

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Автоматизація технологічного процесу виробництва зефіру
(комплексна тема)»

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КАЗ-41
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Ордеха М.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Проць В.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Капаціла Ю.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Козбур І.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Корольок Р.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2026р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ордеха Микола Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація технологічного процесу виробництва зефіру»
(комплексна тема).

Керівник роботи доц. Капаціла Ю.Б.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджена наказом ректора від « 14 » травня 2026 року № 4/9-231.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики та вимоги, технології виготовлення зефіру.
ДСТУ 6441:2003 «Вироби кондитерські пастильні. Загальні технічні умови».
ДСТУ 2630:2019 Технологічні процеси та устаткування для них у кондитерському виробництві.
Терміни та визначення понять.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1) Аналітична частина;
- 2) Проектна частина;
- 3) Спеціальна частина;
- 4) Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи аркушів формату А4

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Спеціальна частина</i>	<i>доц. Капаціла Ю.Б.</i>		
<i>Безпека життєдіяльності, основи хорони праці</i>	<i>доц. Сенчишин В.С.</i>		

« 20 p.

[illegible]

(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2026р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Проць Володимир Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація технологічного процесу поділу суміші бензол-толуол»
(комплексна тема).

Керівник роботи доц. Капаціла Ю.Б.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджена наказом ректора від «14» травня 2026 року № 4/9-231.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 26 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики та вимоги, технології виготовлення зефіру.
ДСТУ 6441:2003 «Вироби кондитерські пастильні. Загальні технічні умови».
ДСТУ 2630:2019 Технологічні процеси та устаткування для них у кондитерському виробництві.
Терміни та визначення понять.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1) Аналітична частина;
- 2) Проектна частина;
- 3) Спеціальна частина;
- 4) Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи аркушів формату А4

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Спеціальна частина</i>	<i>доц. Капаціла Ю.Б.</i>		
<i>Безпека життєдіяльності, основи хорони праці</i>	<i>доц. Сенчишин В.С.</i>		

« 20 p.

[illegible]

(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Метою кваліфікаційної роботи є автоматизація технологічного процесу виробництва зефіру створення та розробка автоматичної системи керування електросушильної камери ПСК/14.12-8, що підвищить продуктивність за рахунок більш оптимального управління технологічним та виробничим процесами, що відповідно забезпечить покращення якості кінцевого продукту таї ефективності виробництва і цілому.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розв'язано актуальну практичну задачу модернізації та автоматизації технологічного комплексу з виробництва пастило-мармеладних виробів, зокрема лінії виготовлення глазурованого зефіру продуктивністю 400 кг/год. Обґрунтовано впровадження автоматизованих систем керування як визначального інструменту підвищення енергоефективності, мінімізації браку та інтенсифікації тепломасообмінних процесів.

У ході проектування проведеном детальний аналіз технології виробництва, що дозволило здійснити підбір та уточнення компоновки серійного обладнання. Ключову увагу приділено розробці автоматизованої системи керування конвеєрною електросушильною камерою ПСК/14.12-8, яка забезпечує підтримання температурно-вологісних режимів у зоні сушіння.

Як центральний обчислювальний елемент системи керування та блока контролю температури обґрунтовано та інтегровано мікроконтролер PIC16C62, архітектурні особливості якого, зокрема використання Гарвардської структури, розвиненої периферії та апаратних інтерфейсів вводу-виводу, дозволили реалізувати локальні контури регулювання в реальному часі.

У спеціальній частині роботи за допомогою математичного моделювання підтверджено високу експлуатаційну надійність розробленої апаратної частини, визначено показники ймовірності безвідмовної роботи та середнього наробітку до відмови, а також проведено розрахунки конструкції на вібростійкість.

ABSTRACT

The purpose of the qualification work is to automate the technological process of marshmallow production, create and develop an automatic control system for the PSK/14.12-8 electric drying chamber, which will increase productivity due to more optimal control of technological and production processes, which will accordingly ensure improved quality of the final product and production efficiency in general.

The bachelor's qualification work solves the current practical problem of modernization and automation of the technological complex for the production of pastille and marmalade products, in particular a line for the production of glazed marshmallows with a capacity of 400 kg/h. The introduction of automated control systems is justified as a decisive tool for increasing energy efficiency, minimizing waste and intensification of heat and mass transfer processes.

During the design, a detailed analysis of the production technology was carried out, which allowed the selection and refinement of the layout of serial equipment. Key attention is paid to the development of an automated control system for the conveyor electric drying chamber PSK/14.12-8, which ensures the maintenance of temperature and humidity conditions in the drying zone.

As the central computing element of the control system and the temperature control unit, the PIC16C62 microcontroller was substantiated and integrated, the architectural features of which, in particular, the use of the Harvard structure, developed peripherals and hardware input-output interfaces, allowed the implementation of local control loops in real time.

In a special part of the work, the high operational reliability of the developed hardware was confirmed using mathematical modeling, the indicators of the probability of failure-free operation and the mean time to failure were determined, and the design was calculated for vibration resistance.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	6
ABSTRACT	7
ЗМІСТ	8
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	14
1.1 Сучасні тенденції автоматизації технологічних процесів в харчовий промисловості	14
1.1.1 Автоматизація як інструмент підвищення ефективності.....	15
1.1.2 Методи і засоби аналізу технологічної трансформації харчової промисловості	17
1.1.3 Сучасні тенденції автоматизації харчової промисловості.....	19
1.1.4 Пропозиції сучасних напрямів автоматизації технологічних процесів у харчовій промисловості.....	31
1.2 Технологія й устаткування у виробництві кондитерських виробів.	33
1.3 Комплект устаткування для виробництва Зефіру, продуктивність 400 кг/год.	33
1.4 Комплект устаткування для глазурування зефіру шоколадною глазур'ю	36
1.5 Сушильне кондитерське устаткування	37
1.6 Конвеєрна сушарка безперервної дії Торнадо XXI–500 / 1000	42
1.7 Устаткування для виробництва пастило - мармеладних виробів	44
1.7.1 Машина збивальна для зефірної маси періодичної дії Ш24 - ШЗС.....	45
1.7.2 Машина зефіровідсадна Ш24 - ШЗМ.....	45
1.7.3 Лінія безлоткового розливання, вистойки і різання пастили 1644К.....	46
1.7.4 Агрегат виробництва формового мармеладу Ш24 - ШМЛ	49
1.7.5 Машина для різання желейного мармеладу 1466К	50
1.7.6 Пристрій для опудрювання зефіру 7956К-18.....	51
1.7.7 Машина глазурувальна 2047КМ.....	52

1.7.8 Станція автоматизована приготування цукрово-патокових сиропів Ш24-ШСА.	53
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	54
2.1 Технологія виготовлення зефіру.....	54
2.1.1 Маси для пастили і зефіру	54
2.1.2 Яблучне пюре	62
2.1.3 Зефір.....	65
2.1.4 Зефір на пектині.....	69
2.1.5 Приготування суміші яблучного пюре з пектином.	70
2.1.6 Приготування цукрового сиропу.	71
2.1.7 Приготування зефірної маси.	71
2.1.8 Структурування зефірної маси.	72
2.1.9 Обсипка цукровою пудрою.	72
2.1.10 Формування зефірної маси.	73
2.1.11 Структурування зефірної маси.	73
2.2 Підбір серійного обладнання, уточнення компоновки системи керування автоматизованої виробничої системи	74
2.3 Технічні характеристики та паспортні дані серійного обладнання	76
2.4 Розміщення та монтаж	81
2.5 Експлуатація електросушильної камери конвейерної.....	83
2.6 Підготовка до роботи.	84
2.7 Порядок роботи	85
2.8 Встановлення робочого режиму.	89
2.9 Вимикання електросушильної камери та її елементів.	90
2.10 Розробка автоматизованої системи керування електричною сушкою конвейерною ПСК/14.12-8, схеми електричної принципової	92
2.10.1 Вибір та обґрунтування керуючого елемента системи	92
2.10.2 Паралельні порти вводу/виводу інформації	99
2.11 Блок контролю температури, контролер РІС 16С62	100
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	109

3.1 Розрахунок надійності	109
3.2 Розрахунок вібростійкості.....	114
3.3 операторна модель виробництва зефіру	115
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	120
4.1 Правила безпеки при експлуатації обладнання, що проектується.....	120
4.2 Розробка заходів які зменшують небезпеку виникнення вибухів і пожеж в цеху що проектується.	121
4.3 Розрахунок евакуаційних шляхів із виробничих приміщень (дільниці) цеху що проектується.	123
4.4 Розрахунок природнього освітлення для проектованої дільниці.....	127
ВИСНОВОК.....	130
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	133

ВСТУП

Виробництво та переробка харчових продуктів на підприємствах у світі є одна з найбільших по обсягах виробництва та зайнятості галузей. У ній сучасна практика автоматизації та інженерії дуже мінлива, починаючи від повністю ручних операцій і закінчуючи використанням найсучасніших виробничих систем. Проте загалом спостерігається загальне відставання у використанні технологій автоматизації порівняно з іншими галузями промисловості.

Існує багато причин такого недостатнього впровадження, і в цій кваліфікаційній роботі розглянемо фактори, котрі роблять автоматизацію виробництва харчових продуктів настільки важливою. Крім того розглянемо причини, які перешкоджали впровадженню автоматизації. Зокрема, буде зосереджено увагу на різноманітності процесів, які застосовуються у харчовій галузі, котра охоплює такі сфери, як хлібобулочна, молочна, кондитерська, продукти, що означає, що універсальні рішення часто, на думку фахівців галузі, важко або неможливо отримати. Однак у виробничому процесі є багато функцій, які є майже повністю універсальними, такі як маркування, автоматизація якості/безпеки, палетизація та інші, які насправді вимагають майже унікального підходу через природні та дуже мінливі характеристики харчових продуктів. Розглядаючи ці потреби, у даній кваліфікаційній роботі розглядаються конкретні вимоги до автоматизації виробництва харчових продуктів з двох точок зору [1–5]. По-перше, в багатьох випадках існують універсальні рішення для автоматизації, які можна з користю використовувати в усій галузі, починаючи від невеликих господарств і закінчуючи великими міжнародними виробниками. Існують приклади універсальних типів автоматизації, які добре підходять для всієї галузі. Крім того, для деяких дуже специфічних складних операцій обробки будуть показані індивідуальні рішення, що дадуть можливість запровадити автоматизацію процесів у харчовій галузі.

Перехід секторів харчової промисловості від Індустрії 1.0 до Індустрії 5.0 являє собою помітний зсув у напрямку впровадження інтегрованих та міждисциплінарних підходів, що наголошують на добробуті людей, стійкості та сталому розвитку цифрових технологій. Індустрія 4.0 зосереджена на підвищенні прибутковості та ефективності переробки харчових продуктів шляхом використання цифровізації та автоматизації. З іншого боку, Індустрія 5.0 має на меті сприяти широкій співпраці між людьми та роботами, оптимізуючи людські можливості за допомогою передових технологій, таких як великі дані, штучний інтелект та Інтернет речей [6–9].

На сучасному етапі потрібен ретельний аналіз еволюції у харчовій промисловості з особливим акцентом на вплив різних фаз індустріалізації на виробництво продуктів харчування, забезпечення якості та сталого розвитку. Слід застосовувати наступні три підходи, а саме. Аналіз ключових тенденцій, ключових слів та темпів їх зростання; тематичний аналіз для визначення поточного розвитку та міждисциплінарного стану промислових революцій. Систематичний огляд рішень для отримання загального та всебічного розуміння переходу між промисловими революціями. У ньому підкреслено суттєвий вплив технологій на підвищення операційної ефективності. Слід розглянути концепції та моделі розвитку в Індустрії 5.0, такі як дизайн, орієнтований на потреби людини, покращена персоналізація та екологічно безпечні практики [10–14]. Це надасть корисну інформацію про поточний стан та майбутній напрямок зростання харчової промисловості в епоху Індустрії 5.0.

Харчова промисловість за останні кілька десятиліть зазнала кардинальних змін, головним чином завдяки вдосконаленню технологій автоматизації та робототехніки. Ці технології вплинули на етапи виробництва, переробки та доставки, щоб задовольнити зростаючі потреби ефективності, безпеки та сталого розвитку. Технологічні досягнення, такі як автоматизація, яка полягає в експлуатації обладнання з мінімальним втручанням людини, та робототехніка, яка передбачає використання комп'ютерно-керованих машин для повторюваних

або ризикованих операцій, стали нормою в сучасних процесах виробництва харчових продуктів.

Використання автоматизації та робототехніки підвищує ефективність, автоматизуючи процеси, які в іншому випадку вимагали б багато часу для виконання, наприклад, сортування, упаковка та перевірка якості, також мінімізують людські помилки, що призводить до покращення якості та безпеки продукції. Крім того, ці технології сприяють гнучкості виробництва, оскільки виробники можуть легко змінювати виробничі лінії, щоб задовольнити потреби ринку.

Штучний інтелект та машинне навчання покращують прогнозне обслуговування, моніторинг у режимі реального часу та прийняття рішень щодо управління ресурсами та їх оптимізації, тим самим зменшуючи втрати [15–18]. Автоматизація почалася з механічних систем у середині 20-го століття та розвивалася з появою програмованих логічних контролерів та робототехніки.

Останні розробки демонструють інновації в роботизованих системах для таких операцій, як комплектування, сортування та пакування, а також зростаюче впровадження коботів, інтегрованих у робочу силу. Майбутні тенденції передбачають розробку більш автоматизованих систем, передових сільськогосподарських застосувань та вдосконалених функцій штучного інтелекту, які можуть революціонізувати виробництво продуктів харчування, безпеку та якість.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Сучасні тенденції автоматизації технологічних процесів в харчовій промисловості

Сучасні реалії харчової промисловості характеризуються фундаментальною трансформацією виробничих процесів під впливом четвертої промислової революції, масовим впровадженням технологій штучного інтелекту, роботизації, інтернету речей та цифрових двійників, що обумовлено необхідністю підвищення конкурентоспроможності в умовах глобалізації ринків, посилення вимог до безпеки продукції та дефіциту, що зростає.

Слід проаналізувати сучасні технології автоматизації виробничих процесів у харчовій промисловості, включаючи системи MES та ERP, промисловий інтернет речей, машинний зір на основі нейронних мереж, роботизовані комплекси, цифрові двійники виробничих ліній, а також організаційно-економічні аспекти їх впровадження на підприємствах галузі [19–21] . Слід дослідити та проаналізувати теоретичні основи Industry 4.0 стосовно специфіки харчових виробництв, еволюції підходів до автоматизації від локальних АСУ ТП до інтегрованих кіберфізичних систем, узагальнити міжнародний досвід цифрової трансформації провідних компаній галузі та особливості їх технологічної модернізації.

Аналіз еволюції автоматизації харчової промисловості виявив перехід від фрагментарної механізації окремих операцій до створення повністю інтегрованих виробничих екосистем, де фізичні процеси нерозривно пов'язані з цифровими моделями, забезпечуючи безпрецедентний рівень контролю, оптимізації та адаптивності виробництва. Ключові результати досліджень включають систематизацію сучасних технологій автоматизації за рівнями виробничої ієрархії, виявлення критичних факторів успішної цифрової трансформації підприємств, аналіз економічної ефективності впровадження різних технологічних рішень із показниками ROI від 150 % до 400 % залежно від масштабу та специфіки виробництва.

Концептуальна модель інтегрованої системи автоматизації харчового підприємства демонструє архітектуру взаємодії технологічних рівнів від польових пристроїв до хмарних платформ аналітики, забезпечуючи наскрізну простежуваність, передиктивне управління якістю і оптимізацію використання ресурсів. Новизна полягає у комплексному аналізі сучасного етапу технологічної трансформації харчової промисловості через призму концепції Industry 4.0, систематизації технологічних рішень з урахуванням специфіки різних підгалузі харчового виробництва, виявленні особливостей шляхів автоматизації та розробки методологічних підходів до оцінки готовності підприємств до цифрової трансформації [22–25]. В загальному, це дасть можливості використання результатів для формування стратегій технологічного розвитку харчових підприємств.

1.1.1 Автоматизація як інструмент підвищення ефективності

Глобальна харчова промисловість переживає період радикальної трансформації, обумовленої конвергенцією передових цифрових технологій і традиційних виробничих процесів, при чим згідно даними дослідницької компанії Credence Research світовий ринок продуктів харчування і напоїв зросте з 6,2 трильйона доларів в 2026 році до 9,8 трильйона доларів до 2032 році із сукупним річним темпом зростання 5,9 %.

Паралельно зі зростанням обсягів виробництва відбувається фундаментальна зміна технологічного устрою галузі, що характеризується переходом до концепції «Індустрія 4.0», яка передбачає масове впровадження кіберфізичних систем, штучного інтелекту, роботизації та створення «розумних» виробництв, здатних до самоорганізації та адаптації. [bookmark1](#)

В умовах загострення глобальної конкуренції, посилення вимог до безпеки та якості продукції, а також дефіциту кваліфікованих кадрів, що зростає, автоматизація стає не просто інструментом підвищення ефективності, але критичним фактором виживання підприємств на висококонкурентному ринку.

Харчова промисловість, будучи однією із системоутворюючих галузей, активно включається до процесів цифрової трансформації, причому значна частина підприємств в харчовій галузі є з високим рівнем автоматизації.

В останні роки спостерігаються процеси технологічної модернізації вітчизняних харчових виробництв, стимулюючи перехід від фрагментарної автоматизації окремих операцій до створення комплексних інтегрованих систем управління виробництвом [26–28].

Актуальність визначається сукупністю взаємопов'язаних факторів, що формують нову технологічну реальність харчової промисловості та потребують глибокого осмислення трансформаційних процесів що відбуваються в ній, рушійних сил, бар'єрів та перспектив розвитку у контексті глобальних та національних економічних трендів.

На даний час недостатньо теоретично опрацьовано механізми інтеграції передових технологій автоматизації у специфічні умови харчових виробництв, відсутності комплексної методології оцінки готовності підприємств до цифрової трансформації, а також у необхідності адаптації міжнародного досвіду впровадження технологій Industry 4.0 до особливостей економічного та технологічного середовища.

Об'єктом виступають підприємства харчової промисловості, які здійснюють технологічну модернізацію виробничих процесів на основі сучасних засобів автоматизації. Предметом є технології, методи та системи автоматизації виробничих процесів у харчовій промисловості, включаючи їх технічні характеристики, економічну ефективність та організаційні аспекти впровадження [29–33].

Мета роботи – провести комплексний аналіз сучасних тенденцій автоматизації технологічних процесів у харчовій промисловості, виявити ключові технологічні рішення та фактори їх успішного впровадження, а також розробити концептуальну модель інтегрованої системи автоматизації харчового підприємства. Завдання даного розділу кваліфікаційної роботи, – проаналізувати еволюцію технологій автоматизації у харчовій промисловості та визначити

характеристики сучасного етапу цифрової трансформації галузі у контексті концепції Industry 4.0.

Для досягнення мети потрібно систематизувати та класифікувати сучасні технологічні рішення автоматизації за рівнями виробничої ієрархії та функціонального призначення з обліком специфіки різних підгалузі харчового виробництва [33–35]. Розробити концептуальну модель інтегрованої системи автоматизації харчового підприємства, що враховує взаємозв'язок технологічних, організаційних та економічних факторів цифрової трансформації.

Новизна полягає у комплексному міждисциплінарному аналізі процесів автоматизації харчової промисловості через концепції кіберфізичних систем, виявленні специфічних для галузі бар'єрів та драйверів технологічної трансформації, систематизації успішних практик впровадження передових технологій підприємствах харчової промисловості, а також в розробці методологічних підходів до проектування інтегрованих систем автоматизації з урахуванням вимог щодо безпеки харчової продукції.

Це дасть можливість використання отриманих результатів для обґрунтування рішень в області автоматизації та технологічної модернізації харчових виробництв, розроблення галузевих програм цифрової трансформації, формування вимог до фахівців для роботи з сучасними автоматизованими системами, а також створення рекомендацій по впровадженню технологій Industry 4.0 на підприємствах харчової промисловості.

1.1.2 Методи і засоби аналізу технологічної трансформації харчової промисловості

Методологічна основа базується на системному підході до аналізу технологічної трансформації харчової промисловості, що дозволяє розглядати процеси автоматизації як багаторівневу ієрархічну систему взаємопов'язаних технічних, організаційних, економічних та соціальних компонентів.

Методи базуються на опрацюванні і використанні комплексного аналізу наукової літератури з проблематики автоматизації харчових виробництв, включаючи публікації у провідних міжнародних журналах з харчової інженерії, промислової автоматизації та управління виробництвом за період 2020–2026 років [36–39]. Застосовувався метод кейс-аналізу вивчення досвіду впровадження автоматизованих систем на конкретних підприємствах харчовий промисловості, включно з міжнародними корпораціями Nestle, Danone, PepsiCo та ін.. Компаративний аналіз використовувався зіставлення технологічних стратегій підприємств різних країн та виявлення національних особливостей процесів автоматизації.

Емпіричну базу складають статистичні дані про динаміку промислового виробництва та інвестиції в основний капітал за 2020–2025 роки, звіти про стан та перспективи розвитку харчової промисловості, аналітичні матеріали Міжнародної федерації робототехніки (IFR) про впровадження промислових роботів, дослідження ринку автоматизації харчовий промисловості компаній MarketsandMarkets, Meticulous Research, дані про цифрову трансформацію промисловості від аналітичних агентств Gartner та IDC.

