Цей пакет має назву ADU (Application Data Unit). Формат ADU залежить від типу лінії зв'язку [19-21].

Існують три основні реалізації протоколу Modbus, дві для передачі даних по послідовних лініях зв'язку, як мідним EIA/TIA-232-E (RS-232), EIA- 422, EIA/TIA-485-A (RS -485), так і оптичним і радіо:

Modbus ASCII - для обміну використовуються тільки ASCII символи. Для перевірки цілісності використовується алгоритм en: Longitudinal redundancy check. Повідомлення поділяється на стовпці за допомогою символу «:» і закінчується символами нового рядка CR / LF.

Modbus RTU і для передачі даних по мережах Ethernet поверх TCP/IP: Modbus TCP.

Загальна структура ADU наступна (у залежності від реалізації, деякі з полів можуть бути відсутні):



Адреса підлеглого пристрою - адреса підлеглого пристрою, до якого адресовано запит. Підлеглі пристрої відповідають тільки на запити, що надійшли на їх адресу. Відповідь також починається з адреси відповідного підлеглого пристрою, який може змінюватися від 1 до 247. Адреса 0 використовується для ширококомовної передачі, її розпізнає кожен пристрій, адреси в діапазоні 248 ... 255 – зарезервовані [19-21];.

Номер функції - це наступне однобайтне поле кадру. Воно говорить підлеглому пристрою, які дані або виконання якої дії вимагає від нього ведучий пристрій;

Дані - поле містить інформацію, необхідну підлеглому пристрою для виконання заданої майстром функції або містить дані, що передаються підлеглим пристроєм у відповідь на запит ведучого. Довжина і формат поля залежить від номера функції [22-27];

Блок виявлення помилок - контрольна сума для перевірки відсутності помилок в кадрі.

Максимальний розмір ADU для послідовних мереж RS232/RS485 - 256 байт, для мереж TCP - 260 байт.

Для Modbus TCP ADU виглядає наступним чином:

кції	олу	довжина пакету	адреса підлеглого пристрою	код функції	да ні
ID Транза	ID протоко				

Ід транзакції - два байти, зазвичай нулі Ід протоколу - два байти, нулі

Довжина пакету - два байти, старший потім молодший, довжина наступної за цим полем частини пакета

Адресу відомого пристрою - адреса підлеглого пристрою, до якого адресовано запит. Зазвичай ігнорується, якщо з'єднання встановлено з певним пристроєм. Може використовуватися, якщо з'єднання встановлено з мостом, який виводить нас, наприклад, в мережу RS485 [19-21].

#### 4.4. Обґрунтування-економічної ефективності

Таблиця 4.2

Зведена відомість витрат на заробітну плату, грн.

Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додаткова заробітна плата	Нарахування на заробітну плату	Всього витрат на заробітну
	Пряма заробітна плата	Доплати	Всього			
Інженер	8120,08	243,6	1055,68	105,61	11611,69	2322,38
Керівни	2755,90	826,77	3582,67	358,27	3914,97	7855,91

Всього	1087	326	1413	141	15526,	3107
	5,98	2,77	8,75	3,88	66	9,29

Загальновиробничі витрати при укрупнених розрахунках приймаємо на рівні 80 % від суми основної і додаткової з/п інженера, яка була нарахована за роботу по проведенні досліджень. Аналогічно визначаються адміністративні витрати, які доцільно прийняти на рівні 50 % від суми основної і додаткової з/п інженера. Поза виробничі витрати приймаємо на рівні 5 % від виробничої собівартості [34, 35].