Для аналізу технологічних аспектів використано технічні специфікації та документація провідних постачальників рішень для автоматизації харчової промисловості, включаючи системи MES від компаній Siemens, Rockwell Automation, Wonderware, платформи промислового IoT від Microsoft Azure, Amazon Web Services, рішення машинного зору від Cognex, Keyence, роботизовані системи від ABB, KUKA, Fanuc. Вивчалися стандарти та нормативні документи в галузі автоматизації та безпеки харчових виробництв, систем менеджменту безпеки харчової продукції, міжнародні стандарти ISA-95 з інтеграції систем управління підприємством та виробництвом.

Методологія оцінки економічної ефективності автоматизації ґрунтувалася на розрахунку показників повернення інвестицій (ROI – Return on Investment), сукупної вартості володіння (TCO – Total Cost of Ownership), аналізі термінів окупності проектів автоматизації з урахуванням специфіки харчової

промисловості, включаючи вимоги до гігієни, простежуваності та відповідності регуляторним вимогам.

1.1.3 Сучасні тенденції автоматизації харчової промисловості

Сучасна парадигма автоматизації харчової промисловості формується під впливом концепції четвертої промислової революції, що передбачає синтез фізичних та цифрових технологій в єдині кіберфізичні системи, здатні до самоорганізації, адаптації та безперервної оптимізації виробничих процесів на основі аналізу великих даних та застосування штучного інтелекту, причому згідно з дослідженням ТА202 році глобальні витрати на штучний інтелект склали близько 189 мільярдів доларів, а до 2033 року році цей показник може збільшитися до 4,77 трильйона доларів.

Трансформація виробничих процесів у харчовій промисловості відбувається нерівномірно, демонструючи суттєві відмінності між технологічними лідерами, що впроваджують повністю автоматизовані «безлюдні» виробництва, та підприємствами, що знаходяться на початкових етапах цифровізації, що обмежуються локальною автоматизацією окремих технологічних операцій.

Еволюція автоматизації харчових виробництв пройшла кілька якісних етапів, кожен з яких характеризувався домінуванням певних технологічних рішень та управлінських підходів, причому початкова механізація ручної праці в середині XX століття змінилася використанням програмованих логічних контролерів (PLC) у 1970–1980-х роках, потім поширилося SCADA- систем і АСУ ТП у 1990–2000-х роках, а сучасний етап, що розпочався у 2010-х роках, характеризується інтеграцією виробничих систем із корпоративними інформаційними системами та переходом до концепції «розумного виробництва» [40–41]. Специфіка харчової промисловості, пов'язана з роботою з біологічною сировиною змінного складу, жорсткими вимогами до гігієни і безпеки продукції, коротким терміном придатності багатьох продуктів, пред'являє особливі вимоги до систем автоматизації, які мають забезпечувати

як високу продуктивність, а й гнучкість переналагодження, простежуваність всіх етапів виробництва, відповідність міжнародним стандартам якості та безпеки.

Аналіз сучасного ринку технологій автоматизації для харчової промисловості виявляє домінування кількох ключових технологічних трендів, що формують вигляд виробництв нового покоління. Системи управління виробничими процесами класу MES (Manufacturing Execution System) стають центральним елементом цифрової архітектури підприємств, забезпечуючи оперативне планування, диспетчеризацію, контроль якості та збір даних про хід виробництва в режимі реального часу, причому згідно з дослідженням ринку MES -систем, світовий ринок цифрових платформ для управління виробничим процесом виріс на 5,4 % до 17,65 млрд. доларів у 2024 року. Впровадження MES -систем на харчових підприємствах дозволяє досягти зниження обсягу браку на 15–25 %, скорочення часу переналагодження обладнання на 20–30 %, підвищення загальної ефективності обладнання (OEE – Overall Equipment Effectiveness) до 85-90 % проти типових 60–70 % для неавтоматизованих виробництв [2–7].

Дані таблиці 1.1 свідчать про суттєву диференціацію рівнів автоматизації в харчовій промисловості, при чим перехід на кожен наступний рівень вимагає кратного збільшення інвестицій, але забезпечує якісний стрибок в операційній ефективності, зниження втрат та підвищення якості продукції.

Промисловий інтернет речей (Industrial Internet of Things, IIoT) являє собою технологічну основу для створення «розумних» виробництв, забезпечуючи збір та аналіз даних від тисяч датчиків та виконавчих пристроїв у режимі реального часу, причому згідно з прогнозами, до кінця 2026 року понад 60 мільярдів пристроїв буде підключено до промислового інтернету речей і почнуть генерувати 89,4 зеттабайта даних на рік.

[bookmark8](#)У харчовій промисловості технології IIoT знаходять застосування для моніторингу температурно-вологісних режимів на всіх етапах виробництва та зберігання, контролю параметрів технологічних

процесів з точністю до часток відсотка, передиктивного обслуговування обладнання на основі аналізу вібрації, температури, енергоспоживання, оптимізації енергоспоживання та управління ресурсами підприємства.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз рівнів автоматизації харчових виробництв і їх технологічні характеристики

Рівень автоматизації	Технологічні компоненти	Функціональні можливості	Типові показники ефективності	Інвестиції на 1 000 м ² виробництва	Приклади застосування
Базова механізація	Конвеєри, дозатори, пакувальні машини	Механізація ручних операцій, локальне управління	OEE 40–50 %, брак 5-8 %, простої 20–30 %	0,3-1 млн грн.	Малі регіональні виробники
Локальна автоматизація	ПЛК, локальні SCADA, датчики	Автоматизація окремих ділянок, збирання даних	OEE 55–65 %, брак 3-5 %, простої 15–20 %	2–5 млн грн.	Середні підприємства
Інтегрована автоматизація	MES, ERP, централізована SCADA	Наскрізне управління виробництвом, інтеграція з бізнес процесами	OEE 70–80 %, брак 1-3 %, простої 8–12 %	6–10 млн грн.	Великі підприємства
Цифрове виробництво	IoT, Big Data, хмарні платформи	Предиктивна аналітика, оптимізація в реальному часі	OEE 80–90 %, брак <1 %, простої 5–8 %	10–20 млн грн.	Великі корпорації,
Інтелектуальне виробництво	AI, цифрові двійники, роботизація	Самооптимізація, адаптивне управління, мінімальна участь людини	OEE >90 %, брак <0,5 %, простої <5 %	25–50 млн грн.	Великі корпорації

Системи машинного зору на основі нейронних мереж революціонізують процеси контролю якості в харчовій промисловості, забезпечуючи розпізнавання дефектів з точністю 99,5-99,9 %, що суттєво перевищує можливості людського контролю, причому сучасні системи здатні аналізувати до 1000 одиниць продукції за хвилину, виявляючи як видимі дефекти упаковки, а й відхилення у кольорі, формі, розмірі продукту, наявність сторонніх включень розміром від 0,5 мм [8–11].

Інтеграція систем машинного зору з робототехнічними комплексами дозволяє створювати повністю автоматизовані лінії сортування, де роботизовані маніпулятори видаляють дефектну продукцію зі швидкістю до 120 операцій на хвилину з точністю позиціонування $\pm 0,1$ мм.

Роботизація виробничих процесів у харчовій промисловості демонструє експоненційне зростання, причому за даними Міжнародної федерації робототехніки, у 2023 році в глобальному масштабі було введено в експлуатацію понад 541 тисячу нових промислових роботів, а загальна кількість працюючих роботів досягла 4,28 мільйона одиниць.

Спеціалізовані роботи для харчової промисловості, які відповідають вимогам гігієнічного дизайну і здатні працювати в умовах підвищеною вологості та частой санітарної обробки, виконують операції палетування та депалетування з продуктивністю до 2 000 упаковок на годину, високошвидкісного пакування продукції в споживчу та транспортну тару, прецизійного різання та порціонування м'ясної та рибної продукції з відхиленням по вагою не більше $\pm 2\%$, декорування кондитерських виробів із відтворенням складних візерунків.

Концепція цифрових двійників (DT – Digital Twins) отримує все більше поширення в харчовій промисловості як інструмент оптимізації виробничих процесів та передиктивного управління якістю, при чому цифровий двійник є високоточною віртуальною моделлю фізичного об'єкта або процесу, що безперервно оновлюється даними від IoT -датчиків і здатна передбачати поведінку реальної системи. в різних сценаріях.

Застосування цифрових двійників в харчовій промисловості дозволяє моделювати вплив зміни рецептур на характеристики готового продукту без проведення фізичних експериментів, оптимізувати режими теплової обробки для досягнення заданих органолептичних властивостей при мінімальних енерговитратах, прогнозувати знос обладнання і планувати технічне обслуговування з точністю до 85-90 %, тестувати нові виробничі сценарії та оцінювати їхню економічну ефективність без зупинки реального виробництва.

Досвід впровадження передових технологій автоматизації у харчовій промисловості демонструє як успішні приклади створення високотехнологічних виробництв світового рівня, так і суттєве відставання галузі загалом від провідних індустріальних країн.

Впровадження системи автоматизації процесів планування виробництва дозволило компанії досягти 30-відсоткового зростання продажів та 20-відсоткового зниження списання залишків сировини вже в перший рік експлуатації.

На малюнку 1.1 представлено концептуальну модель інтегрованої системи автоматизації сучасного харчового підприємства.

Представлена на малюнку 1.1 архітектура демонструє багаторівневу ієрархію систем автоматизації, де кожен рівень виконує специфічні функції, а інтеграція між рівнями забезпечує наскрізну цифровізацію всіх процесів підприємства від польових пристроїв до систем стратегічних рішень.

Міжнародний досвід автоматизації харчової промисловості демонструє суттєві відмінності у підходах та темпах технологічної трансформації між регіонами та країнами. Китай, що є найбільшим виробником харчової продукції з часткою 28,4 % світового промислового виробництва, активно впроваджує технології Industry 4.0, причому уряд КНР інвестує мільярди доларів в створення «розумних фабрик» та розвиток вітчизняних технологій автоматизації.

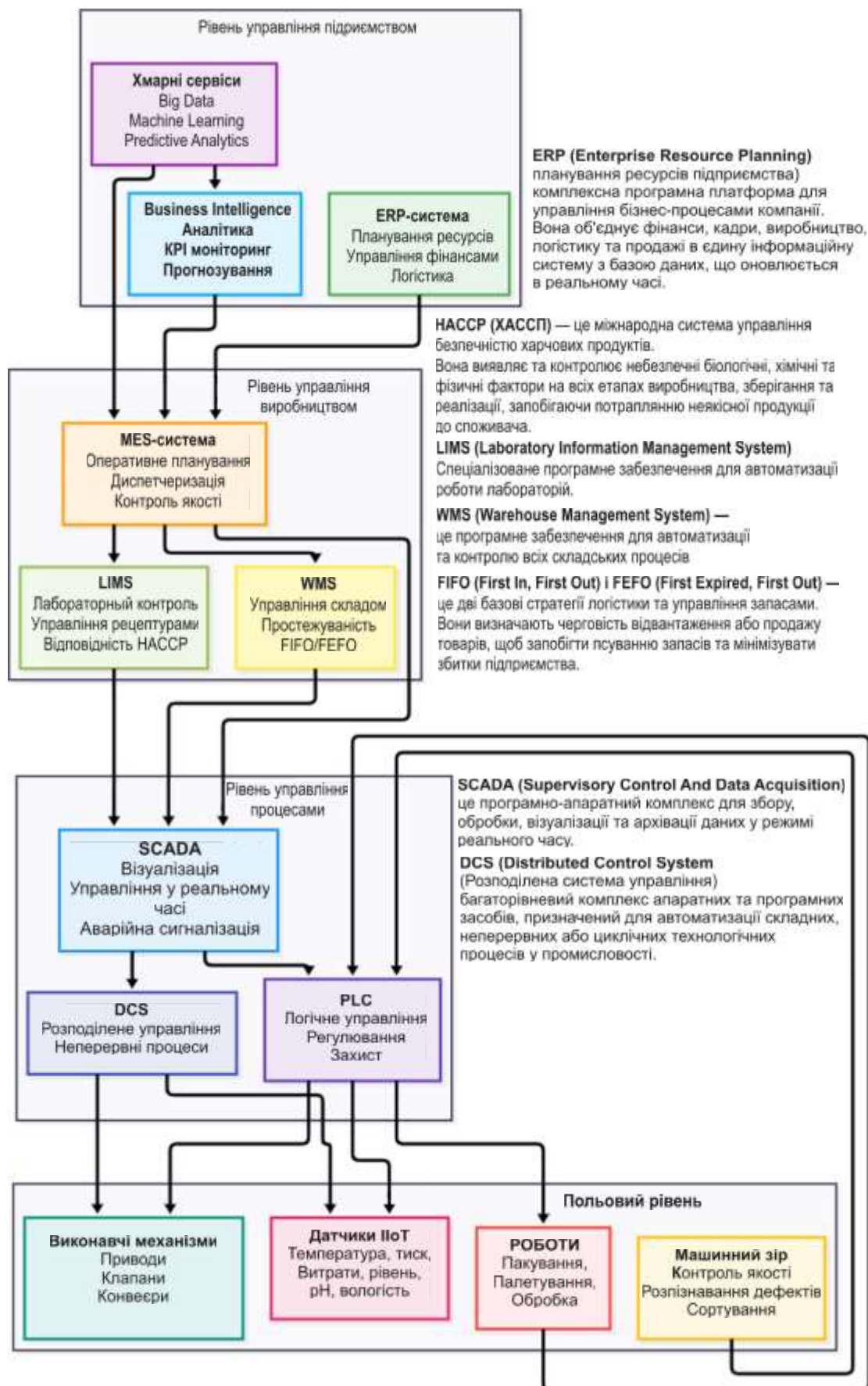


Рисунок 1.1 – Архітектура інтегрованої системи автоматизації харчового підприємства на основі концепції Industry 4.0

Європейський Союз фокусується на стійкому розвитку та циркулярній економіці, впроваджуючи технології для мінімізації харчових відходів та оптимізації використання ресурсів, причому згідно з дослідженням Food Logistics, харчові відходи становлять близько 4 % викидів парникових газів у США, що еквівалентно викидам від 54 мільйонів автомобілів. Сполучені Штати лідирують в розробці і впровадженні штучного інтелекту і машинного навчання для оптимізації ланцюжків поставок і персоналізації продукції під вимоги споживачів.

Економічна ефективність впровадження технологій автоматизації у харчовій промисловості варіюється в широких межах залежно від масштабу виробництва, типу продукції та глибини автоматизації, причому згідно з дослідженням Boston Consulting Group, в автомобільній промисловості США загальні витрати на працівника становлять 25 доларів на годину, а середні витрати на робототехніку становлять 8 доларів на годину, що демонструє триразову економію під час роботизації [12–15].

Для харчової промисловості характерні такі показники окупності інвестицій: системи машинного зору окупаються за 12–18 місяців за зниження втрат від браку на 80–90 %, роботизовані лінії упаковки демонструють ROI 200–300% за 3–4 роки при двозмінній роботі, Впровадження MES-систем забезпечує повернення інвестицій за 2–3 року у разі підвищення OEE на 15–20 процентних пунктів.

Впровадження систем забезпечення безпеки харчової продукції на основі принципів ХАССП (Hazard Analysis and Critical Control Points) є обов'язковою вимогою для всіх підприємств харчової промисловості згідно Причому автоматизація процесів моніторингу критичних контрольних точок дозволяє забезпечити безперервний контроль параметрів безпеки з точністю і частотою, недосяжними при ручному контролі. Сучасні автоматизовані системи ХАССП інтегруються з MES і LIMS системами, забезпечуючи автоматичну реєстрацію всіх вимірювань в критичних контрольних точках з частотою до 1 рази в секунду, миттєве сповіщення про вихід параметрів за критичні межі

через multiple канали комунікації, автоматичну генерацію звітності для контролюючих органів відповідно до вимог ISO 22000-2019, блокування випуску невідповідної продукції через інтеграцію із системами управління складом.

Проблеми та бар'єри на шляху автоматизації харчової промисловості включають високу вартість обладнання та програмного забезпечення. Дефіцит кваліфікованих спеціалістів, здатних проектувати, впроваджувати і обслуговувати сучасні автоматизовані системи залишається критичним фактором, що стримує автоматизацію та цифрову трансформацію галузі.

Таблиця 1.2 представляє аналіз ключових технологій автоматизації і їх застосування у різних підгалузях харчової промисловості.

Аналіз даних таблиці 1.2 виявляє суттєву нерівномірність впровадження технологій автоматизації як між підгалузями, так і всередині них, при чому найбільш високий рівень автоматизації демонструють виробництва напоїв і кондитерських виробів, що обумовлено масовістю виробництва і відносною стандартизацією процесів, в той час як м'ясопереробка і хлібопечення відстають через складність автоматизації роботи з неоднорідними об'єктами виробництва.

Перспективні напрями розвитку автоматизації харчової промисловості пов'язані із впровадженням технологій штучного інтелекту для оптимізації всього ланцюжка створення вартості від поля до споживача. Генеративний штучний інтелект знаходить застосування для розробки нових рецептур з заданими характеристиками, причому системи здатні аналізувати мільйони комбінацій інгредієнтів та передбачати органолептичні властивості продукту з точністю 85–90%. Квантові обчислення відкривають можливості для вирішення завдань оптимізації логістичних ланцюжків з урахуванням тисяч змінних у режимі реального часу; моделювання складних біохімічних процесів при розробці функціональних продуктів харчування. Технології блокчейн забезпечують створення прозорих і незмінних записів о походження і русі продукції, що критично важливо для боротьби з контрафактом та забезпечення довіри споживачів.

Таблиця 1.2 – Матриця застосування технологій автоматизації в галузях харчовий промисловості

Підгалузь	Пріоритетні технології	Специфічні рішення	Досягані ефекти	Рівень впровадження	Лідери впровадження
Молочна промисловість	MES, LIMS, IoT - моніторинг	Автоматизація CIP -мийки, контроль соматичних клітин, управління дозріванням сирів	Зниження втрат молока на 15%, збільшення виходу сиру на 3–5%, скорочення часу аналізів на 70 %	35–40 % великих підприємств	Danone, PepsiCo WBD
М'ясо-переробка	Роботизація, машинне зір, RFID	Роботи для обробки туш, рентген-контроль кісток, трекінг партій	Підвищення виходу м'яса на 5–8%, зниження травматизму на 60%, 100% простежуваність	25–30 % великих підприємств	
Хлібо-пекарська промисловість	Системи дозування, клімат-контроль, AGV	Автоматичне тістознавство, керування вистоюванням, роботизована випічка	Стабільність якості 95%, економія сировини 3-5%, зниження повернень на 40%	15–20 % підприємств	Fazer
Кондитерська промисловість	Прецизійне дозування, темперування, 3D-друк	Автоматичне глазурування, декорування, контроль ваги	Точність дозування $\pm 0,5$ %, зниження перевитрати какао на 8 %, прискорення розробки новинок у 3 рази	40–45 % великих виробників	Mars, Mondelez,
Виробництво напоїв	Високо-швидкісні лінії, інспекційні системи, блокчейн	Контроль рівня наливу, детекція сторонніх включень, антиконтрафакт	Продуктивність до 80 000 пл./год, детекція дефектів 99,9 %, захист від підробок	50–55 % великих заводів	Coca-Cola, PepsiCo, Оболонь
Олійна промисловість	Безперервні процеси, DCS, аналітика якості	Автоматизація екстракції, рафінації, купажування	Вихід олії +2-3 %, Енерго-ефективність +15 %, стабільність якості	30–35 % підприємств	Cargill,

Вплив автоматизації на ринок праці в харчовій промисловості носить двоїстий характер, з одного боку відбувається скорочення потреби в

низькокваліфікованій ручній праці, з іншого – зростає попит на фахівців з автоматизації, даних, робототехніки, причому, згідно з прогнозом McKinsey, до 2030 р. році близько 400 мільйонів людей на планеті можуть втратити роботу через автоматизацію, але одночасно на кожні 10 автоматизованих робочих місць створюватиметься одне нове робоче місце у сфері програмування, обслуговування та управління автоматизованими системами.

Трансформація вимог до компетенцій працівників харчової промисловості включає перехід від виконання рутинних операцій до управління складними автоматизованими системами, необхідність розуміння цифрових технологій та вміння працювати з даними, розвиток навичок вирішення нестандартних завдань та управління змінами. На рисунку 1.2 представлена динамічна модель застосування технологій автоматизації на харчовому підприємстві.

Модель на малюнку 2 демонструє ітеративний характер процесу цифрової трансформації, де кожен етап створює основу для наступного рівня технологічної зрілості, а зворотна зв'язок від етапу вдосконалення дозволяє коригувати стратегію та впроваджувати нові технології.

Підтримка автоматизації харчової промисловості у реалізується через різні механізми, включаючи програми пільгового кредитування проектів технологічної модернізації, субсидування частини витрат на придбання вітчизняного обладнання, створення промислових технопарків з готовою інфраструктурою для розміщення автоматизованих виробництв.

Екологічні аспекти автоматизації харчової промисловості набувають зростаючого значення в контексті глобального порядку денного сталого розвитку.

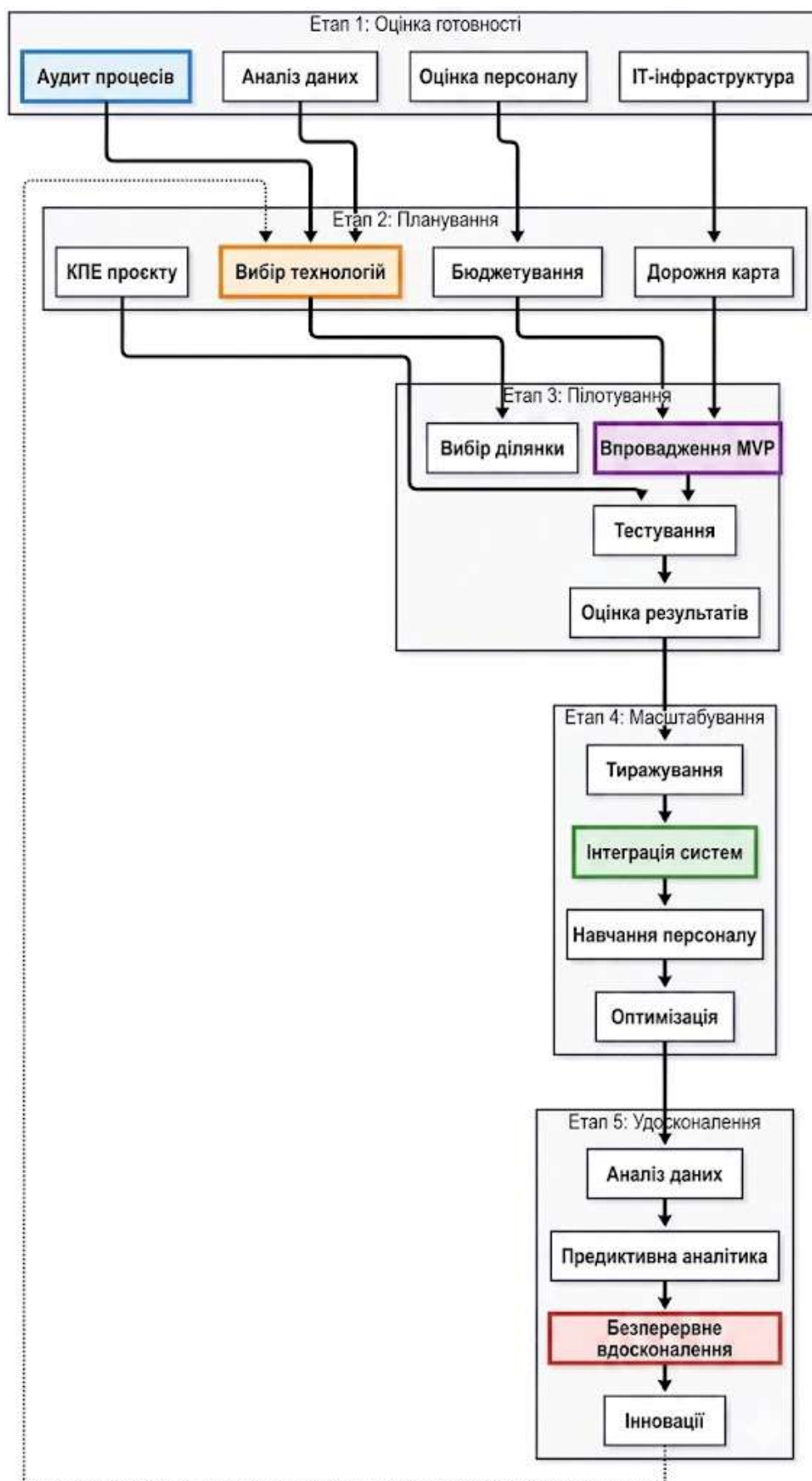


Рисунок 1.2 – Етапи цифрової трансформації харчового підприємства та ключові активності

Автоматизовані системи керування енергоспоживанням дозволяють знизити витрати електроенергії на 15–25 % за рахунок оптимізації роботи холодильного обладнання, компресорів, вентиляції, інтелектуальних систем управління водними ресурсами котрі скорочують водоспоживання на 20–30 % через оптимізацію CIP -мийки та рециркуляцію технічної води, предикативне управління виробництвом мінімізує харчові відходи на 40–50 % за рахунок точного планування і оптимізації термінів придатності.

Впровадження систем моніторингу вуглецевого сліду на основі IoT та блокчейн дозволяє відстежувати викиди парникових газів на всіх етапах життєвого циклу продукту з точністю до 95 % та оптимізувати логістичні ланцюжки для мінімізації транспортних викидів.

Стандартизація і сертифікація в області автоматизації харчових виробництв відіграє критичну роль у забезпеченні сумісності різних систем та відповідності вимогам безпеки. Нові стандарти «Системи управління якістю. Управління якістю та безпекою харчових продуктів на основі принципів ХАССП» встановлює вимоги до автоматизованих систем моніторингу критичних контрольних точок. Міжнародні стандарти ISA-95 та ISA-88 визначають архітектуру інтеграції систем управління підприємством та виробництвом, забезпечуючи можливість побудови відкритих масштабованих рішень. Сертифікація по ISO 22000:2018 стає обов'язковою вимогою для експортерів харчової продукції, стимулюючи використання автоматизованих систем управління безпекою.

Привабливість проектів автоматизації у харчовій промисловості залишається високою. Венчурні інвестиції в стартапи, що розробляють технології для харчової промисловості, включаючи штучний інтелект, робототехніку, альтернативні білки, досягли 5,4 мільярда доларів глобально у 2025 році.

Кадрове забезпечення процесів автоматизації стає критичним чинником успіху цифрової трансформації харчових підприємств. Сучасні вимоги до фахівців включають міждисциплінарні компетенції на стику харчових

технологій, автоматизації, інформаційних технологій та управління даними. Провідні університети запускають спеціалізовані програми підготовки інженерів для цифрової харчової промисловості, які включають вивчення технологій Industry 4.0, машинного навчання, робототехніки стосовно специфіки харчових виробництв. Корпоративні університети великих компаній, таких як Nestle Academy, PepsiCo University створюють програми перепідготовки діючих співробітників для роботи з автоматизованими системами.

Особливості впровадження автоматизації у харчовій промисловості визначаються рівнем розвитку інфраструктури, доступністю кваліфікованих кадрів і близькістю до ринків збуту.

1.1.4 Пропозиції сучасних напрямів автоматизації технологічних процесів у харчовій промисловості

Аналіз сучасних тенденцій автоматизації технологічних процесів у харчовій промисловості виявив фундаментальну трансформацію галузі під впливом технологій четвертої промислової революції, що характеризується переходом від ізольованих автоматизованих систем до інтегрованих кіберфізичних виробничих екосистем, де фізичні процеси нерозривно пов'язані з цифровими моделями через промисловий інтернет речей, забезпечуючи можливість штучного інтелекту. Дослідження показало, що сучасний етап автоматизації якісно відрізняється від попередніх можливістю створення виробничих систем, що самоорганізуються, здатних адаптуватися до змін попиту, характеристик сировини та зовнішніх умов без втручання людини, при цьому забезпечуючи безпрецедентний рівень безпеки, якості та простежуваності продукції.

Лідруючі підприємства, які впровадили технології Industry 4.0 демонструють підвищення загальної ефективності обладнання до 90–95 %, зниження рівня браку до 0,5 %, скорочення часу висновку нових продуктів на

ринок у 2–3 рази, що забезпечує їм суттєві конкурентні переваги на світовому ринку.

Систематизація і класифікація сучасних технологічних рішень автоматизації дозволила виділити п'ять рівнів технологічної зрілості харчових підприємств – від базової механізації до інтелектуального виробництва, причому кожен рівень характеризується специфічним набором технологій, необхідними інвестиціями та ефектами, що досягаються. Встановлено, що харчова промисловість демонструє суттєву неоднорідність рівнів автоматизації.

Аналіз застосування технологій у різних підгалузях виявив, що найбільшого прогресу досягнуто у виробництві напоїв та кондитерських виробів завдяки високому ступеню стандартизації процесів, тоді як м'ясопереробка та хлібопечення вимагають розробки спеціалізованих рішень для роботи з біологічною сировиною змінної якості. Економічний аналіз показав, що інвестиції в комплексну автоматизацію виробництва становлять від 10 до 50 мільйонів грн. на 1000 кв. виробничих площ в залежності від рівня технологічної складності, при цьому термін окупності варіюється від 2 до 5 років із показниками ROI 150-400%.

Концептуальна модель інтегрованої системи автоматизації харчового підприємства демонструє необхідність побудови багаторівневої архітектури, що включає польовий рівень з IoT -датчиками та виконавчими механізмами, рівень управління процесами на базі SCADA та ПЛК, рівень управління виробництвом з MES, WMS та LIMS системами, рівень управління підприємством з ERP та BI інтелекту.

Модель показує критичну важливість забезпечення безшовної інтеграції між усіма рівнями задля досягнення наскрізної цифровізації та створення єдиного інформаційного простору підприємства. П'яти етапна модель впровадження технологій автоматизації, що включає оцінку готовності, планування, пілотування, масштабування та безперервне вдосконалення, забезпечує систематичний підхід до цифрової трансформації з мінімізацією ризиків та максимізацією створюваної цінності.

Ключові фактори успіху та бар'єри автоматизації харчової промисловості, – гострий дефіцит фахівців з міждисциплінарними компетенціями в області харчових технологій та цифровізації, недостатній рівень стандартизації та відсутність галузевих референсних архітектур. Значимість визначається можливістю використання одержаних результатів на формування стратегій технологічного розвитку підприємств, обґрунтування інвестицій в автоматизацію з урахуванням галузевої специфіки, розроблення програм підготовки кадрів для цифрової економіки та створення національних стандартів у галузі автоматизації харчових виробництв.

1.2 Технологія й устаткування у виробництві кондитерських виробів.

1.3 Комплект устаткування для виробництва Зефіру, продуктивність 400 кг/год. Технологічні процеси виробництва зефіру включають наступні операції:

- підготовка сировини,
- приготування агаро-цукрової суміші,
- приготування яблучно-цукрової суміші,
- приготування агаро-цукрово-паточного сиропу,
- збивання зефірної маси,
- формування маси на зефіровідсадній машині,
- сушіння,
- упакування.

Сировиною для приготування зефіру є яблучне пюре (15% сухих речовин), цукор, патока, агар, яєчний білок, смакові добавки, харчові барвники.

У збивальній машині готується суміш яблучного пюре й цукру (1:1) і потім додається яєчний білок (до 8%). Тривалість збивання 22-25 хв. Маса виходить пишною.

Паралельно готується агаро-цукрово-паточний сироп. Його отримують уварюванням 1 частини цукру, 0,5 частин патоки й 0,02 частин агару у варочному казані. Сироп уварюється до вмісту сухих речовин 80–85%.

Готовий сироп з температурою 80–90°C вводять у яблучно-цукрову суміш у збивальній машині в співвідношенні 1:1. Потім додаються смакові, ароматичні речовини, барвники.

Готова зефірна маса має вологість 28-30%, температуру 52–55°C.

Зефіровідсадна машина формує у лотки окремі половинки зефіру, потім лотки розміщуються на стелажні возики і скеровуються у камеру для желеутворення та сушіння протягом 8–10 годин (у перші 3–4 години температура в камері становить 20–25°C, потім температура підвищують до 33–36°C).

Замість сушіння можна робити вистойку зефіру в приміщенні цеху при температурі 20–30°C та примусовій вентиляції на протязі 24 годин.

Після желе утворення, сушіння або вистойки половинки зефіру мають вологість 20–23%, лотки з половинками зефіру посипаються цукровою пудрою, а потім половинки вручну склеюються плоскими поверхнями. Лотки, що звільнилися, надходять назад до зефіровідсадної машини. Зефір після склейки вистоюється на решітчастих лотках в умовах цеху при температурі 19–20°C на протязі 2–4 годин.

Готовий зефір, що має вологість 17–20%, подають на пакування.

Таблиця 1.3– Комплект устаткування для виробництва Зефіру

Устаткування	Кіл-ть, шт.	Потужність уст. (кВт.)	Додаткові характеристики
Паровий варочний казан	1	1,0	Витрата пари (0,6 МПа) 100 кг/година V = 150 л.
Насос шестеренний	1	3,8	
Реактор варильний	1	1,5	Робочий тиск пари в сорочці 0,25 МПа
Насос плунжерний	1	0,75	
Казан гріючий (змієвиковий)	1		Витрата пари (0,6 МПа) 175 кг/година
Зефірозбивальна машина	2	5,5 x 2	V = 340 л.
<u>Зефіровідсадна машина А2-ШОЗ</u>	1	2,2	до 400 кг/година 5800 x 1026 x 1920
Комплекти лотків	1920		1390 x 410 x 55 (дерево, листяне)
Механізм очищення лотків	1	1,0	
Подрібнювач малогабаритний	1	3,0	100 кг/година цукрової пудри

Таблиця 1.4– Технічні характеристики лінії :

Продуктивність,	кг/година	400
	кг/змінa	3 200
Установлена потужність, кВт		35
- 3 урахуванням сушильних камер, кВт		170
Витрата пари (0,6 МПа), кг/година		500
Витрата гарячої води (до 70°C), л/год.		100
Необхідна виробнича площа, м ² (без врахування приміщень : складських, для зберігання сировини, ділянки упакування та ін.)		
- ділянка виробництва зефірної маси й відсадження половинок зефіру		270
- ділянка сушіння зефіру		300
Кількість обслуговуючого персоналу, чел.		22

У доповненні до вищевказаного устаткування в межах цеху діє багатофункціональний комплекс для глазурування зефіру, а також певний набір

машин, які дозволяють виготовляти саму глазур різного складу, наприклад з какао-порошку.

Основною машиною у виготовленні глазури є турбоконшмашина (аналог - "Макінтаєр") - універсальна установка, що дозволяє здійснювати кілька операцій: дроблення, здрібнювання, змішування, вальцювання, і коншування.

1.4 Комплект устаткування для глазурування зефіру шоколадною глазур'ю

Комплект устаткування для глазурування зефіру шоколадною глазур'ю продуктивність 100кг/год. (по готовому продукту)

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики

Устаткування	Кіл-ть, шт.	Потужність уст. (кВт.)	Додаткові характеристики
Машина глазуровочна	1	6,0	Ширина стрічки 250 мм. $V = 1$ м/хв.
Тунель охолодний	1	3,0	Холодопродуктивність. - 2,2 кВт
Машина, що темперує МТ-1	1	2,5	$V_{\text{робочий.}} = 60$ л.

Таблиця 1.6– Технічні характеристики лінії :

Встановлена потужність, кВт	16,6
Необхідна виробнича площа, м ²	74
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	3

Додаткове устаткування комплекту для глазурування зефіру шоколадною глазур'ю:

- Парогенератор
- Прийомні ємності (н/с)

- Ємності для замочування агару
- Дозатори сиропу, патоки
- Естакада для 3-х рівневого розташування устаткування
- Підйомник сировини
- Комплект трубопроводів з арматурами
- Вентилятори витяжні
- Устаткування для сушильних камер
- Піддони (для сушильних камер)
- Решета для вистойки зефіру
- Технологічні столи

1.5 Сушильне кондитерське устаткування

Проаналізуємо термодинамічні та кінетичні закономірності інфрачервоного сушіння харчових продуктів.

На сучасному етапі розвитку промислового сектору найвища актуальність та інноваційна перспективність належать сушильному устаткуванню, що реалізує зневоднення сировини за допомогою теплового інфрачервоного (ІЧ) випромінювання.

Емісія інфрачервоного спектра твердими тілами зумовлена енергетичними переходами та збудженням молекулярно-атомних структур капілярно-пористих колоїдних матеріалів внаслідок їхнього теплового руху. Процес поглинання ІЧ-променів об'єктом опромінення супроводжується трансформацією енергії випромінювання у кінетичну енергію молекул води, що призводить до локального інтенсивного нагрівання вологовмісної матриці.

Перенесення теплової енергії підпорядковується законам термодинаміки і спрямоване від макросистем із вищим тепловим потенціалом (джерела випромінювання) до об'єктів із меншим потенціалом (висушуваний матеріал).

Для харчових продуктів гранична глибина проникнення електромагнітних хвиль ІЧ-діапазону становить до 30мм. Попри те, що на таку глибину проникає незначна частка теплової енергії, температурний градієнт у

шарах на глибині 6–7мм від геометричної поверхні матеріалу зростає значно інтенсивніше, ніж за традиційного конвективного підведення теплоти.

Технологічний процес інфрачервоного зневоднення харчової сировини базується на принципі селективного поглинання:

- Електромагнітні ІЧ-хвилі певної довжини (переважно коротко- та середньохвильового діапазону) поглинаються вільною та зв'язаною вологою продукту.
- Суха речовина (скелет або тканина продукту), а також конструкційні матеріали сушильної камери мають низький коефіцієнт поглинання завдяки високій відбивній здатності.

Ця селективність дозволяє інтенсифікувати десорбцію та видалення вологи за низьких температурних режимів (40–60°С). Низькотемпературний режим мінімізує термічну деструкцію термолабільних сполук, забезпечуючи максимальне збереження вітамінів, комплексів біологічно активних речовин, а також вихідних органолептичних показників (кольору, дегустаційного смаку та аромату) готової продукції.

Можлива область застосування інфрачервоного устаткування для сушіння в харчовій промисловості так само велика. Інфрачервоне устаткування застосовується для сушіння овочів і фруктів, м'ясної й рибної сировини; інфрачервоне устаткування може застосовуватися для сушіння лікарської сировини й рослин; інфрачервоне сушильне устаткування широко застосовується для сушіння й виробництва харчових напівфабрикатів, закусок і готових блюд, а також продуктів швидкого готування. Варто відзначити, що широко це устаткування застосовується й для сушіння нехарчових продуктів.

Застосування інфрачервоного (ІЧ) випромінювання у процесах дегідратації (сушіння) забезпечує високий рівень збереження корисних компонентів, – концентрація вітамінів та інших біологічно активних речовин у готовому продукті становить 80–90\% від вихідного вмісту в сировині. Характерною рисою ІЧ-зневоднених матеріалів є висока гідратаційна здатність. При короткотривалій експозиції у водному середовищі, 5–15хв. дегідратований

продукт реконструює первинні органолептичні, фізичні та хімічні властивості. Регідратований продукт є ідентичним до свіжої сировини та придатним як для безпосереднього споживання, так і для подальшої кулінарної чи промислової термообробки.

У порівнянні з традиційними методами сушіння, такими як конвективні та кондуктивні, плодоовочева сировина після ІЧ-обробки та наступного відновлення демонструє смакові якості, що є максимально наближеними до нативних. Окрім цього, дисперсні системи (порошки), отримані методом ІЧ-сушіння, характеризуються вираженими протизапальними, детоксикаційними та антиоксидантними властивостями.

Енергетичні параметри ІЧ-сушіння дозволяють отримувати широкий спектр харчових концентратів швидкого приготування (перші, другі та десертні страви, закуски, каші швидкого приготування, крупи, а також плодоовочеві порошки). Отримані напівфабрикати позиціонуються як екологічно чисті продукти, оскільки технологія виключає застосування хімічних консервантів, а сировина не зазнає деструктивного впливу високочастотних електромагнітних полів. Випромінювання ІЧ-діапазону, що генерується сушильним устаткуванням, є повністю екологічно безпечним для персоналу та навколишнього середовища. Отримані за допомогою ІЧ-обробки порошки та продукти є високофункціональними інгредієнтами для галузей харчової індустрії:

- Хлібопекарська та кондитерська промисловість, як натуральні структуроутворювачі, барвники та смакові добавки.
- Молочна промисловість, для розширення асортименту йогуртів, сирів та десертів зі специфічними органолептичними профілями.
- Виробництво дитячого харчування, як нутрієнтні компоненти сухих сумішей.

ІЧ-сушильне устаткування забезпечує мікробіологічну стабільність готової продукції завдяки ефективній інактивації мікрофлори під дією спрямованого теплового потоку. Процес сушіння супроводжується значним

зменшенням масо-габаритних характеристик, – зменшення об'єму: у 2–5 рази, зменшення маси у 5–10 разів, залежно від стану та початкової вологості сировини.

Таблиця 1.7 – Зберігання ІЧ-сушеної харчової продукції

Тип тари	Термін зберігання	Втрати вітамінної активності
Неспеціалізована тара	До 1 року	5–15%
Герметична тара	До 2 років	Мінімальні (стабільний хімічний склад)

Енергетична та конструктивна ефективність устаткування. На сучасному етапі розвитку техніки ІЧ-сушильні комплекси є найбільш термодинамічно ефективними серед промислових систем зневоднення. Це зумовлено високим коефіцієнтом корисної дії передачі тепла радіаційним способом безпосередньо в об'єм матеріалу. Даний тип обладнання є єдиним класом хвильових сушарок, що мають високу паливну диверсифікацію. Хвильове випромінювання та роботу випромінювачів (панелей) можна забезпечити шляхом конверсії різних видів енергії:

- Електричної енергії (електричні ТЕНи, лампи);
- Енергії згоряння природного газу (газові інфрачервоні пальники);
- Рідкого палива.

Крім усього перерахованого воно є універсальним та дозволяє переробляти будь-які рослинні й тваринні продукти з одержанням швидко відновлюваних сухих продуктів. Сушильне устаткування, має наступні переваги:

- найнижче питоме енергоспоживання на 1 кг випаруваної вологи, менш 1 кВт.год/кг (у два рази менше будь-яких сушильних установок);

- сушіння продуктів виробляється при низькій температурі 35–60 градусів Цельсія;
- сушіння продуктів виробляється з високою швидкістю – 30...200 хв.;
- простота й надійність сушильних установок, низька ціна й висока окупність.