Розрахунок поточних витрат на проведення розробки програмного продукту зведемо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 Калькуляція собівартості (розробки програмного продукту)

Статті витрат	Витрати, грн.	В % до загальної суми, %
1. Основна заробітна плата	14138,75	37,97
2. Додаткова заробітна плата	1413,88	3,7
3. Нарахування на заробітну плату	15526,66	41,7
4. Консультації	50,00	0,13
5. Матеріали	2280	6,12
6. Електроенергія	70,61	0,19
7. Експериментально-виробничі витрати	1441,07	3,87
Загальновиробничі витрати	1242,92	3,34
Разом виробнича собівартість	36163,9	97,12
7. Адміністративні витрати	776	2,08
8. Поза виробничі витрати	296,1	0,8
Повна собівартість	37236	100%

#### 4.5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Широке поширення мікроелектроніки, комп'ютерів індивідуального користування, потужних засобів автоматизованої обробки тексту і графічної інформації, високо ефективних пристроїв її зберігання і пошуку, сучасних засобів зв'язку та мереж електронно-обчислювальних машин дозволяють деяким фахівцям ставити питання про перспективи створення електронних офісів майбутнього. Робота операторів, програмістів, інженерів і просто користувачів безпосередньо пов'язана з комп'ютерами, а відповідно з додатковими шкідливими впливами цілої групи факторів, що істотно знижує продуктивність їх праці [19].

Конструкція монітора повинна забезпечувати можливість фронтального спостереження екрана шляхом повороту корпусу в горизонтальній площині навколо вертикальної осі в межах  $30^\circ$  і у вертикальній площині навколо горизонтальної осі в межах  $30^\circ$  з фіксацією в заданому положенні. Дизайн повинен передбачати фарбування в спокійні м'які тони з дифузним розсіюванням світла. Корпус монітора і ПЕОМ, клавіатура повинні мати матову поверхню одного кольору з коефіцієнтом відображення 0,4 - 0,6 і не мати блискучих деталей, здатних створювати відблиски. Конструкція ВДТ повинна передбачати наявність ручок регулювання яскравості і контрасту, що забезпечують можливість регулювання яскравості і контрасту, що забезпечують можливість регулювання цих параметрів від мінімальних до максимальних значень. ВДТ і ПЕОМ повинні забезпечувати потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання в будь-якій точці на відстані 0,05 м. від екрану і корпусу монітора при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинна перевищувати  $7,74 \times 10^{-4}$  А / кг, що відповідає еквівалентній дозі, рівної 0,1 мбер / год (100 мкР / год) [19].

При виконанні основної роботи на моніторах і ПЕОМ (диспетчерські, операторські, розрахункові, кабіни і посади управління, зали обчислювальної

техніки та ін.) Де працюють інженерно - технічні працівники, що здійснюють лабораторний, аналітичний чи вимірювальний контроль, рівень шуму не повинен перевищувати 60 дБА. У приміщеннях операторів ЕОМ (без дисплеїв) рівень шуму не повинен перевищувати 65 дБА. На робочих місцях у приміщеннях для розміщення гучних агрегатів обчислювальних машин рівень шуму не повинен перевищувати 75 дБА. Шумляче обладнання, рівні шуму якого перевищують нормовані, повинне знаходитися поза приміщенням з монітором і ПЕОМ. Знизити рівень шуму в приміщеннях з моніторами і ПЕОМ можна використанням звукопоглинальних матеріалів з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в області частот 63 - 8000 Гц для обробки приміщень, підтверджених спеціальними акустичними розрахунками. Додатковим звукопоглинанням служать однотонні фіранки з щільною тканини, гармонійні з забарвленням муру і підвішені в складку на відстані 15 - 20 см від огорожі. Ширина фіранки повинна бути в 2 рази більше ширини вікна.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було:

розроблено автоматичну систему термічної обробки харчових продуктів, зокрема м'ясних виробів.

Розроблена система забезпечує якісне адаптивне регулювання процесу термічної обробки різних продуктів в камері малого розміру.

Розроблено алгоритм функціонування системи.

Розроблено програмна частина комплексу.

Для оптимізації процесу термічної обробки було розглянуто методи регуляції температурних параметрів при нагріванні повітрям, інфрачервоним випромінювання та парою.

Систему реалізовано на базі програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК110 з використанням додаткових модулів вводу виводу.

Робота може бути використана при реалізації технологічного процесу температурної обробки харчових продуктів невеликими партіями.