Таблиця 1.8– Типи та особливості сушіння харчових продуктів

Вид сушіння	Принцип технології	Якість продукту	Енерговитрати на випар 1 кг вологи, кВт год/кг	Ціни на устаткування в млн. руб	Вартість випару 1 кг води в грн.
Інфрачервоне газове	Передача тепла ІЧ-променями	Якість продукту максимально близька якості сублімаційного сушіння. Зберігається до 90% вихідних властивостей продукту.	0,9-1,0	4,5-8 при продуктивності 400-800 кг/год	0,1-0,3
Сублімаційне	Видалення вологи у два етапи – сублімація льоду із замороженого продукту й теплова досушка у вакуумі	Зберігається форма, колір, органолептичні властивості при мінімальних втратах корисних речовин, прекрасно відновлюється	2,7-3,00	10-15 при продуктивності 300-400 кг/год випаровування вологи	30
СВЧ-Сушіння	Генератори тепла, диполі води, що втримується продукті, що міститься в перспективне надвисокочастотне електромагніт. поле	Рівномірне нагрівання, практично не залежить від теплопровідності сушильного матеріалу. Найбільш перспективне комбіноване сушіння - конвективне підсушування й СВЧ-Досушка. Специф. впливу СВЧ-Поля на продукт не виявлене	1,6-1,8	3- 4 при продуктивності 300-400 кг/год випаруваної вологи при використанні комбінованого-ний сушіння	1-2
Конвективне	Передача тепла продукту від сушильного агента (нагріте повітря або паро-газова суміш)	Зниження теплопровідності продукту наприкінці сушіння значно подовжує процес, погіршуючи якість готового продукту. Домогтися стабільної якості можна за рахунок правильної нарізки, бланшування. Конвективним способом роблять 90% сушених продуктів	1,8-3,0	3-4 при продуктивності 500-800 кг/год випаровування вологи	1,5-3

Продовження таблиці 1.7						
Кондуктивне	Передача тепла продукту безпосередньо від поверхні, що гріє	Стабільна, задовольняюча вимогам споживача якість при сушінні білкових гідролізатів (утримуючих згорнутий білок), соусів з високим змістом крохмалю, суспензій і т.д. Продукти, що містять цукор, і термолабільні продукти (утримуючі свіжий білок) цим способом не сушать.	1,6-1,8	1,2-1,5 при продуктивності 150-250 кг/год випаруваної вологи	1-2	

1.6 Конвеєрна сушарка безперервної дії Торнадо XXI–500 / 1000



Рисунок 1.3 – Конвеєрна сушарка безперервної дії Торнадо XXI–500 / 1000

Інфрачервона конвеєрна сушарка «Торнадо XXI» – це високопродуктивна промислова установка неперервної дії, призначена для рівномірного зневоднення сипких, листових та пастоподібних матеріалів (овочі, фрукти, трави, макаронні вироби). Вона поєднує інфрачервоний нагрів з активною конвекцією.

Конструкція, – п'ять конвеєрних стрічок із нержавіючої сітки, швидкість кожної з яких регулюється автономно.

Енергоефективність енергоспоживання становить 1 кВт·год на 1 кг випаруваної вологи, що в 1,5–3 рази економніше за класичні аналоги.

Унікальна система вентиляції, – замкнута U-подібна система продувки, що забезпечує автономний вихід вологи назовні без зміни мікроклімату в приміщенні цеху.

Модельний ряд та продуктивність.

Залежно від ширини стрічки та типу нагріву (електричний або газовий) випускають такі основні модифікації:

- «Торнадо XXI-500»: продуктивність по випаровуванню — до 500 кг/год.
- «Торнадо XXI-1000»: продуктивність по випаровуванню — до 1000 кг/год (з габаритами лінії близько $9,5 \times 2,3 \times 3,7$ м).

В інфрачервоній конвеєрній сушарці неперервної дії «Торнадо XXI»-500/1000 конструктивно передбачено п'ять конвеєрних стрічок із нержавіючих сіток, котрі є автономно регульовані по швидкостях. Під час роботи установки товщина шарів продуктів, котрі підлягають сушінню, регульована автоматично.

Система вентиляції під час роботи здійснює автономний приток повітря в зону нагріву і сушіння, а також вивід водяних парів за межі цехового приміщення, завдяки цьому умови усередині приміщення є стабільними (аналоги обладнання здійснюють забір повітря прямо із приміщення).

Енергоспоживання інфрачервоної сушарки Торнадо XXI –500/1000 становить 1кВт·год на випаровування 1кг. вологи, в інших аналогах обладнання цей показник складає 1,7...3,5 кВт·год/кг).

Сушарка виконує завантаження продукту з бункера й розподіл його на сітку в автоматичному режимі. Сушарка Торнадо XXI– 500/1000 універсальна для всіх продуктів.

1.7 Устаткування для виробництва пастило - мармеладних виробів

Таблиця 1.8 – Перелік устаткування для виробництва пастило-мармеладних виробів

Збивальна машина періодичної дії	Ш 24-ШЗС	Зефір - 40-80 кг/год Пастила 60-120кг/год
Устаткування для формування виробів		
Машина зефіровідсадна	Ш 24-ШЗМ	300 кг/год
Агрегат безлоткового розливання, вистойки й різання пастили	1644К	124...248 кг/год
Агрегат заливання мармеладу у форми	Ш 24-ШМА	130 кг/год
Агрегат виробництва формового мармеладу	Ш 24-ШМЛ	желейний - 1500..2500 кг/см формовий - 1500..1700 кг/см
Напівавтомат виливки пластового мармеладу	6235К-18	1350 кг/год
Машина для різання желейного мармеладу	1466К	Лимон - апельсин. часточки 210 кг/год 3-х шаровий мармелад - 420 кг/год
Пристрій для опудрювання зефіру	7956К-18	
Машина опудрювання (зефіру, мармеладу та ін.)	Ш 24-ШОП	
Потокові лінії пастило - мармеладного виробництва		
Комплект устаткування для виробництва пластового мармеладу	6235К	1350 кг/год
Комплект устаткування для виробництва зефіру	7956К	800 кг/год

1.7.1 Машина збивальна для зефірної маси періодичної дії Ш24 - ШЗС

Призначена для готування пастильної або зефірної маси шляхом збивання цукрово-яблучної суміші й змішування збитої маси з агаровим сиропом, барвником, есенцією, і іншими добавками



Рисунок 1.1 – Машина збивальна зефірної маси періодичної дії Ш24–ШЗС

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики

Продуктивність	кг/год	
Для зефіру		40...80
Для пастили		60...120
Діаметр мішалки	мм	430
Установлена потужність	кВт	2,2
Габаритні розміри	мм	1700 * 650 * 1200
Маса	кг	250

1.7.2 Машина зефіровідсадна Ш24 - ШЗМ

Призначена для автоматичного відсадження в дерев'яні лотки половинок зефіру у формі “черепашки”.



Рисунок 1.2 – Машина зефіровідсадна Ш24 - ШЗМ

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики

Продуктивність теоретична	кг/год (кг/см)	300 (2250)
Кількість зефіру в одному ряді	шт	6
Кількість рядів зефіру по довжині лотка	шт	14
Кількість відсаджень у мін. (4 лотки)		60
Відстань між осями попер. рядів	мм	58
Швидкість конвеєра	м/хв	4,148
Межі регулювання об'єму відсадження	см ³	30...62
Установлена потужність	кВт	4,1
Габаритні розміри лотка	мм	1016 * 400 * 60
Маса	кг	600

1.7.3 Лінія безлоткового розливання, вистойки і різання пастили 1644К

Призначена для безлоткового розливання, вистойки й різання пастили із застосуванням холодильної установки і установки інфрачервоного випромінювання для прискореної вистойки.



Рисунок 1.3 – Лінія безлункового розливання, вистойки і різання пастили 1644к

Таблиця 1.11 – Технічні характеристики

Продуктивність	кг/год	124.....248
Розмір бруска пастили	мм	71 * 24 * 20
Об'єм завантажувального бункера	кг	25
Швидкість руху транспортерної лінії	м/хв	0,355...0,71
Температура холодного повітря для охолодження й желеювання	°C	+10 ... + 12
<i>Витрата холодного повітря</i>	м ³ /год	1250
Температура теплого повітря в зоні конвекції	°C	+32...+35
Витрата теплого повітря	м ³ /год	1650
Витрата води	м ³ /год	0,5...1...1
Тривалість радіації інфрачервоними променями	хвилин	3...6...6
Споживана потужність	кВт	10
Габаритні розміри	мм	41060 * 980 * 2614
Маса	кг	9330

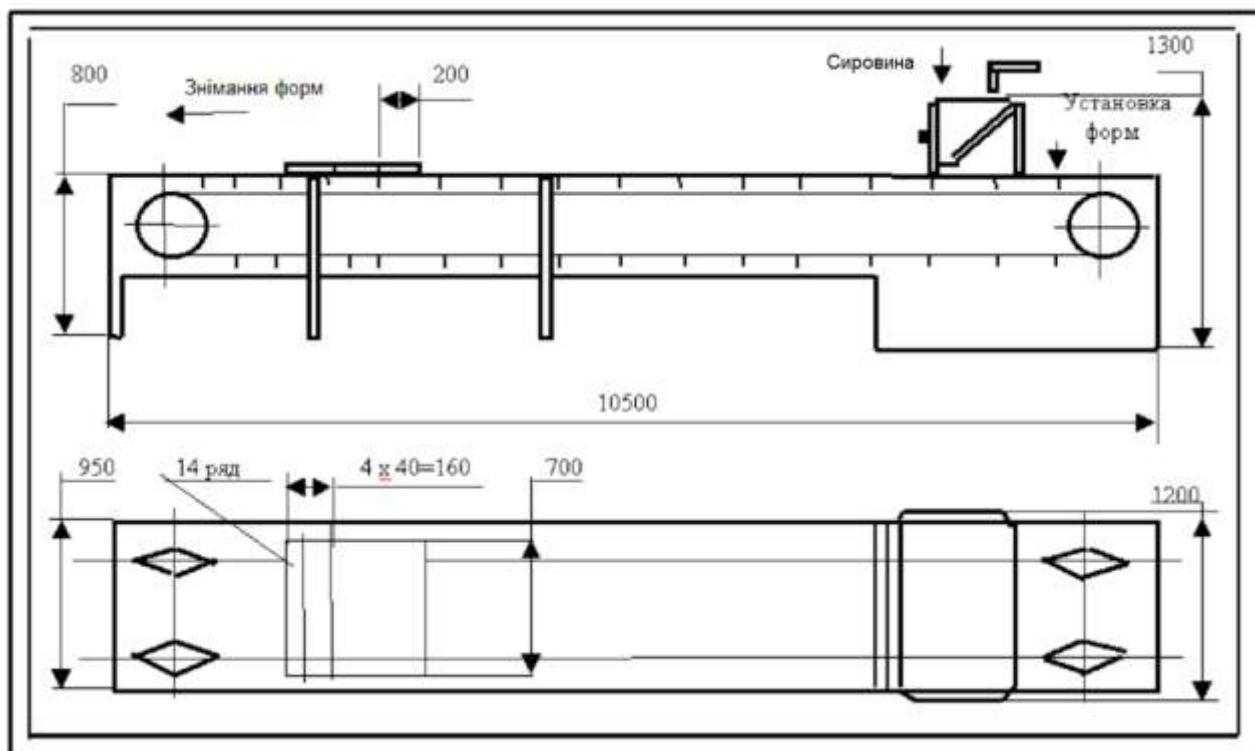


Рисунок 1.4 – Лінія безлоткового розливання, вистойки і різання пастили 1644К

Таблиця 1.12 – Технічні характеристики

Продуктивність технічна	кг/год	130
Швидкість конвеєра	м/хв	0,3
Кількість відливів у хв.		7,5
Тривалість вистойки	хв.	30
Кількість цукерок у формі	шт	70
Маса однієї цукерки	г	25
Кількість форм на конвеєрі	шт	45
Розміри форми	мм	700 * 198 * 25
Місткість бункера, що підігрівається	л	60
Установлена потужність	кВт	2,2
Маса	кг	1350

1.7.4 Агрегат виробництва формового мармеладу Ш24 - ШМЛ

Призначений для виробництва формового желейного і яблучного мармеладу механізованим способом.

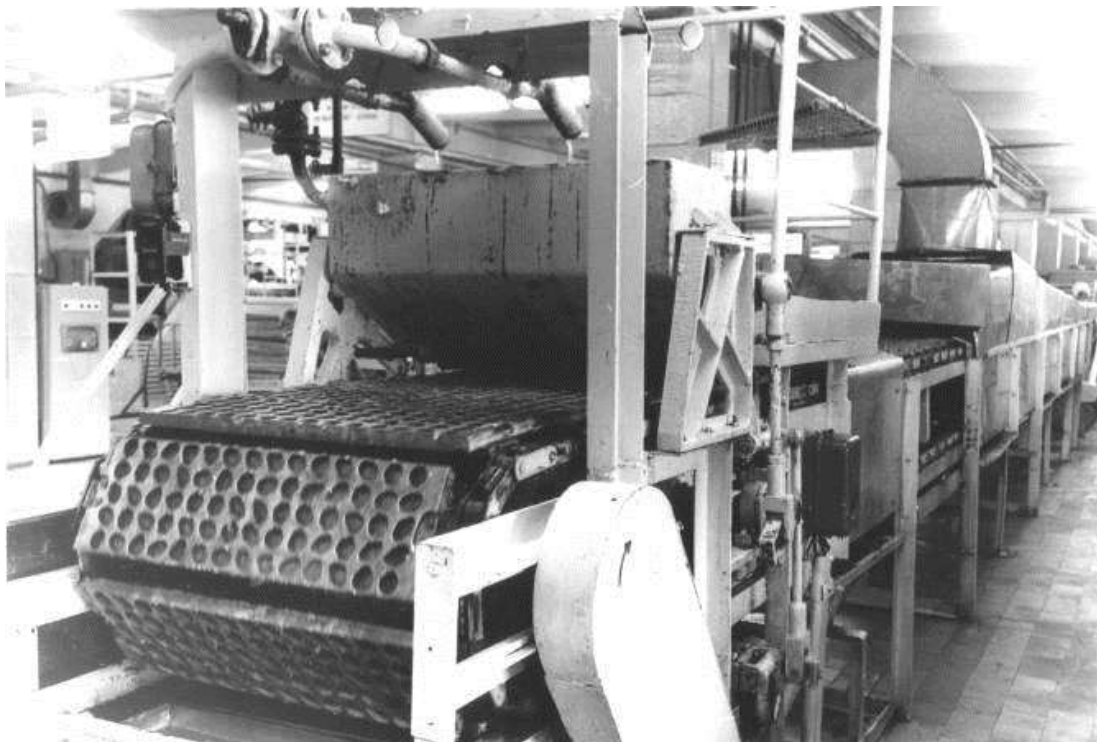


Рисунок 1.5 – Агрегат виробництва формового мармеладу Ш24 - ШМЛ

Таблиця 1. 13 – Технічні характеристики

Продуктивність	кг/см	
При виробництві желейного мармеладу		1500...2500
При виробництві формового мармеладу		1500...1700
Тривалість вистойки	хв.	15...30...30
Установлена потужність	кВт	6
Габаритні розміри	мм	17500 * 1700 * 2400
Маса	кг	7300

1.7.5 Машина для різання желейного мармеладу 1466К

Призначена для різання батонів на лимонно – апельсинові часточки й шари тришарового мармеладу

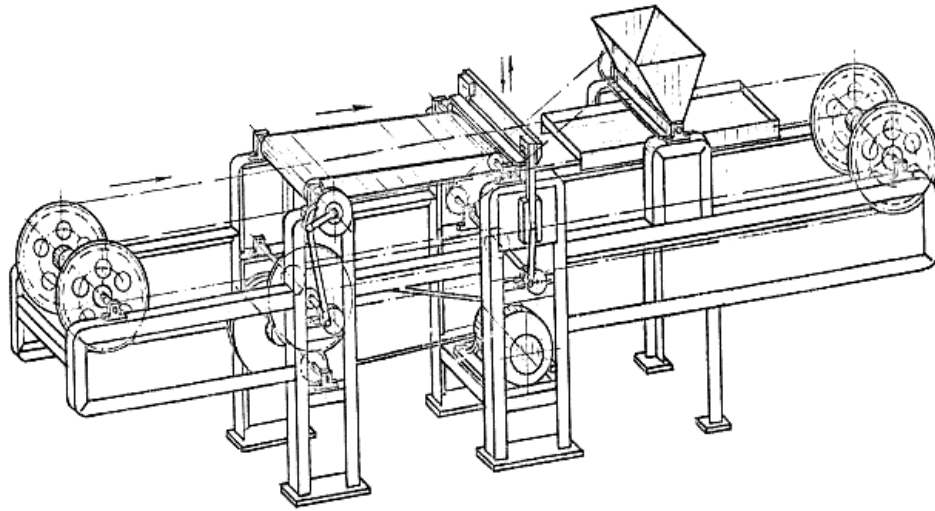


Рисунок 1.6 – Машина для різання желейного мармеладу 1466К

Таблиця 1.14 – Технічні характеристики

Продуктивність		
Лимонно – апельсинових часточок	кг/год	210
Тришарового мармеладу	кг/год	420
Ширина шару	мм	300
Число ходів ножа у хвилину		60
Установлена потужність	кВт	0,6
Габаритні розміри	мм	3330 * 700 * 1080
Маса	кг	410

1.7.6 Пристрій для опудрювання зефіру 7956К-18

Призначений для опудрювання зефіру.

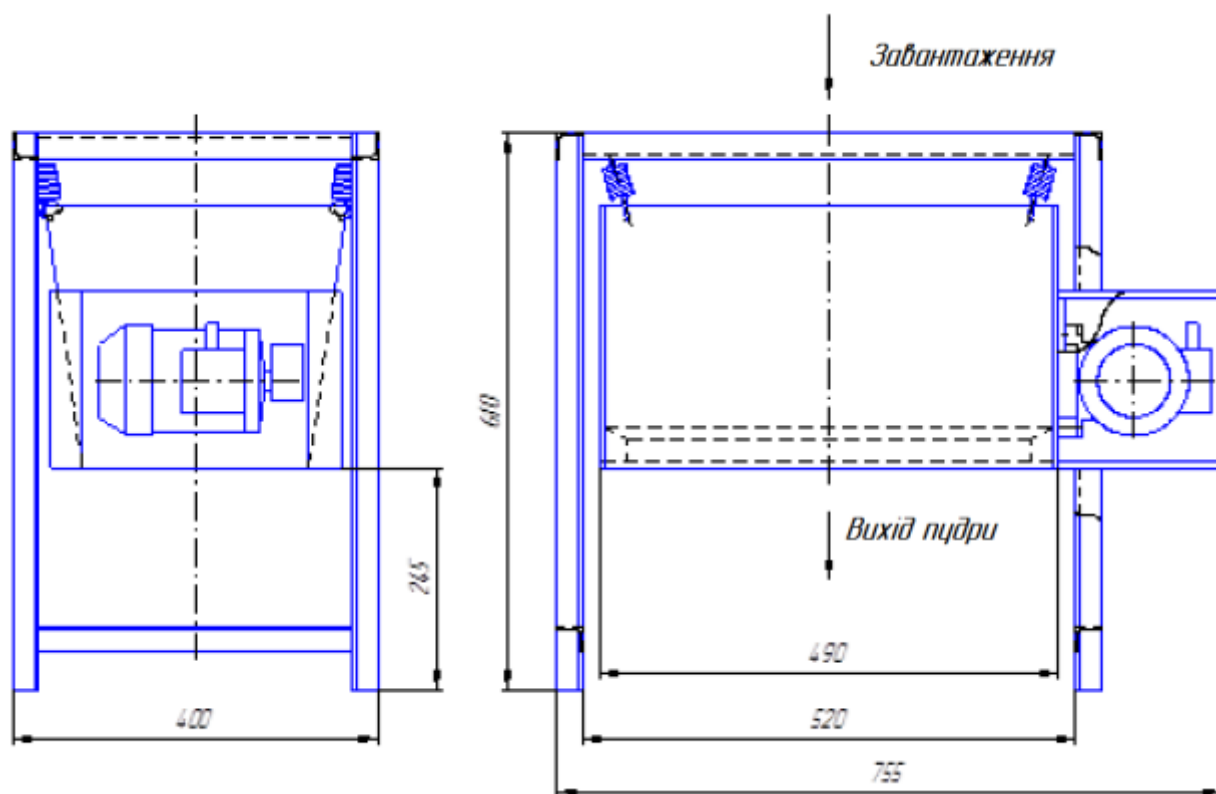


Рисунок 1. 7 – Пристрій для опудрювання зефіру 7956К-18

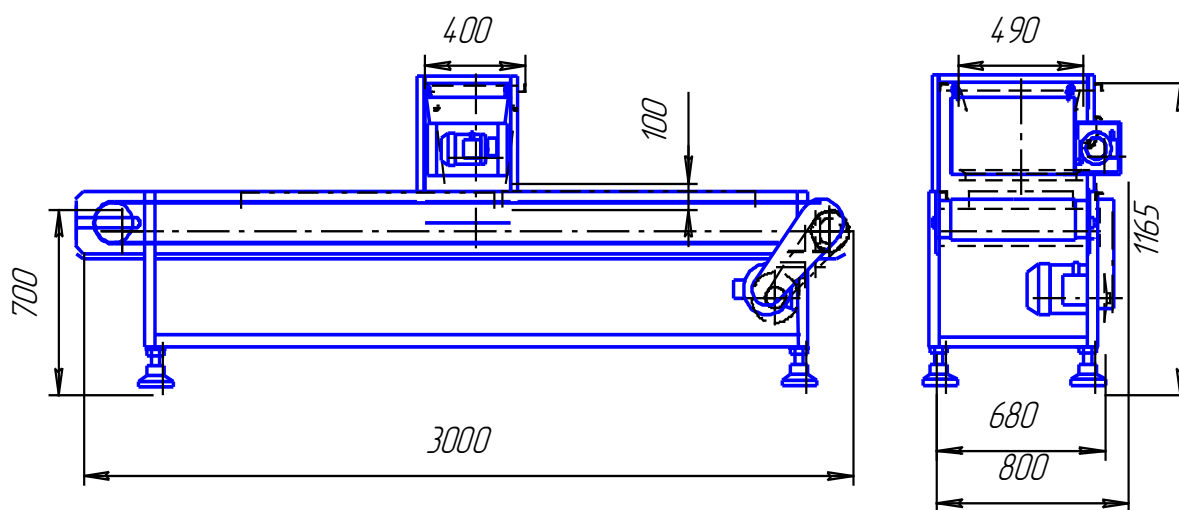


Рисунок 1.8 – Пристрій для опудрювання зефіру 7956К-20М

Таблиця 1.15 – Технічні характеристики

Продуктивність, теоретична	кг/год	300
Ширина стрічки	мм	500
Швидкість конвеєра	м/мін	4
Ширина лотка, не більше	мм	500
Висота лотка	мм	60
Установлена потужність	кВт	0,75
Маса	кг	350

1.7.7 Машина глазурувальна 2047КМ

Призначена для покриття корпусів цукерок зефіру помадною глазур'ю. Глазурування здійснюється зануренням, можливе використання для глазурування карамельної глазури.

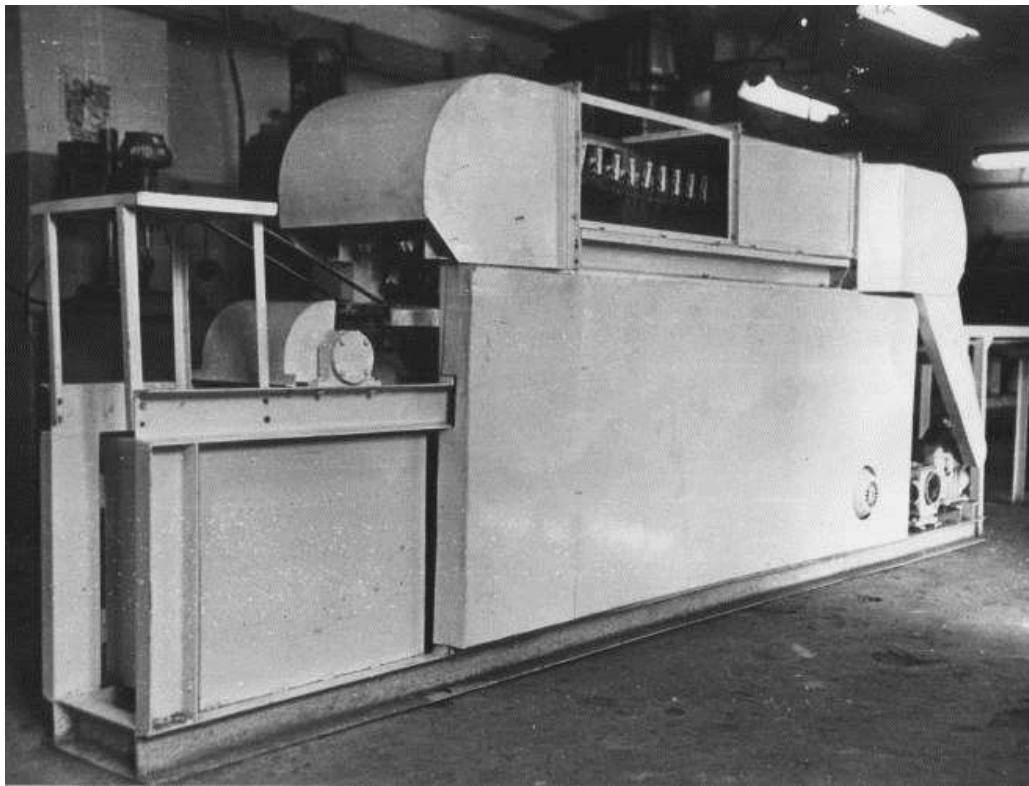


Рисунок 1. 9 – Машина глазурувальна 2047КМ

Таблиця 1.16 – Технічні характеристики

Продуктивність	кг/година	65
Установлена потужність	кВт	6,5
Габаритні розміри	мм	3500 * 600 * 1500
Маса	кг	416

1.7.8 Станція автоматизована приготування цукрово-патокових сиропів Ш24-ШСА.

Призначена для виробництва цукрово-патокових і цукрово-паточно-інвертних сиропів

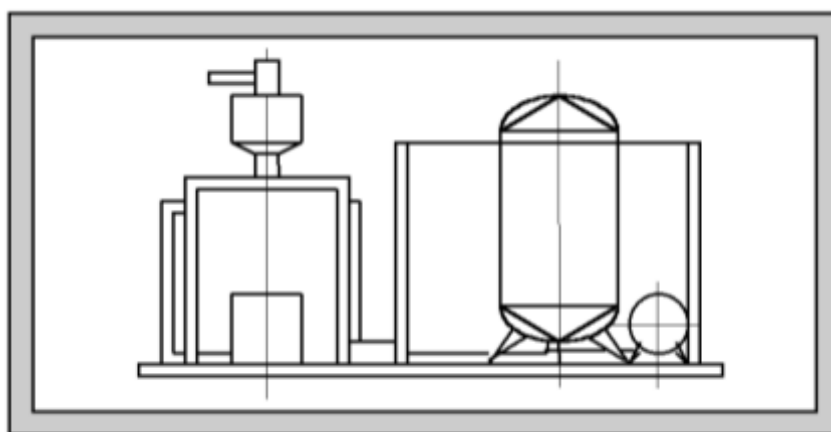


Рисунок 1.10 – Станція приготування цукрово-патокових сиропів Ш24-ШСА.

Таблиця 1. 17 – Технічні характеристики

Продуктивність	кг/год	2000
Витрата пари	кг/т сиропу	18
Тиск пари у варильній колонці	кПа (кг/см ²)	
Тиск води	кПа (кг/см ²)	294(3)
Температура гарячої води	°С	70
Займана площа	м ²	14
Маса	кг	4000

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Технологія виготовлення зефіру

2.1.1 Маси для пастили і зефіру

Технологічні закономірності структуроутворення пастильних і зефірних мас та фізико-хімічні основи формування рецептурних сумішей. Пастильна маса є дисперсною системою (піною), яку отримують шляхом механічного збивання фруктово-ягідного пюре з сахарозою (цукром) та яєчним альбуміном (білком). Для стабілізації сформованої піноподібної структури та запобігання її синерезису до збитої системи додають гарячий цукрово-агаро-патоковий сироп або мармеладну масу (як желеутворювальний компонент). На завершальному етапі гомогенізації вносять органолептичні модифікатори, – ароматизатори, есенції, харчові барвники, органічні кислоти, а також додаткові смакові компоненти відповідно до уніфікованої рецептури конкретного сорту виробів.

Залежно від природи використовуваного стабілізатора структури пастильну масу класифікують на такі типи:

- Клеєна пастильна маса — стабілізована введенням гарячого агарового сиропу.
- Заварна пастильна маса — стабілізована шляхом додавання мармеладної маси.
- Безклеєва пастильна маса — специфічна система, у якій термодинамічна стійкість піни забезпечується без використання гарячих сиропів, виключно завдяки високій швидкості желеутворення натурального яблучного пюре з підвищеним вмістом високоетерифікованого пектину.

В індустріальних масштабах заварна, безклеєва та белевська пастила наразі виробляються в обмежених обсягах.

Вплив температурних режимів на кінетику збивання. Екзотермічні умови процесу збивання яблучно-цукрової суміші суттєво впливають на якісні характеристики кінцевого продукту. Термічний вплив, підвищення

температури під час механічного оброблення маси призводить до деградації структурно-механічних властивостей пастили та зефіру. Це зумовлено механічним руйнуванням пектино-цукрового желе (студня), що передчасно формується в об'ємі системи.

З огляду на це, стандартний процес збивання реалізують за ізотермічних кімнатних умов. Винятком є високоінтенсивне збивання зефірної маси під надлишковим тиском у спеціалізованих агрегатах неперервної дії, внаслідок високої кінетики процесу та короткого часу експозиції температура системи досягає 50–52° С без ризику руйнування колоїдної структури.

Порівняльний аналіз макроструктури зефірних і пастильних мас. Рецептурна та структурна детермінація маси для зефіру (згідно зі стандартами ДСТУ/ГОСТ – пастила відливна) має суттєві відмінності від класичної пастильної маси.

Таблиця 2.1 – Фізико-хімічні та рецептурні параметри пастильної маси

Фізико-хімічні та рецептурні параметри	Пастильна маса	Зефірна маса (відливна пастила)
Вміст яблучного пюре	Базовий (високий)	Зменшений
Масова частка агару	Базова	Збільшена
Концентрація сухих речовин у сиропі	78–79%	84–85%
Частка яєчного білка	Базова	Збільшена (орієнтовно у 3 рази)
Тривалість збивання	Стандартна	Пролонгована (до досягнення мінімальної щільності)

Завдяки оптимізованому співвідношенню гідроколоїдів та інтенсифікації процесу насичення газом, зефірна маса характеризується вищою динамічною в'язкістю та вираженою пористістю, пишністю. Під час формування методом

відливання вона стабільно зберігає задані геометричні параметри, має високу тиксотропну стійкість і не розтікається по робочій поверхні.

Маса для пастили. Пастилу не виготовляють в інших країнах. В США виготовляють збивні кондитерські вироби під назвою маршмелоу.

Сировиною для приготування клеєної маси для пастили і зефіру служать яблучне пюре, цукор, патока, агар, яєчний білок і рідше інші піноутворювачі, наприклад білок обезжиреного молока. До яблучного пюре можна додавати абрикосове і інші види пюре і фруктово-ягідні припаси для приготування відповідних сортів пастили: абрикосової, мандаринової і т.д.

В якості смакових добавок приміняються також фруктово-ягідні припаси, кислоти, сухе молоко, мед. Для придання виробам відповідного кольору вводяться харчові барвники.

Яблучне пюре, призначене для приготування маси для пастили, повинно містити від 12 до 17% сухих речовин і мати хорошу студнестворюючу здатність. Застосування пюре з підвищеним складом сухих речовин дозволяє скоротити виробничий цикл. Подеколи на кондитерських фабриках для виготовлення пастили використовується ущільнене пюре з вмістом сухих речовин 15-17%. Ущільнене яблучне пюре готується з звичайної пульпи або пюре шляхом відварювання під вакуумом.

Різні партії протертого ущільненого пюре змішуються в змішувачі для отримання пюре з вираженою загущуючою здатністю. Ущільнене пюре змішують з цукром. Оптимальний вміст сухих речовин в цукрово-яблучній суміші, при якому можна отримати пишну піно подібну масу – 57-59%. Для того, щоб отримати таку рецептурну суміш при складі сухих речовин в яблучному пюре 15%, відношення яблучного пюре до маси цукру повинно бути 1:1.

Збільшення складу сухих речовин в цукрово-яблучній суміші більше 60% не повинно допускатися, щоб запобігти передчасному застиганню даної суміші до отримання піноподібної маси і певного при цьому механічного руйнування

застиглого каркасу в процесі збивання. До отриманої цукрово-яблучної суміші додається 1.9-2.0% яєчного білку.

Приготування пастильної маси проводиться в пристроях постійної дії.

Приготування пастильної маси у машинах періодичної дії має ряд недоліків, продуктивність змішувальної машини не велика – 180...200 кг/год, завантаження машини проводиться вручну, в залежності від режиму роботи можливе продукування недостатньо або надмірно збитої маси, а робота на цих машинах потребує великого досвіду від персоналу, що їх обслуговує.

Агрегат постійної дії для збивання маси для пастили конструктивно виконаний з чотирьох горизонтальних металічних циліндрів, розміщених один під другим. В середині циліндрів знаходяться вали з білами. Біла одночасно з змішуванням і збиванням забезпечують рух маси по в циліндрах.

Агрегат працює наступним чином. В воронку верхнього циліндра плунжерним насосом дозується яблучне пюре. Туди ж, з бункера через щілинний дозатор по транспортній стрічці постійно подається пісочний цукор. Змішана в першому циліндрі цукрово-яблучна суміш стікає в другий циліндр. В цьому циліндрі при допомозі малогабаритного плунжерного насоса подається білок, саме тут проходить збивання яблучно-цукрової суміші. Далі маса переходить в третій циліндр, в якому продовжується процес збивання маси. Збита маса стікає в четвертий циліндр.

Паралельно зі збиванням цукрово-яблучно-білкової суміші готують цукрово-агар-паточний сироп (клей). Сироп виготовляють за допомогою виварювання 100 одиниць цукру, 50 патоки і 2.8 одиниці агару в змієподібних апаратах постійної дії, або в вакуум-апаратах періодичної дії, або у відкритих варочних котлах. Спосіб приготування сиропу і його виварювання такий як при приготуванні сиропу для желейного мармеладу. Кінцевий склад сухих речовин 88...89,9%.

Готовий сироп з температурою 85...95°C додають за допомогою дозуючого плунжерного насоса, в четвертий циліндр. В ньому цукрово-агар-паточний сироп змішується з піноподібною масою, барвником і кислотою.

Готова маса для пастили виходить з апарату з температурою менш ніж 55°C. При приготуванні пастильної маси в постійно діючому збивальному пристрої великий вплив на якість маси має робота дозувальних пристроїв, особливо для білка і агарового сиропу. Збиту масу необхідно негайно формувати.

На підприємствах із низьким рівнем автоматизації та механізації технологічних ліній приготування пастильної маси реалізують у пастилозбивальних машинах періодичної дії. Конструктивна архітектура апарата включає:

- Дерев'яний коритоподібний корпус із кришкою та напівциліндричним (півкруглим) днищем.
- Горизонтальний робочий вал із Т-подібними лопатями, частота обертання якого становить $200...250 \text{ хв}^{-1}$ (об/хв).
- Вузол розвантаження, розташований у нижній частині корпусу, що складається з важеля та шиберної заслінки для евакуації готової суміші.

Максимальна регламентована місткість одноразового завантаження робочої камери апарата становить 100...110 кг сировини.

Кінетика та етапи процесу механічної аерації, збивання. Технологічний алгоритм періодичного збивання складається з таких послідовних етапів:

Первинне диспергування.

У робочу камеру дозують зважену порцію яблучно-цукрової суміші та вносять орієнтовно 50% від рецептурної кількості яєчного альбуміну (білку). Герметизують кришку та активують лопатевий вал. Під дією механічних сил відбувається розчинення кристалічного цукру в рідкій фазі яблучного пюре та первинне піноутворення системи.

Вторинне збивання та дегазація.

Через 8 хв від початку процесу вводять залишок яєчного білка. Наступні 8...10хв процес аерації здійснюють за відкритої кришки апарата. Це інтенсифікує насичення маси повітрям, стимулює десорбцію (вивітрювання) сірчистого аргідрату і частково води (сірчистого ангідриду використовувався

Стабілізація структури.

Після формування стійкої піноподібної матриці до неї додають гарячий цукрово-агаро-патоковий сироп у кількості 28...43% від загальної маси суміші. На фінальній стадії вводять органолептичні модифікатори (смакові компоненти, ароматизатори та барвники).

Суміш додатково вимішують протягом 3...4 хв за відкритої кришки, після чого готову пастильну масу вивантажують у підкатні металеві діжі (чаші на колесах) або проміжний накопичувальний бункер.

Фізико-хімічні показники та дефекти структури. Критерієм завершеності процесу механічної аерації є досягнення системою регламентованих реологічних та фізичних параметрів. Об'єм збитої маси має збільшитися приблизно у 2 рази порівняно з початковим об'ємом рецептурної суміші одночасно суттєвим зростанням показників динамічної в'язкості.



- Температура готової маси, – 46...50°C (забезпечує оптимальні умови для подальшого формування до початку масової кристалізації та гелеутворення);
- Густина (щільність) аерованої системи, – 500–600 кг/м³.

Технологічний процес приготування зефірної маси на великих кондитерських підприємствах здійснюється в безперервному режимі з використанням агрегату постійної дії ШЗД, що передбачає послідовне приготування рецептурної суміші та її подальше механічне нагнітання. На початковому етапі у воронку першої секції змішувача 5 із збірника 2 за допомогою плунжерного насоса-дозатора 3 подається ущільнене яблучне пюре з масовою часткою сухих речовин 15% та температурою 15–20 °С. Одночасно з цим у змішувач за допомогою стрічкового конвеєра-дозатора 4 безперервно дозується цукор-пісок у масовому співвідношенні 1:1 до яблучного пюре, де відбувається його повне розчинення. Отримана цукрово-яблучна суміш самопливом переходить із першої секції змішувача до розташованої нижче другої секції 6.

У другій секції змішувача відбувається об'єднання компонентів із цукрово-агаро-патоковим сиропом, який має температуру близько 80 °С та вміст сухих речовин 84–85%. Цей сироп безперервно транспортується в пропорції 1:1 із збірника 1, оснащеного системою водяного обігріву, за допомогою плунжерних насосів-дозаторів. Близьче до вихідного патрубку цієї ж секції змішувача через малогабаритний насос-дозатор вводиться яєчний білок, а через спеціалізований дозатор 7 надходить комплексна емульсія, що складається з есенції, барвника та харчових кислот.

Готова рецептурна суміш, яка характеризується вмістом сухих речовин на рівні 71–73% та температурою 50–53 °С, акумулюється в збірнику 8. Звідти за допомогою шестерного насоса 9 суміш нагнітається безпосередньо в збивальну камеру 10. У процесі транспортування суміші трубопроводом до неї подається стиснене повітря під тиском 400 кПа, яке попередньо проходить повне очищення від масляних аерозолів та механічних домішок. Насичення маси повітрям та її гомогенізація здійснюються в збивальній камері за рахунок обертання ротора з частотою 240–300 об/хв. Об'єм повітря, що надходить у систему, контролюється за допомогою ротаметра, тоді як робочий тиск усередині камери автоматично регулюється і реєструється манометром у межах

280–300 кПа. Готова збита зефірна маса безперервно вивантажується із збивальної камери шляхом протискування під тиском через вихідний отвір з автоматичним регулюванням зазору. Фізико-хімічні параметри кінцевого напівфабрикату на виході становлять: температура — 52–55 °С, щільність — 380–420 кг/м³, масова частка сухих речовин — 70–72%.

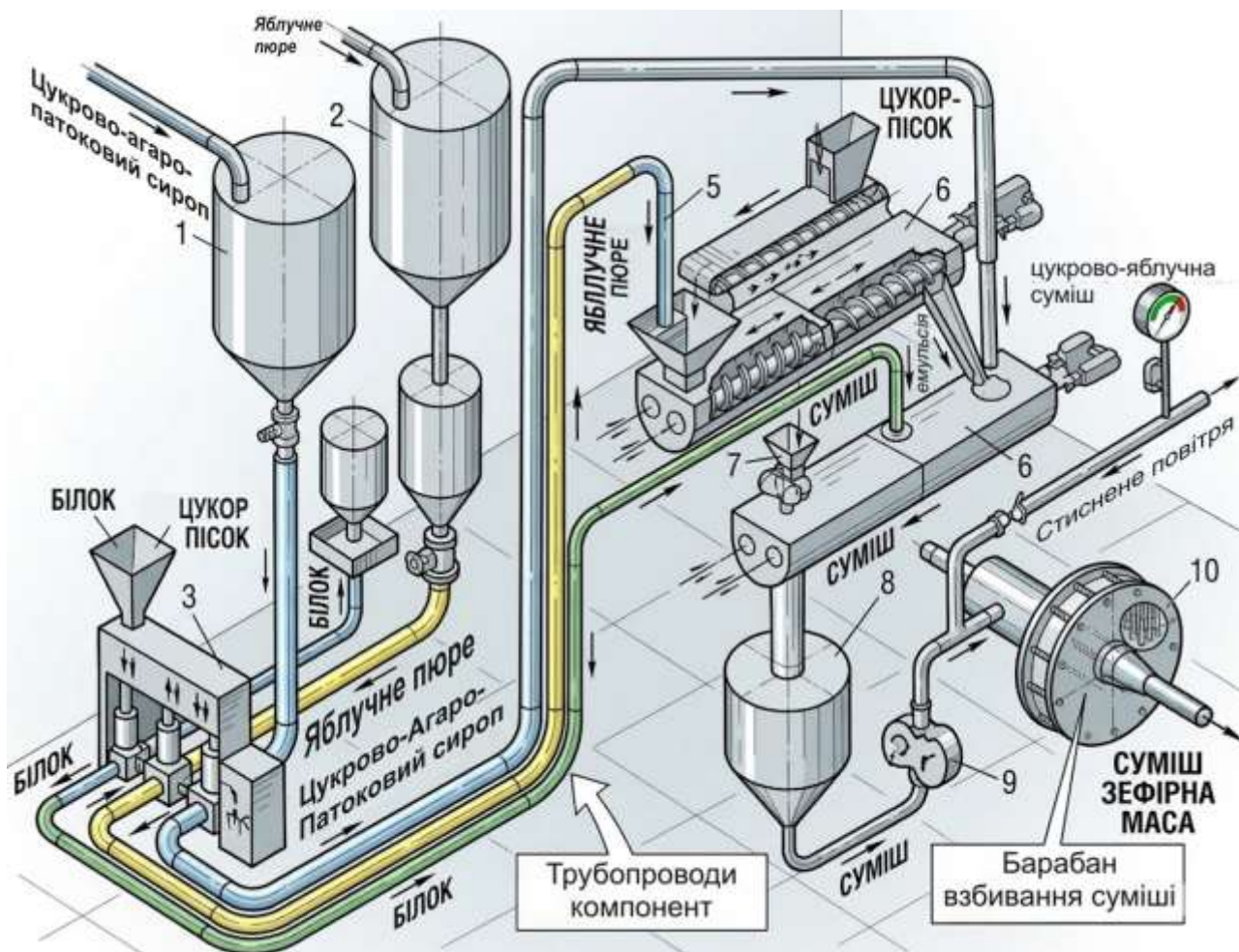


Рисунок 2.2 – Технологічна схема виготовлення зефіру

Ця схема виготовлення суттєво відрізняється від звичайної, не тільки заміною агару пектином, але і способом вводу пектину, керуванням, закріплення структуру, нормованим введенням солі-модифікатора (лактату-натрію) і кислоти. Керування процесом проводиться аналогічно, тому як і при виробництві яблучного мармеладу.