Розроблена система дозволяє досліджувати процес обробки та записувати отримані дані в базу даних. Також процес можна контролювати віддалено за допомогою хмарних сервісів.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковалевський, В. М. Технічні засоби автоматизації: Створення схем для електричних систем керування технологічним процесом об'єкту автоматизації [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології хімічних виробництв» / В. М. Ковалевський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 124 с.

2. Ковалевський, В. М. Технічні засоби автоматизації: Визначення характеристик сигналів приладів та пристроїв у контурах контролю і керування процесом технологічного апарату [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології хімічних виробництв» / В. М. Ковалевський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.

3. Закон України «Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини».-Відомості Верховної Ради, 2016, №48, с.359.

4. Методичні вказівки щодо змісту та структури виконання кваліфікаційної роботи магістра : у 2 ч. Ч. 1. Зміст та структура кваліфікаційної роботи магістра / укладачі: В. А. Толбатов, А. В. Толбатов. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 33 с.

5. Плахотнік В.Я. Теоретичні основи технологій харчових виробництв: навч.посіб. / Плахотнік В.Я., Тюріков І.С., Хоміч Г.П.-К.:Центр навч. літ-ри, 2016. – 640с.

6. Остапчук М.В. Система технологій (за видами діяльності: навч. посіб./ Остапчук М.В., Рибак А.І.-К.: ЦУЛ, 2015.-888с.

7. ДСТУ 3021-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення.-Введено вперше; Введ 28.02.95. –К.; Держстандарт України. 2017. - 71с.

8. Технологические процессы в пищевой промышленности: монография /В.А.Домарецкий, В.А.Поддубный, А.Е.Шевченко, Р.В.Леус//Под ред. д-ра техн.наук, проф.В.А.Домарецкого.-К.:Издательский дом «Аскания», 2017.-664с.

9. Числові методи: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. О. В. Ситніков. —Київ : КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2019. — 165 с.

10. Гончаренко, Б. М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій : підручник / Б. М. Гончаренко, А. П. Ладанюк. – К. : НУХТ, 2014. – 530 с.

11. Інноваційні технології та обладнання галузі. Переробка продукції тваринництва: посібник-практикум / К. О. Самойчук, С. В. Кюрчев, Н. О. Паляничка, В. О. Верхованцева, С. В. Петриченко, О. О. Ковальов; ТДАТУ. – К. ПрофКнига, 2020. – 252 с.

12. Ялпачик В.Ф. Загорко Н.П., Паляничка Н.О., Буденко С.Ф., Самойчук К.О., Кюрчев С.В., Верхованцева В.О., Олексієнко В.О., Циб В.Г. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва: Лабораторний практикум. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. – 274.

13. Practical Modern SCADA Protocols Gordon Clarke, Deon Reynders 2017. – 544с.

14. Інноваційні технології харчових виробництв : монографія / В. А. Піддубний [та ін.] ; ред. В. А. Піддубний ; НУХТ, КНТЕУ. — Київ : Кондор, 2017. — 374 р.

15. Cyber-security of SCADA and Other Industrial Control Systems (Advances in Information Security Edward J. M. Colbert , Alexander Kott 2016. – 368 р.

16. MATLAB Programming for Engineers Stephen J. Chapman 2020. – 305 р.

17. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.

18. Толбатов В.А. Автоматизація промислових виробництв на базі бездротової мережі датчиків WSN /В.А. Толбатов, Є.І.Петрик, О.О. Толбатова, О.М. Сапунов, А.В.Толбатов // Інформатика, Математика, Автоматика (ІМА :: 2020): матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 20–24 квітня 2020 р. / Відп. за вип. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2020. – С. 209.

19. Толбатов В.А. Научное окружение современного человека: Техника и технологии / [авт.кол. : И.Я.Львович, А.П.Преображенский, В.А.Толбатов, И.Ф.Червоный, О.Н.Чопоров, О.О. Толбатова и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 181 с.

20. Tolbatov A. Theoretical bases, methods and technologies of development of the professional activity analytical estimation intellectual systems / Zaritskry, O., Pavlenko, P., Sudic, V., Tolbatov, A., Tolbatova, O., Tolbatov, V., Tolbatov, S., Viunenko, O. / 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings – Lviv, 2017. – P. 101–104 (індексується БД scopus/WOS).