Спосіб виготовлення цього зефіру полягає в наступному. В яблучне пюре з вмістом 10% сухих речовин вноситься близько 3% яблучного пектину, ретельно розмішується і вистоюється декілька годин для набухання. Яблучне

пюре, збагачене пектином, завантажується в збивальну машину періодичної дії, додається лактат натрію в кількості, що залежить від кислотності яблучного пюре. На виробництві користуються наступною таблицею, з якої зрозуміла ця залежність.

Потім додається пісочний цукор і білок, збивання продовжується на протязі 5-8 хв, в залежності від частот обертання збивального пристрою. Одночасно готується цукрово-паточний сироп (без згущувача) з вмістом сухих речовин 84%, які додаються гарячими, до маси зефіра що збивається. Збивання продовжується ще 5 хв, додають кислоту, перемішують близько 30 с. Зберігати готову масу не можна, так як введення кислоти усуває сповільнюючу дію солі, від передчасного утворення пектино-цукрового желе. Масу після підкислювання необхідно негайно відправляти на формування (відсадку) виробів.

По якості зефірна маса, котра готується з пектином, трохи відрізняється від зефірної маси, котра готується з агаром; вона має більш дрібнопористу структуру і яскраво виражений фруктовий смак.

2.1.2 Яблучне пюре

Дослідження структурно-механічних властивостей пастильних мас свідчить про визначальний вплив рецептурних компонентів на процеси піноутворення, кінетику стабілізації та реологічні характеристики готових кондитерських виробів.

Яблучне пюре, пектин який міститься у ньому, відіграє роль головного чинника у формуванні та забезпеченні стійкості дисперсних систем завдяки високій загущуючій здатності пектинових речовин. У процесі збивання пектинові макромолекули концентруються на міжфазній поверхні розділу середовищ, адсорбуючись на тонких плівках, що оточують повітряні бульбашки. Це призводить до істотного підвищення міцності піни та зростання динамічної в'язкості системи в 1,5–2 рази, залежно від концентрації та ступеня

желейності пектину, при цьому ступінь дисперсності повітряної фази залишається відносно стабільною.

Патока додається в рецептуру пастильних виробів як ефективний антикристалізатор, що запобігає дегідратації, висиханню сахарози та маси сировини у процесі зберігання. При виготовленні пастили патоку переважно вводять у складі клейового сиропу в кількості 10–15% від загальної маси компонентів.

Встановлено, що мінімальні дозування патоки зберігають полідисперсний характер системи, тоді як збільшення її концентрації до 20% сприяє наближенню структури до монодисперсного стану, паралельно зумовлюючи підвищення загальної в'язкості напівфабрикату в 1,5 і більше рази.

Для стабілізації сформованих піноподібних структур у кондитерські маси вводять гідроколоїди-структуроутворювачі, зокрема агар, пектин, агароїд або желатин. У технології пастильних виробів дані желеутворювачі застосовують у вигляді високотемпературних цукрово-патокових сиропів із базовою масовою часткою агару близько 1,6%. Технологічні параметри сиропу варіюються залежно від виду кінцевої продукції. Для різаної пастили сироп уварюють до вмісту сухих речовин 78–79% і вводять у кількості 40% до маси збитої композиції, тоді як для відливного пастильного виробу (зефіру) вологість сиропу знижують до вмісту сухих речовин 84–85%, а його частку збільшують до 64%. Така диференціація забезпечує збільшення концентрації структуроутворювача в зефірній масі в 1,5 рази порівняно з пастильною, що гарантує високу пластичну міцність, формоутримувальну здатність напівфабрикату під час відсадки та запобігає розтіканню маси.

Регулювання температурних режимів на етапі стабілізації піноподібної структури є критичним параметром, що безпосередньо залежить від виду та концентрації гідро колоїдів (агар, пектин, агароїд, желатин), особливо в умовах інтенсивного механічного та хімічного впливу. Нижній температурний поріг обмежений точкою гелеутворення конкретної системи при заданій концентрації сухих речовин, оскільки падіння температури нижче цього рівня призводить до

передчасного желеутворення та безповоротного механічного руйнування сформованої просторової матриці піни. Водночас надмірне перевищення температури желеутворення є неприпустимим внаслідок інтенсифікації процесів кислотного гідролізу більшості гідроколоїдів у слабкокислому середовищі пастильних мас, що спричиняє деградацію їхніх молекулярних ланцюгів. Таким чином, формування піноподібної та желеподібної структур являє собою складний багатофакторний фізико-хімічний процес, який вимагає суворого збалансування термодинамічних і кінетичних параметрів усіх структуроутворювальних агентів.

Кінетика процесу піноутворення та термодинамічна стабільність пастильних мас суттєво залежать від часових параметрів механічного оброблення. Недостатня тривалість диспергування обумовлює формування грубодисперсної гетерогенної системи з низьким коефіцієнтом піноутворення та незадовільними органолептичними показниками. Пролонгація процесу механічного збивання сприяє інтенсивному нагнітання газової фази, збільшенню сумарного об'єму піни, зменшенню середнього діаметра повітряних бульбашок та підвищенню седиментаційної стійкості системи.

Проте існує чітко визначений екстремум тривалості оброблення, перевищення якого призводить до деструкції системи. Надмірне механічне напруження викликає критичне стоншення міжфазних адсорбційних плівок, зниження їхньої міцності та, як наслідок, коалесценцію повітряних бульбашок, що супроводжується синерезисом і падінням об'єму піни. Оптимальні часові інтервали не є константними і визначаються архітектурою збивального обладнання, геометрією та кутовою швидкістю обертання робочих органів, реологічними характеристиками сировини, а також температурними градієнтами робочого середовища та виробничого приміщення.

Температурні параметри відіграють подвійну роль у процесах формування структури кондитерських піноподібних мас. При механічному аналізі двокомпонентної системи, що складається з яєчного білка та цукру без додавання фруктового пюре, фіксується зростання об'єму газової фази в

температурному діапазоні 50–60 °С. Дане явище пояснюється зниженням динамічної в'язкості рідкої дисперсійної середи, що мінімізує опір механічному диспергуванню повітря. Проте термодинамічна стійкість такої піни є низькою через високу ймовірність теплової коагуляції та денатурації білкових макромолекул, що нівелює їхні поверхнево-активні властивості та руйнує сформований каркас.

У трикомпонентних пастильних масах температурне регулювання в'язкості безпосередньо корелює з кінетикою збивання. Підвищення температури системи від 40 до 50 °С інтенсифікує процес і скорочує тривалість досягнення заданої щільності внаслідок деструктуризації міжмолекулярних зв'язків та зниження внутрішнього тертя. Проте перетин температурного порога 65 °С викликає зворотний ефект: тривалість збивання, необхідна для гомогенізації системи, суттєво зростає, що обумовлено початковими стадіями денатурації білкових піноутворювачів. Вплив температури на фізико-хімічні константи кінцевої маси має нелінійний характер.

Щільність напівфабрикату незначно зростає (на коефіцієнт 0,01–0,02) при нагріванні від 40 до 60 °С, після чого в інтервалі 70–75 °С спостерігається її повторне зниження. При цьому низькотемпературні режими збивання забезпечують вищу дисперсність повітряної фази, тоді як термічний вплив понад оптимальні межі стимулює укрупнення повітряних включень, деградацію механічної міцності просторової матриці та зниження стійкості готових кондитерських виробів до деформації.

Велике значення має надлишковий тиск при збиванні зефірної маси неперервним способом. Більш міцну і мілкодисперсну структуру мають зефірна маса і зефір приготівані при надлишковому тиску близько 300 кПа.

2.1.3 Зефір

Реологічні характеристики збитої зефірної маси, зокрема високе граничне напруження зсуву та значна динамічна в'язкість, зумовлюють її здатність стабільно утримувати задану геометрію на відміну від пастильних

напівфабрикатів. Дана пластично-в'язка консистенція дозволяє реалізувати процес формування виробів методом пневмомеханічної або механічної відсадки. Фізико-механічні особливості структури, а саме підвищене граничне напруження зсуву та знижена об'ємна щільність зефірної маси, забезпечуються рецептурними факторами: триразовим збільшенням концентрації яєчного білка як піноутворювача та підвищеним вмістом агару як структуроутворювального гідроколоїду порівняно з класичною пастилою.

Технологічний процес формування починається з подачі готової маси, яка характеризується масовою часткою сухих речовин 71...73%, щільністю 380...420 кг/м³ та температурою 52...55 °С, у завантажувальний бункер 1 відсадочної машини. У нижній частині бункера змонтовано дозувально-відсадочний механізм, конструктивна схема якого включає нерухомий корпус 2, циліндричний золотник 3 із внутрішніми робочими камерами, мірні циліндри 4 з плунжерами 5, що здійснюють зворотно-поступальне переміщення, та рухому планку 7 із гофрованими трубками 6 і зубчастими насадками-важелями 8.

Робочий цикл передбачає періодичний поворот золотника 3 на кут 90° відносно поздовжньої осі. Кількість паралельно розташованих камер золотника, мірних циліндрів, плунжерів та формувальних насадок строго регламентується кроком відсадки та відповідає кількості штучних виробів, що формуються по ширині лотка.

Незважаючи на конструктивну подібність даного вузла до класичних відливних механізмів кондитерської промисловості, гідродинаміка процесу дозування зефірної маси має принципові відмінності. При лінійному переміщенні плунжера 5 вправо за вихідного положення золотника 3, зефірна маса під дією власної ваги та нагнітання плавно заповнює звільнений простір мірного циліндра 4 без відриву від торцевої поверхні плунжера. Завдяки обмеженій швидкості руху робочих органів у порожнині мірного циліндра не виникає зон вакуумування та критичного перепаду тиску відносно атмосферного. Дотримання цього гідродинамічного режиму є критичним,

оскільки попадання високонасиченої газової фази (піни) в розріджене середовище призводить до безповоротного руйнування міжфазних плівок та колапсу структури.

Перевищення номінальної швидкості ходу плунжера викликає кавітаційні явища, що супроводжуються ущільненням напівфабрикату та неконтрольованим зростанням щільності відформованого сирого зефіру. Основним критерієм кінематичної коректності роботи відсадочного механізму є постійний надлишковий тиск маси на плунжер під час фази наповнення.

На наступному етапі циклу відбувається поворот золотника за годинниковою стрілкою на 90° , що перекриває вихід із бункера та з'єднує мірний циліндр із нагнітальними каналами. При реверсивному русі плунжерів вліво фіксована доза маси витискається через гофровані трубки 6. Зубчастий профіль вихідного штуцера здійснює фігурне калібрування потоку, формуючи характерну рифлену поверхню і специфічний рельєф готового зефіру, після чого цикл повторюється.

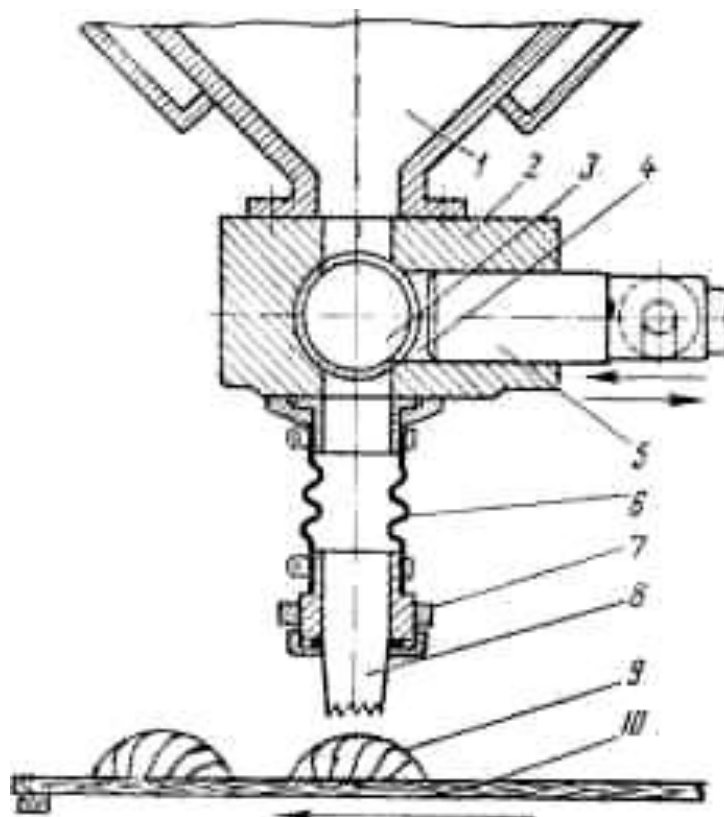


Рисунок 2.3—. Відсадка зефіру

На завершальному етапі дозування рухома планка з гофрованими трубками здійснює складний кінематичний рух бічного відриву. Одночасне зміщення робочих органів у горизонтальній та вертикальній площинах забезпечує чистий зріз струменя напівфабрикату за рахунок перевищення сил зсуву над когезійною міцністю маси. В результаті відформована порція зефірної маси у вигляді півсфери 9 позиціонується на безперервно рухомому ланцюговому транспортері 10. За умови синхронізації кутової швидкості відсадочних елементів та лінійної швидкості лотка можливе формування виробів подовженої рифленої форми. Для запобігання втратам сировини при проходженні технологічних стиків між лотками передбачено автоматичне розмикання кулачкової або електромагнітної муфти, що тимчасово блокує привід формування.

Сформовані заготовки, які є структурними половинками майбутнього виробу, направляються на стадію відстоювання, структурування. На цьому етапі відбувається фазовий перехід – золеві оболонки, які оточують дисперговані повітряні включення, трансформуються в термодинамічно стабільний молекулярний гель. Гідроколоїдна матриця агару утворює тривимірну просторову сітку, що надає напівфабрикату необхідної пружності та механічної міцності.

Процес кінцевого загущування здійснюється в спеціалізованих камерах або безпосередньо у виробничому приміщенні за температури 25 °C протягом 5 годин. Наступна термічна обробка (підсушування) реалізується в конвективних сушильних камерах за строго регламентованих параметрів: температура теплоносія становить 35..36 °C, відносна вологість повітря – 50...60%, а швидкість ламінарного потоку – 1 м/с. Процес триває 3..5 годин до досягнення масової частки сухих речовин 77...80%, що супроводжується частковим випаровуванням вологи з поверхневих шарів та утворенням тонкої дрібнокристалічної цукрової скоринки. За відсутності автоматизованих сушильних камер допускається природне висушування в умовах цеху при

температурі 25..30 °С та інтенсивній примусовій вентиляції повітря протягом 24 годин.

Після стабілізації лотки з напівфабрикатами транспортуються до вузла опудрювання, де здійснюється рівномірне нанесення цукрової пудри механізованим способом або вручну. Подальше переміщення ланцюговим конвеєром передбачає операцію попарного склеювання половинок зефіру за їхніми плоскими основами. Для розширення асортименту та підвищення харчової цінності між контактними поверхнями половинок можуть інтегруватися формові мармеладні елементи, цукати або фрукти та ягоди, попередньо проварені в концентрованому цукровому сиропі.

Склеєні вироби на конвеєрній стрічці або на сітчастих решітках стелажних візків поступають у камеру вторинного підсушування. Процес триває 3 години при відносній вологості повітря 60...65%, внаслідок чого кінцева масова частка сухих речовин у готовому продукті досягає 80...84%.

Альтернативна технологічна схема передбачає виключення операції склеювання. Половинки зефірц після додаткового підсушування направляються на глазурування шоколадною масою. Гранична температура виробів, що надходять на глазурувальний агрегат, не повинна перевищувати 30 °С задля запобігання порушення температурного режиму глазурування шоколаду. Фізико-хімічні та теплофізичні параметри процесу глазурування повністю ідентичні технологічним стандартам виробництва глазурованих цукерок

Готова продукція підлягає фасуванню в художньо оформлені коробки, пакети з полімерних плівок або жорстку тару з фанери та гофрокартону.

2.1.4 Зефір на пектині

В залежності від застосовуваних технологій, зефір на пектині виготовляють періодичним методом на спеціальній автоматизованій лінії.

Періодичний спосіб передбачає наступні стадії:

- підготовлювання сировини;
- виготовлення суміші – яблучне пюре, пектин, цукор пісок;

- виготовлення цукрового сиропу;
- виготовлення зефірної маси;
- структуризація зефірної маси, сушіння зефірних половинок;
- обсипання половинок зефіру цукровою пудрою, склеювання зефірних половинок;
- пакування, маркірування, переміщення на склад, зберігання.

2.1.5 Приготування суміші яблучного пюре з пектином.

Процес підготовки рецептурної суміші починається з подачі яблучного пюре в накопичувально-змішувальну місткість, конструкція якої оснащена лопатевим місильним органом, що забезпечує інтенсивне гідродинамічне перемішування при частоті обертання не менше 30 об/хв.

У середовище пюре при безперервному криволінійному русі робочих органів тонким рівномірним струменем дозується заздалегідь приготована суха суміш пектину та цукру-піску. Технологічний регламент підготовки цієї суміші передбачає попереднє сухе змішування однієї масової частини гідроколоїду (пектину) з трьома або п'ятьма масовими частинами кристалічної сахарози. Маса цукру-піску, використана для суміші з пектином, підлягає обов'язковому обліку та відніманню із загальної кількості цукру, що вводиться на наступній стадії механічного збивання зефірної композиції.

Кінетика процесу набухання та желе утворення пектинової маси визначається часовими та температурними параметрами. Експозиція, необхідна для повного набухання та розгортання макромолекулярних ланцюгів пектину в асимільованому об'ємі яблучного пюре в умовах постійного перемішування за кімнатної температури, становить не менше 2 годин.

Проте інтенсифікація процесу дифузії можлива за рахунок термічного впливу, при штучному підігріванні робочої суміші до температури 40...50 °C тривалість набухання структуроутворювача скорочується до 1 години внаслідок зниження в'язкості дисперсійного середовища та підвищення рухливості молекул.

2.1.6 Приготування цукрового сиропу.

При заварюванні сиропу в змієподібному варильному апараті або начиночному вакуум-апараті, попередньо в відкритому варильному котлі або в дисуторі, готують сироп з вмістом сухих речовин 57...59%. Сироп заварюють до вмісту суху речовин (84.5 ± 0.5)% при тиску гріючого пару (0.3 ± 0.1)МПа.

2.1.7 Приготування зефірної маси.

Процес періодичного приготування та подальшого формування напівфабрикату реалізується із застосуванням спеціалізованого обладнання, що дозволяє контролювати температурні та реологічні параметри системи.

На початковому етапі в змішувальну машину періодичної дії, наприклад марки СМ-2, конструкція якої оснащена сорочкою для водяного обігріву, завантажують попередньо підготовлену яблучно-пектинову суміш. Слідом у робочу зону вводять лактат натрію, що виконує функцію солі-буфера для регулювання швидкості гелеутворення, після чого здійснюють гомогенізацію компонентів.

Згідно з чинними рецептурними картами, у суміш додають регламентовану кількість цукру-піску та розрахунковий об'єм яєчного білка. Механічне диспергування та нагнітання повітря триває протягом 6–8 хвилин до моменту утворення щільної, висококонцентрованої піноподібної структури із заданими фізико-хімічними характеристиками.

Фізико-хімічні показники готової зефірної маси на даному етапі мають відповідати таким нормативним значенням: масова частка сухих речовин становить $67,5 \pm 2,25$ %, гранична об'ємна щільність не перевищує 500 кг/м^3 , активна кислотність середовища перебуває в межах рН $3,4 \pm 0,1$, а температура суміші підтримується на рівні $62,5 \pm 2,5$ °С.

Подальше формування отриманої зефірної маси здійснюється методом механічної відсадки на спеціалізованих автоматах типу К-33, Ф2-ШОЗ або аналогічних за функціоналом агрегатах, кінематика яких виключає виникнення

надмірних напружень зсуву та кавітаційних явищ, що руйнують сформовану піну.

Відсадка порцій проводиться безпосередньо на дерев'яні лотки стандартним розміром 1400x400 мм, які попередньо проходять цикл механічного очищення від залишків продукту попередніх циклів.

Критичним фактором на етапі відсадки є суворе дотримання температурного режиму середовища, оскільки будь-яке неконтрольоване охолодження маси викликає передчасне та незворотне структуроутворення гідроколоїдного матриксу безпосередньо всередині робочих органів машини.

Для нівелювання цього ризику приймальний бункер формувального агрегату оснащують водяною сорочкою, у якій забезпечується безперервна циркуляція теплоносія з температурою $67,5 \pm 2,5$ °C.

Технологічний регламент обмежує загальну тривалість перебування та формування кожної порції зефірної маси в бункері лімітом до 10 хвилин. Після завершення циклу відсадки лотки із сирими заготовками вручну позиціонують на стелажні візки-піддони для їхнього подальшого транспортування до зони стабілізації та тривалої витримки.

2.1.8 Структурування зефірної маси.

Сформовану у вигляді половинок зефірну масу утримують в приміщенні цеху на протязі 3...4 год. (вистоювання). Після вистоювання візки спрямовують у сушильні камери, де при температурі $37 \pm 2,5$ °C і вологості $55 \pm 5\%$ половинки зефіру сушаться. Тривалість сушки складає 5-6 годин.

За відсутності камер з дотриманням технологічних режимів сушіння зефір дозволяється витримувати в умовах цеху 24 години, природне сушіння.

2.1.9 Обсипка цукровою пудрою.

Стабілізовані шляхом висушування та подальшого охолодження лотки з напівфабрикатами половинок зефіру позиціонують на ланцюговий конвеєр,

який забезпечує їхнє безперервне транспортування під механізований вузол опудрювання.

Після рівномірного нанесення цукрової пудри шаром регламентованої товщини здійснюється операція попарного склеювання половинок вручну за їхніми контактними плоскими основами, після чого готові вироби направляються на ділянку фасування та укладання в тару.

На виробничих об'єктах малої потужності за умов відсутності автоматизованих ліній процес опудрювання реалізується ручним способом із застосуванням спеціалізованих сит, діаметр отворів робочої поверхні яких становить не менше 2 мм, що забезпечує необхідну дисперсність і рівномірність розподілу кристалічного матеріалу пудри на поверхні напівфабрикату.

2.1.10 Формування зефірної маси.

Виконується на зефіровідсадочній машині методом відсаджування на транспортер шириною 800мм, що постійно рухається.

Бункер зефіровідсадочної машини оснащений кришкою і водяним кожухом, в якому циркулює гаряча вода температурою $67.5 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ для забезпечення відповідного терморежиму.

Відформовані корпуси зефіру поступають в охолоджуючу шафу, де на протязі 7 хвилин при температурі повітря $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ проводиться часткове охолодження та процес структурування маси.

2.1.11 Структурування зефірної маси.

Сформовані корпуси зефіру безперервно транспортуються в апарат для структурування, де в умовах діючої температури виробничого цеху протягом 7 хвилин завершуються кінетичні процеси внутрішнього гелеутворення та формування стійкого гідроколоїдного матриксу.

Після набуття необхідних структурно-механічних властивостей напівфабрикат надходить до апарату конвективного підсушування. У цій зоні

продукт протягом 4 хвилин піддається інтенсивному термічному впливу інфрачервоного випромінювання від галогенних ламп, які стаціонарно зафіксовані на відстані 90 мм від робочої поверхні конвеєрної стрічки.

Термодинамічні параметри повітряного середовища всередині сушильного апарату строго регламентовані: температура сушильного агента становить $62,5 \pm 2,5$ °C при швидкості його примусової циркуляції $4,5 \pm 0,5$ м/с.

Зі стадії термічної обробки зефірна маса послідовно переходить в апарат для акліматизації, де відбувається стабілізація її внутрішніх тепломасообмінних процесів. На цьому етапі заготовки піддаються активному обдуванню повітряним потоком із температурою $27,5 \pm 2,5$ °C та лінійною швидкістю руху повітря $4,5 \pm 0,5$ м/с.

Загальна тривалість фази акліматизації становить 4 хвилини. Ефект послідовного підсушування та конвективного охолодження забезпечує швидке випаровування вільної вологи з поверхневих шарів напівфабрикату, що призводить до локального пересичення цукрового розчину та утворення рівномірної дрібнокристалічної скоринки на поверхні готового зефіру.

2.2 Підбір серійного обладнання, уточнення компоновки системи керування автоматизованої виробничої системи

Користуючись вимогами сформульованими до технологічного процесу виготовлення зефіру та міркуваннями, щодо застосування обладнання з деякою модернізацією, по причині відсутності у ньому високоточних систем автоматичного керування, які могли б здійснювати точний контроль за параметрами технологічного процесу та регулювати їх з заданою точністю. Виконання таких вимог дозволить зменшити частину виробничого браку при виготовленні зефіру (глазурованого і неглазурованого), підвищити якість продукції, зменшити затрати на її виготовлення.

Сушіння зефіру (глазурованого і неглазурованого) відповідальна технологічна операція, яка повинна забезпечувати:

- Задану кінцеву вологість продукту;

- Відповідність нормам і стандартам
- Пастильні вироби. Технічні умови. ТУ 9128-129-79036538-2006

Технічні умови складені для наступних сортів і видів зефіру:

Зефір Фруктовий; Зефір Ласун; Зефір Вершково-кремовий; Зефір Вершковий; Зефір Забава; Зефір Крем-брюле; Зефір Ля-ля-фа (паличка в шоколаді); Зефір Ля-ля-фа (паличка в білій глазури); Зефір Йогуртовий; Зефір у шоколаді; Пастила Ванільна;

При проведенні сушіння зефіру (глазурованого і неглазурованого) необхідно забезпечувати такі параметри:

- Точність температурних режимів в зонах секційної сушильної камери;
- Часову витримку технологічного процесу;
- Відсутність кородуючих факторів у зоні нагріву сушильної камери.

Для виконання таких вимог слід застосовувати для технологічного процесу сушіння зефіру (глазурованого і неглазурованого) так звані секційні конвеєрні сушильні камери.

Для подібних печей актуально удосконалити систему автоматичного контролю і керування, передбачити автоматизований вивід сушильної камери у робочі режими та забезпечити автоматизоване завантаження заготовок у зону обробки

Користуючись такими міркуваннями можна визначити остаточну компоновку автоматизованої системи управління технологічним сушіння зефіру (глазурованого і неглазурованого).

В якості пристрою термічної обробки слід застосувати електричну сушарку конвеєрну ПСК/14.12-8.

Розробити для даного технологічного обладнання мікропроцесорну систему керування з підвищеними вимогами до точності контролю, з можливістю автоматизованого виходу у робочі режими під час запуску установки, під час технологічного циклу та її вимкнення.

2.3 Технічні характеристики та паспортні дані серійного обладнання

2.3.1 Технічний опис

Даний технічний опис (ТО) призначений для вивчення електросушильної камери конвейерної ПСК/14.12-8. При вивченні електросушильної камери необхідно додатково керуватись експлуатаційними документами згідно КРБ 005.00.00.000 ЕД.

2.3.2 Призначення

Електросушарка призначена для термічних процесів виробництва кондитерських виробів (сушіння) вимоги яких забезпечуються параметрами електросушильної камери.

Живлення сушильної камери здійснюється від мережі змінного струму напругою 380В, частотою 50 Гц.

В пічку повинні подаватись:

- а) Холодна вода під тиском $2,5 \text{ кгс/см}^2$ при температурі $15 \pm 10^\circ\text{C}$
- б) Повітря під тиском 2 кгс/см^2

2.3.3 Склад обладнання.

Електросушарка складається з:

- «Пристрій привідний» КРБ 005.00.00.024 – 1 шт.
- «Камера завантаження» КРБ 005.00.00.009 – 1 шт.
- «Камера розвантаження» КРБ 005.00.00.010 – 1 шт.
- «Пристрій завантажувальний» КРБ 005.00.00.101 – 1 шт.
- «Основа холодильника» КРБ 005.00.00..033 – 1 шт.
- «Основа холодильника» КРБ 005.00.00.034 – 1 шт.
- «Основа приладна» КРБ 005.00.00.02 – 1 шт.
- «Основа приладна» КРБ 005.00.00.029 – 1 шт.
- «Пристрій нагрівний» КРБ 005.00.00.023 – 2 шт.

- «Демпфер тепловий» КРБ 005.00.00.001 – 1 шт.
- «Стрічка» КРБ 005.00.00.308.007-02 – 1 шт.
- «Кришка» КРБ 005.00.00.213 – 2 шт.

Таблиця 2.2 – Технічні дані електросушильної камери конвейерної ПСК/14.12-8.

Технічні дані	Од.вим.	Величина	Примітка
Діапазон робочих температур	°C	25÷110	
Максимальна робоча температура	°C	110	не більше
Точність підтримки температури:			
а) на рівні 20–30°C	°C	±0,5	
а) на рівні 30-50°C	°C	±0,7	
Розміри робочого простору:			
а) ширина	мм	160	
б) висота	мм	100	
Діапазон регулювання швидкості конвеєра	мм/хв	15-150	
Точність підтримки швидкості конвеєра	%	±5	
Кількість теплових зон	шт	8	
Встановлена потужність	кВт	50	
Потужність холостого ходу в максимальному режимі	кВт	25	не більше
Розхід охолоджуючої води	м ³ /Г	2	не більше
Габарити:			
а) довжина	мм	18280±20	
б) ширина	мм	1900±10	
в) висота	мм	2565±20	
Маса	кг	10 570	

2.3.4 Робота виробу

Вироби, що підлягають сушінню, розміщуються на конвеєрній стрічці і разом з нею поступають в робочий простір сушильної камери, утворене тепловим демпфером (муфелем). В кожній з 8-ми теплових зон сушильної камери встановлюється певна робоча температура.

Таким чином вироби на конвеєрній стрічці переміщуючись послідовно через всі зони в кожній з них нагріваються, або охолоджуються до заданої температури.

Встановлена в кожній тепловій зоні робоча температура підтримується з високою точністю за рахунок системи автоматичного регулювання температури.

Блок-схема одного з 8-ми каналів регулювання температури представлена в графічній частині, сигнал від терморезистивного датчика поступає в суматор, де відбувається алгебраїчне сумування сигналу “_ діюче” і сигналу задатчика “_ задане”.

В зв'язку з малим значенням сигналу розбіжності Δ , він підсилюється в передпідсилювачі до величини 1 .

Підсилений сигнал поступає на регулятор. Регулятор являє собою мікропроцесорний пристрій, охоплений зворотнім зв'язком з інтегруючою та диференціюючою ланкою, тому він є регулятором з пропорційно-інтегрально-диференціюючим законом регулювання. Вибір складного закону регулювання зумовлений високою точністю стабілізації температури, яка необхідна в даній електросушильній камери. Сигнал $_{-2}$ з регулятора поступає на підсилювач потужності. Підсилювач складається з двох блоків: блока тиристорів і блока керування тиристорами.

В блоці керування тиристорами виробляються керуючі сигнали, відповідні сигналу $_{-2}$; ці сигнали поступають на керуючі електроди тиристорів, які відкриваються у відповідності з цими імпульсами. таким чином досягається

неперервне регулювання температури: в той момент, коли тиристори відкриті заживляється первинна обмотка силового трансформатора. Терморезистивний датчик T_1 здійснює зворотній зв'язок цієї системи. Терморезистивний датчик T_2 здійснює запис температури електросушильної камери в пам'ять.

Конвейерна стрічка переміщається за допомогою привідної системи, що складається з двигуна постійного струму, черв'ячного кондуктора і безконтактної електронної системи керування. Остання дозволяє досягнути високої точності регулювання швидкості стрічки, разом з глибоким діапазоном регулювання швидкості.

2.3.5 Структура виробу

Загальний вигляд електросушильної камери приведений в КРБ 005.00.00.000 ВО. Електросушарка виконана у вигляді окремих вузлів-модулів з'єднаних між собою з допомогою болтових з'єднань.

Приводний пристрій містить привід конвеєра, що складається з електропривода ЕТО-1, редуктора $i=35000$, з'єднаних клинопасовою передачею. Обертання з редуктора передається на ведучі ролики, один з яких з'єднаний з редуктором ланцюговою передачею, а другий, прижимний, регулює зазор, в якому проходить конвеєрна стрічка. З демпфера теплового обминувши ведучі ролики, стрічка поступає на напрямний ролик і далі по напрямному лотку до завантажувального пристрою.

У пристрої навантажувальному стрічка поступає на ведучий барабан, що приводиться в рух ланцюговою передачею, зв'язаною основним приводом-редуктором.

Стрічка, проходячи між піджимним барабаном і ведучим барабаном, підтягує нижню вітку. Для компенсації різниці в швидкості руху стрічки на ведучому барабані пристрою завантажувального встановлена запобіжна муфта. З пристрою підтягування стрічка поступає в камеру завантаження і через муфель поступає в камеру охолодження.

Остання являє собою водо-охлоджувану металічну зварну коробку, в вихідному вікні якої знаходиться ввід повітряної завіси і трубка для відводу конденсованої вологи. В камері завантаження є ролики, на яких вона пересувається вздовж осі електросушильної камери при термічному видовженні муфеля, а на вході є напрямні напрямленого руху стрічки.

Основи прилади абсолютно ідентичні по змісту та принципу роботи і відрізняються лише виконанням (“ліве” і “праве”). Кожна основа являє собою зварний металічний каркас з кришками, в середині якого розміщені система електроживлення та автоматичного регулювання температури камери нагрівної і частина системи охолодження.

На лицевій панелі основи розміщені регулятори температури, автоматичний індикатор, апаратура вмикання, керування та сигналізації.

Камера нагрівна складається з двох однакових напівкамер, з’єднаних між собою через азбоцементну прокладку.

Напівкамери виконані у вигляді сталєних циліндричних обичайок, футерованих зсередини легковаговими та ультра легковаговими фасонними вогнетривками.

Напівкамери складаються з кришок та днищ між котрими прокладена азбестова теплоізоляція.

Нагрівники U-подібної форми виконані у вигляді зигзагу з дроту сплаву ХН 70 Ю, діаметром 8 мм. Вони закріплюються на бічних стінках футеровки, за допомогою жаростійких цвяхів, забитих у вогнетривкий шар. В нижній частині витки нагрівників дистанціюються керамічними гребінками, що входять в нижню подову частину футеровки. Виводи нагрівачів потовщеної форми монтуються по роз’єму днищ та кришок.

Зовнішня поверхня камери нагрівної і торцеві кришки камери водоохолжувані.

Всередині камери нагрівної розташований демпфер тепловий; він – суцільнозварний з сталі ХН70Ю арочної конструкції.

Товщина стінок демпфера 6..10 мм.

Демпфер жорстко закріплений своєю розгрузочною частиною та має можливість теплового видовження в сторону загрузок.

Холодильники – зварні металічні коробки, встановлені в своїх основах.

Електросушарка обладнана двома холодильниками, в той час як їх число може бути збільшене до будь-якої кількості. Це визначається теплоємністю виробів, що поступають в холодильники з робочої зони та швидкістю руху конвеєра.

Один з холодильників містить всю систему водорозподілу: напорний та зливний колектори, воронку, комплект гідрореле. В другому холодильнику (правий) розміщується апаратура керування приводом конвеєрної стрічки та панель захисту вентиляційної системи.

Пристрій приводний виконаний аналогічно пристрою завантажувальному, з системою приводу. В приводному пристрої розміщена система електросушильної камери.

- Всі аварійні режими забезпечені звуковою та світловою сигналізацією.

2.4 Розміщення та монтаж

Експлуатацію електросушильної камери проводити в умовах помірного клімату П і призначена для розміщення 4.2 по ГОСТ 15150-69.

В приміщенні, де встановлюється електросушарку для забезпечення безпеки при роботі при можливих витоках водню повинна бути передбачена притоково-витяжна вентиляція з 5-ти кратним обміном повітря на годину.

Після розпакування всіх вузлів електросушильної камери їх необхідно помістити на добу в сухе опалювальне приміщення.

Задовільна робота електросушильної камери забезпечена при дотриманні наступних умов:

а) умов, наведених в п.1.2.2, 1.7.1, 1.7.2

б) електросушарку повинна бути встановлена далеко від обладнання, що створює вібрації і тряску;

в) поблизу місця установки електросушильної камери не повинно бути потужних джерел електромагнітних полів (електромоторів, зварювального обладнання, і т.п.).

г) на ділянці, де встановлена електросушарка не допускається різких переміщень повітря.

Максимальне питоме навантаження на перекриття, зумовлене вагою електросушильної камери не перевищує $0,5 \text{ кгс/см}^2$ у відповідності з цим навантаженням вирішується питання про розміщення електросушильної камери.

Монтаж електросушильної камери провести в наступній послідовності:

а) Встановити та з'єднати між собою у відповідності з кресленням КРБ 005.00.00.000 основи приладні ДЕМ4.135.028 та ДЕМ4.135.029;

б) На основи встановити та закріпити пристрої нагрівні Б2М3.031.023;

в) Встановити та з'єднати з приладними основами:

- пристрій привідний Б2М4.225.024
- основи холодильників ДЕМ4.135.033 і ДЕМ4.135.034
- пристрій завантажувальний Б2М3.153.101

г) Встановити в нагрівний пристрій демпфер тепловий Б2М3.774.001, виставивши його по висоті у відповідності з розміром, вказаним на кресленні КРБ 005.00.00.000 і строго симетрично камерам нагрівним;

д) Встановити та приєднати до демпфера теплового камеру завантаження Б2М3.390.009, регулюючи висоту роликів камери виставити її строго горизонтально

е) Встановити на основи холодильників та приєднати до демпфера теплового холодильники Б2М3.774.001. Регулюючи рівень холодильників підкладками, виставити їх строго горизонтально та закріпити до основ;

ж) Встановити та приєднати до демпфера теплового камеру завантаження Б2М3.390.009. Регулюючи рівень камери підкладками, виставити її строго горизонтально та закріпити до пристрою приводного;

- і) перевірити за допомогою струни співвісність демпфера теплового з камерами завантаження та розвантаження і холодильниками;
- к) Очистити внутрішні порожнини пристроїв нагрівних за допомогою пиловсмоктувача, або продути стиснутим повітрям №;
- л) Закріпити пристрої нагрівні кришками Б2М4.127.213 та приєднати кришки до камер у відповідності з кресленням дЕМ3.013.000;
- м) Змонтувати стрічку Б2М4.308.007-2 у відповідності з кресленням КРБ 005.00.00.000 та відрегулювати зазор між напрямними роликами пристрою приводного;
- н) Розвести електроживлення до виводів нагрівників, запальним свічкам, електромагнітним клапанам, пусковій та сигнальній апаратурі, двигуну приводу і т.п. у відповідності з доданими електричними схемами;
- о) Розвести шланги водоохолодження у відповідності із схемою водоохолодження дЕМ32.013.000 ГЗ;
- п) Підвести до електросушильної камери воду (вхідні штуцери розміщені на задній стороні основи холодильника та пристрою приводного);
- р) Підвести до електросушильної камери кабель електроживлення;
- с) З'єднати з регуляторами термопари пристроїв нагрівних, впевнившись попередньо (візуально та прозвонкою) в їх цілісності;
- т) Встановити на електросушарку каркаси декоративного кожуха та закрити електросушарку і каркаси кожуха кришками

2.5 Експлуатація електросушильної камери конвейерної

Дана інструкція по експлуатації призначена для забезпечення правильної експлуатації електросушильної камери конвейерної ПСК/14.12-8 КРБ 005.00.00.000 та підтримки її в готовності до дії.

Для експлуатації електросушильної камери необхідно додатково керуватись експлуатаційними документами згідно КРБ 005.00.00.000ЕЛ

Вказівки засобів безпеки

В період експлуатації електросушильної камери необхідно дотримуватись “Правил техніки безпеки”.

2.6 Підготовка до роботи.

Після монтажу електросушильної камери, перед першим вмиканням, а також після “холодного” (капітального) ремонту необхідно:

- а) промити систему газопроводів згідно ОСТ 11. ПО.054.005
- б) перевірити герметичність трубопроводів контрольованої атмосфери та їх з'єднань.

Для цього:

- опресувати трубопроводи, подачі газів, їх з'єднання і арматуру при надлишковому тиску 500 мм.вод.ст. Допустиме падіння тиску – не більше 20 мм. вод. ст. за п'ять хвилин;

- в) опробувати працездатність вентиляційної системи по спрацюванню блокувальних пристроїв.

Для цього: забезпечивши розхід повітря через газові канали та імітуючи вентилями припинення подачі в систему впевнитись в працездатності захисту та сигналізації.

- г) опробувати систему водоохолодження на герметичність та наявність зливних струменів в кожному з каналі водоохолодження.

- д) перевірити настройку реле тиску шляхом припинення потоку воду в кожний з каналів охолодження.

- е) “Продзвонити” мегомметром термопари нагрівних камер та впевнитись в працездатності.