21. Толбатова О.О. Аналіз основних напрямків автоматизації виробничих процесів підприємств сфери виробництва продуктів харчування в Україні, які потребують впровадження інновацій / О.О. Толбатова // ІМА-2018: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2018 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2018. – С. 170-171.

22. Tolbatova O.O. Analysis of the actual aspects of food production sphere / O.O. Tolbatova, Radchuk O.V., Marenkova T.I. // Modern engineering and innovative technologies Issue №5 – October 2018 – Karlsruhe, Germany. – P. 112–115.

23. Толбатов А.В. Аналіз особливостей виробництва спредів / А.В. Толбатов, В.В. Понпа, О.О. Толбатова // Міжнародний науково-технічний журнал “ВОТТП”. – Хмельницький, 2018, №1 (61) – С. 129–133.

24. Толбатова О.О. Аналіз процесу функціонування системи автоматизації дифузійного відділення цукробурякового виробництва / В.А. Толбатов, В.О. Бондаренко, А.В. Толбатов, О.О. Толбатова // ІМА-2019: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2019 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2019. – С. 147.

25. Толбатова О.О. Розробка системи автоматизації тунельної печі хлібопекарного виробництва / В.Б. Берлет, В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, О.О. Толбатова // ІМА-2019: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2019 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2019. – С. 149.

26. Толбатова О.О. Автоматизація процесу пастеризації овочевих консервів / В.А. Толбатов, О.М. Сапунов, О.Б. В'юненко, А.В. Толбатов, О.О. Толбатова // ІМА-2019: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2019 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2019. – С. 146.

27. Толбатова О.О. Актуальні проблеми створення віртуальних когнітивних центрів як систем управління та моніторингу регіональних АПК / В.А. Толбатов, О.Б. В'юненко, А.В. Толбатов, О.О. Толбатова // ІМА-2018: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2018 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2018. – С. 155.

28. Толбатова О.О. Моделювання системи управління тепловим режимом шахтної зерносушарки / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, В.Е. Оганесян, О.О. Толбатова // ІМА-2018: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2018 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2018. – С. 165.

29. Толбатова О.О. Моделювання систем управління транспортування зерна в норії / В.А. Толбатов, І.О. Жижеріна, А.В. Толбатов, О.О. Толбатова // ІМА-2018: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2019 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2019. – С. 166.

30. Толбатова О.О. Моделювання автоматизованої інформаційної системи газової безпеки для побутових і промислових приміщень / В.А. Толбатов, В.Е. Нечипоренко, С.М. Толбатов, О.О. Толбатова // ІМА-2018: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2018 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2018. – С. 168.

31. Толбатова О.О. Підвищення ефективності функціонування газотурбінних електростанцій на основі автоматизованої системи керування з інформаційними технологіями / А.В. Толбатов, Г.А. Смоляров, С.В. Толбатов, О.О. Толбатова // ІМА-2017: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2017 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2017. – С. 161.

32. Tolbatova O.O. Analysis of the relevant problems of food production sphere / O.O. Tolbatova, T.I. Marenkova, I.A. Shekhovtsova // International scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – Khmel'nyts'kyu, 2017. – №4 –P.105–108.

33. Толбатова О.О. Автоматизація процесу сушіння зерна за допомогою системи протиаварійного захисту / В.А. Толбатов, В.Е. Нечипоренко, В.Е. Оганесян, А.В. Толбатов, О.О. Толбатова, Т.І. Маренкова // ІМА-2017: матеріали та програма НТК, м. Суми, 23-26 квітня 2017 р. / Відп. за вип. проф. С.І. Проценко. – Суми: СумДУ, 2017. – С. 150.

34. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems / Lavrov, E., Pasko, N., Krivodub, A., Tolbatov, A. / 2016 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 72–75. (Індексується БД scopus/WOS).

35. Data representing and processing in expert information system of professional activity analysis / Zaritskiy, O., Pavlenko, P., Tolbatov, A. / 2016 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 831–833. (Індексується БД scopus/WOS).