- ж) Ввімкнути живлення запальників свічок та впевнитись в їх працездатності та блокуванні.

- з) Ввімкнути двигун пристрою приводного та впевнитись в можливості регулювання швидкості стрічки на всьому діапазоні.

і) Здійснити настройку регуляторів тиску газів на потрібні тиски.

к) Ввімкнути живлення всіх нагрівників та шляхом зміни завдання температур впевнитись в працездатності пристроїв контролю електричного режиму

л) Перевірити працездатність автоматичних пристроїв КСП-2-061 у відповідності з документацією на ці прилади.

Після проведення вищенаведених випробувань провести сушку електросушильної камери.

Для цього:

а) Зняти з електросушильної камери каркаси та кришки декоративного кожуха.

б) Зняти з камер нагрівних кришки Б2М7.127.213.

в) Ввімкнути привід стрічки на швидкості $80 \div 100$ мм/хв.

г) Ввімкнути водоохолодження по всіх каналах.

Після проведення сушки виключити електропідігрів, витримати годину до повного її охолодження і виключити привід стрічки конвеєра.

2.7 Порядок роботи

Для отримання робочого режиму необхідно виконати ряд операцій в наступній строго визначеній послідовності:

а) Вмикання приводу стрічки конвеєра.

б) Вмикання водоохолодження.

в) Вмикання електросушильної камери та вивід її на попередній режим.

г) Вмикання вентиляційної системи.

д) Встановлення робочого режиму.

Температура виробів в електросушильній камері залежить від:

а) Теплоємності виробів;

б) Швидкості конвеєра;

в) Розходу та складу атмосфери;

г) Заданого розподілу температури по зонах.

Отже, вивід електросушильної камери на заданий режим повинен виконуватись при неперервній та рівномірній робочій загрузці стрічки та конвеєра, при робочій швидкості стрічки та робочих розходах газів.

Збільшення загрузки чи швидкості стрічки призводить до пониження встановленої температури та збільшенню встановлених температур в зонах охолодження. При зменшенні загрузки чи швидкості стрічки явище відбувається зворотньо.

При виводі електросушильної камери на заданий режим необхідно знати, що:

а) Завдання температури на нагрівниках виконується окремо для кожної зони з допомогою потенціометрів “Задатчик” регуляторів температури. Ціна однієї малої поділки шкали задатчика рівна 20 мкВ; ціна однієї великої поділки – 2 мВ (по градуювальній таблиці термопар типу ПП-1 можливий перевод мВ в °С).

б) У встановленому режимі роботи сушильної камери температура нагрівників, контрольована автоматичними потенціометрами, вище температури виробів на 5÷10 °С при малих швидкостях стрічки, і на 12÷15 °С при великих швидкостях стрічки чи при масивній загрузці (виробах).

в) Тепловий режим в робочому просторі встановлюється приблизно через годину після того, як автоматичні потенціометри покажуть, що температура на нагрівачах досягла заданого значення.

г) Необхідний розподіл температур в робочому просторі (“криву нагріву”) необхідно задавати з умови, що максимальна різниця температур між суміжними зонами не може бути більше 50 °С. При перевищенні цієї різниці шляхом відповідного завдання температур в суміжних зонах можливе відключення однієї із зон та постійний її підігрів за рахунок другої зони.

Вмикання приводу стрічки конвеєра.

а) Ввімкнути вимикач “Мережа” на блоці керування приводом стрічки; при цьому засвітиться лампа “Мережа”.

- б) Прогріти блок керування протягом 15-ти хвилин;
- в) Натиснути кнопку “Пуск” на блоці керування;
- г) Встановити необхідну швидкість переміщення стрічки конвеєра ручкою “Швидкість стрічки”. Переводна шкала швидкості електродвигуна в лінійну швидкість стрічки конвеєра приведена на графіку 1,2 рис.4. рис.5,
де: n об/хв – швидкість обертання електродвигуна приводу
 v мм/хв – швидкість переміщення стрічки конвеєра.

Вмикання водоохолодження:

- а) відкрити на холодильниках всі вентиля напорного колектора та впевнитись в наявності зливних струменів у всіх вітках водоохолодження;
- б) Ввімкнути вимикач “Мережа” на основі холодильника дЕМ4.135.033; при цьому засвітиться лампа “Мережа”.
- в) Якщо при вмиканні “Мережі” засвітиться лампа “Немає Води”, почергово зняти зливні шланги з штуцерів воронки та почергово зменшити отвори в регулювальних шайбах, поміщених в штуцерах, до зникнення сигналу “Немає Води”.
- г) Ще раз перевірити наявність всіх зливних струменів.

Вмикання електросушильної камери та вивід її на попередній режим:

- а) відімкнути вимикачі “Зона 1”÷ “Зона 8” на приладних основах;
- б) вимикачі приладів контролю температури автоматичних регуляторів поставити в положення “Запис”. Червоні стрілки потенціометрів поставити на $\sim 10^{\circ}\text{C}$ більше температури “найгарячішої” зони;
- в) ввімкнути автоматичні вимикачі “Мережа”, розміщені під потенціометрами; при цьому повинні засвітитися лампи “Мережа”, розміщені поряд з автоматичними вимикачами;
- г) ввімкнути вимикачі “Мережа” на регуляторах температури; встановити потенціометрами-здатчиками регуляторів необхідне значення температури для кожної зони та зафіксувати шкали датчиків, для запобігання їх випадкового зміщення.
- д) встановити рукоятки регуляторів в наступне положення:

ПЕРЕДУВАННЯ – в положення 0,

Натиснути кнопку ІЗОДРОМ – 40,

Натиснути кнопку К-2;

е) ввімкнути вимикачі “Сигналізація” і “Зона 1”÷ “Зона 8”; при цьому повинні засвітитися сигнальні лампи;

ж) обертаючи рукоятки регуляторів “Ручне” підняти напругу у ввімкнених зонах до ~ 100 вольт;

Через $\sim 1,5$ години, якщо температура зон (зони) не досягла заданого значення, підняти напругу на нагрівачах ввімкнених зонах до ~ 150 В і ще через $\sim 1,5$ години – до 200 Вольт, не більше;

Після розігріву нагрівачів до заданої температури відімкнути кнопки регуляторів РУЧНЕ.

Після цього регулятор температури, зробивши 2-3 коливання напруги на нагрівачах, буде автоматично підтримувати температуру нагрівача з високою точністю.

Момент досягнення заданого значення температури визначається по відхиленню стрілки приладу “Відхилення”. Якщо температура менше заданої, стрілка відхиляється вправо, якщо більше – вліво. Вимикання у положення РУЧНЕ необхідно проводити в той момент, коли стрілка приладу ВІДХИЛЕННЯ даної зони буде близько нуля ($\pm 1-2$ поділки).

Контроль температури по зонах проводиться по показах приладу типу КСП2-061; причому в першій приладній основі прилад показує температуру зони 1 в положенні вказівника точки 1, температуру зони 2 – в положенні вказівника точки 2 і т. д. в другій основі температура зони 5 контролюється при положенні вказівника точки 1, зона 6 – при положенні вказівника точки 2 і т. д. Якщо, з певних причин температура в одній із зон стане вище, ніж задана температура “найгарячішій” зоні, то ввімкнеться звукова та світлова сигналізація “Перегрів”, звуковий сигнал вимикається при переводі рукоятки

перемикача “Сигналізація” в середнє положення, світловий сигнал вимикається при нижньому положенні рукоятки перемикача “Сигналізація”.

Нормальна робота електросушильної камери контролюється по показах амперметрів чи вольтметрів, причому напруга на силових трансформаторах всіх 8-ми зон може змінюватися в межах від 0 до 240 Вольт, а струми – від 0 до 28 Ампер, не більше, в усіх зонах, крім першої та восьмої, в зонах першої та восьмої струми можуть змінюватись від 0 до 50 Ампер.

Після виходу електросушильної камери на режим встановити рукоятками у відповідності з показами вольтметрів відповідних зон

Вмикання вентиляційної системи.

До подачі повітря необхідно:

а) перевірити справність витяжної вентиляції над сушкою та наявність на ділянці протипожежних засобів;

б) перевірити положення кранів та вентилів на трубопроводах в газовій панелі (всі крани та вентиля повинні бути закритими)

в) Ввімкнути витяжну вентиляцію.

б) ввімкнути вимикач “Мережа” на пристрої завантажувальному, ввімкнути клапан ЕК-3 (див.схему 1). При цьому засвітиться лампа “№2” на пневмосхемі панелі.

в) відімкнути вимикач клапана ЕК-3, при необхідності підрегулювати розходи газів та ввімкнути вимикач “Блокування”.

2.8 Встановлення робочого режиму.

Після виводу електросушильної камери на попередній режим і подачі робочої атмосфери необхідно встановити кінцевий тепловий режим. Для цього:

а) Рівномірно завантажити стрічку конвеєра однотипними виробами (касетами), що підлягають сушці.

б) Пропустити через електросушарку партію виробів до виходу головного завантаження з холодильника;

в) В момент виходу головного завантаження помістити на стрічку конвеєра завантаження (касету) з закріпленою на ній контрольною термopарою (платино-платинородій або хромель-алюмель, якщо максимальна температура не перевищує 50 °C).

Спай контрольної термopари треба розміщати всередині завантаження, якщо термооброблювані вироби також розміщені всередині або ззовні, якщо вироби розміщені на поверхні завантаження (касети).

“Холодні” кінці термоелементів термopари до автоматичного самопишучого потенціометру, що має градування, типу контрольної термopари.

Термopару попередньо розмістити, наприклад, металічними бирками, відповідними початку і середині кожної теплової зони.

г) Пропустити контрольну термopару через всю електропіч, аж до виходу її спаю з холодильника.

При цьому відмічати на діаграмній стрічці автоматичного потенціометра точки, що відповідають серединам робочих зон по контрольним биркам, прикріпленим до термopари.

д) Порівнявши криву розподілу температури, записаної на діаграмній стрічці потенціометра з заданою, а точки кривої, що відповідають центрам теплових зон, з показами потенціометрів, встановлених в приладних основах відкоригувати температурний режим в відповідних зонах по вказаним пунктам даної інструкції

2.9 Вимикання електросушильної камери та її елементів.

Вимикання проводити в строго перерахованій послідовності:

Вимикання вентиляційної системи:

- а) Звільнити сушарку від загрузки;
- в) Не понижуючи температури електросушильної камери закрити запорні крани та вентиля на трубопроводі підводу до електросушильної камери водню;
- е) Закрити всі крани і вентиля на газових магістралях і газовій панелі;

ж) Вимкнути вимикачі “Вм. свічки”, “Блокування”, клапани ЕК-1, 2 і 3 і вимикач “Мережа”.

Повторне вмикання вентиляційної системи проводити в тому ж порядку, що і перше вмикання (п. 2.4.8.).

Вимикання нагріву електросушильної камери:

а) Відімкнути вимикачі “Зона 1”÷”Зона 8”; при цьому струм та напруга в зонах повинні впасти до нуля та повинні погаснути лампи “Зона 1”÷”Зона 8”;

б) Всі кнопки регуляторів температури поставити у вимкнуте положення;

в) Відімкнути автомати “Мережа”, при цьому лампи “Мережа” повинні погаснути.

Кнопки набору режиму регуляторів температури допускається залишити в робочому положенні, це полегшить повторне вмикання електросушильної камери на встановлений режим.

г) При повторному вмиканні електросушильної камери на встановлений режим необхідно: ввімкнути автоматичні вимикачі “Мережа” та вимикачі “Зона 1”÷”Зона 8”;

д) Підняти за допомогою потенціометра напругу на нагрівачах зон і після досягнення заданої температури натиснути кнопку Р.

Примітка. При відсутності необхідності вимикання всіх зон слід відімкнути у використовуваних зонах вимикач “Зона” та вимикач “Мережа” її регулятора температури.

Вимикання приводу стрічки конвеєра:

а) Натиснути кнопку “Стоп” на блоці керування приводом стрічки;

б) Відімкнути вимикач “Мережа” на блоці керування приводом стрічки.

Примітка. Відімкнення приводу стрічки допускається при температурі в “найгарячішій” зоні електросушильної камери не більшій 50°C.

в) Повторне вмикання приводу стрічки проводиться у відповідності з п.2.4.3. даної інструкції.

Вимикання водоохолодження.

а) Відімкнути вимикач “Мережа” на основі холодильника дЕМ4.135.034;

б) Закрити всі вентиля напорного колектора холодильника.

Примітка. Вимикання водоохолодження допускається при температурі в “найгарячішій” зоні електросушильної камери не більшій 50°C.

в) Повторне вмикання водоохолодження проводиться у відповідності з пунктами даної інструкції.

2.10 Розробка автоматизованої системи керування електричною сушкою конвейерною ПСК/14.12-8, схеми електричної принципової

2.10.1 Вибір та обґрунтування керуючого елемента системи

Як головний керуючий елемент проектованої системи обрано однокристальний мікроконтролер (мікро-ЕОМ) КР1816ВЕ51. Доцільність застосування цього мікроконтролера зумовлена відносною простотою виконуваних системою операцій, до яких належать:

- зчитування даних мікропроцесорною системою в оперативну пам'ять (ОЗП) з їх подальшим аналізом;
- формування та видача відповідних керуючих сигналів у порт виведення, до якого підключено пристрій індикації;
- забезпечення можливості інтеграції периферійних засобів для автоматизованого керування системою збору та обробки оперативної інформації.

Мікроконтролер КР1816ВЕ51 має байтову організацію архітектури (розрядність даних становить 8 біт). Завдяки переходу при виробництві з класичної n-МОН на сучаснішу КМОН-технологію, в архітектурі пристрою вдалося зберегти повну апаратну та програмну сумісність із попередніми модифікаціями, забезпечивши водночас зниження енергоспоживання більш ніж на порядок.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики KP1816BE51

Параметр	Значення
Обсяг внутрішньої (резидентної) пам'яті програм	4 Кбайт
Тип внутрішньої пам'яті програм	ППЗУ (EPROM)
Обсяг внутрішньої (резидентної) пам'яті даних	128 байт
Мінімальна тактова частота	1,2 МГц
Максимальна тактова частота	12 МГц
Напруга живлення	+5В±10%
Струм споживання	8 мА
Максимальний обсяг зовнішньої адресовної пам'яті програм	64 Кбайт
Максимальний обсяг зовнішньої адресовної пам'яті даних	64 Кбайт

До архітектури KP1816BE51 інтегровано такі периферійні та функціональні вузли:

- чотири 8-розрядні паралельні порти введення-виведення;
- два 16-розрядні таймери/лічильники;
- універсальний послідовний порт;
- тактовий генератор;
- блок регістрів спеціальних функцій (SFR);
- пам'ять криптограм та систему захисту внутрішньої пам'яті програм від несанкціонованого доступу.

Структурна організація. Структурну схему мікроконтролера KP1816BE51 наведено на рис. 2.4. До її складу входять такі базові функціональні блоки (в дужках зазначено міжнародні англійські еквіваленти аббревіатур):

- ЦПУ (CPU) — центральний процесорний пристрій;
- ПЗУ ПП (ROM) — постійний запам'ятовуючий пристрій пам'яті програм;
- ОЗУ ПД (RAM) — оперативний запам'ятовуючий пристрій пам'яті даних;
- ГЕН (OSC) — опорний тактовий генератор;

- ППП (Progr. I/O) — програмовані паралельні порти;
- Посл. П (UART / Serial Port) — послідовний порт;
- Т/Л (Timers/Counters) — таймери/лічильники;
- РШ (Bus Expansion) — розширювач системної шини для забезпечення взаємодії із зовнішніми пристроями пам'яті місткістю до 64 Кбайт.

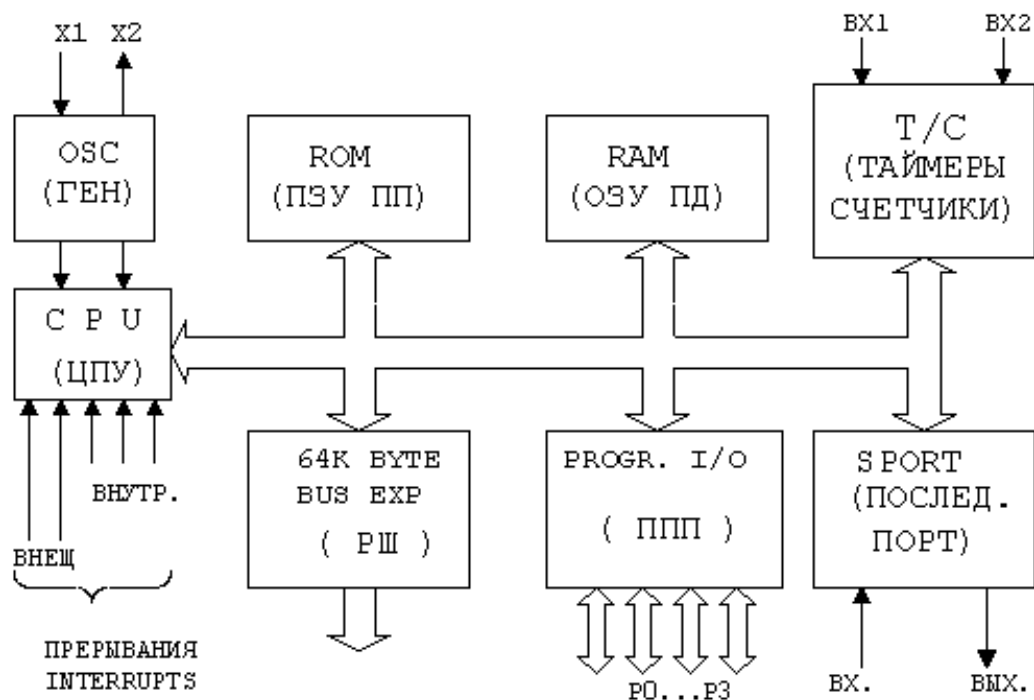


Рисунок 2.4 – Структура КР1816ВЕ51.

Взаємодію між усіма функціональними вузлами мікроконтролера забезпечує внутрішня загальносистемна 8-розрядна шина даних, за допомогою якої здійснюється інформаційний обмін між центральним процесорним пристроєм (ЦПУ) та іншими периферійними пристроями.

ЦПУ об'єднує в собі операційний (ОП) та керуючий (КП) пристрої, які забезпечують виконання програмного коду, збереженого у внутрішньому ПЗУ пам'яті програм (ПЗУ ПП) обсягом 4 Кбайт.

Архітектура ЦПУ забезпечує апаратну підтримку таких груп операцій:

- Арифметичні, – додавання, додавання з урахуванням перенесення, віднімання з урахуванням позики, беззнакове множення та ділення, інкремент, декремент, а також десяткова корекція;

- Логічні, – порозрядні операції І (AND), АБО (OR), виключне АБО (XOR) та інверсія (NOT);
- Операції зсуву, – лінійні та циклічні зсуви вмісту регістрів;
- Операції пересилання, – обмін даними між регістрами, оперативною пам'яттю та портами введення-виведення;
- Побітові (булеві) операції, – встановлення, скидання, інвертування та тестування окремих бітів;
- Операції передачі керування, – безумовні та умовні переходи, виклики підпрограм і повернення з них.

Для тимчасового зберігання проміжних результатів обчислень використовується внутрішній ОЗУ пам'яті даних (ОЗУ ПД) місткістю 128 байт. Швидкодія ЦПУ визначається опорним генератором (ГЕН), який формує необхідні для синхронізації внутрішні часові послідовності. Частота дискретизації та стабілізація роботи генератора забезпечуються зовнішнім кварцовим резонатором, що підключається до виводів XTAL1 (Q1) та XTAL2 (Q2).

Для реалізації послідовного доступу до системних ресурсів за умов використання єдиної внутрішньої шини, генератор формує машинний цикл процесора, який триває дванадцять періодів коливань кварцового резонатора (задавального генератора) відповідно до діаграми, наведеної на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Машинний цикл процесора.

Машинний цикл складається з шести станів керуючого автомата ($S_1 \dots S_6$), кожен з яких поділяється на дві фази ($P_1 \dots P_2$), що відповідають виконанню певних мікрооперацій процесора. На рис. 2.4 як приклад продемонстровано два процеси: формування сигналу стробування адреси зовнішньої пам'яті ALE

(Address Latch Enable) та момент фіксації даних у програмованих паралельних портах (ППП). Таким чином, за умови підключення до виводів XTAL1 (Q1) та XTAL2 (Q2) кварцового резонатора з резонансною частотою $f_t = 6$ МГц, тривалість машинного циклу $T_{\text{ц}}$ перевищуватиме період коливань задавального генератора в 12 разів: $T_{\text{ц}} = \frac{12}{f_t}$

Для зазначеного значення частоти f_t тривалість машинного циклу становитиме $T_{\text{ц}} = 2$ мкс. Введення інформації в процесор для подальшої обробки, а також виведення отриманих результатів, може здійснюватися у паралельній байтовій (одночасне передавання восьми розрядів за одну команду) або в послідовній (побітовій) формах. Паралельний інформаційний обмін реалізується через будь-який із чотирьох інтегрованих паралельних портів введення-виведення.

Послідовне приймання та передавання даних можна організувати через довільний розряд цих портів програмним шляхом. Проте, з метою оптимізації та заощадження обчислювальних ресурсів процесора, мікроконтролер оснащено вбудованим програмованим послідовним портом (UART). Це апаратне рішення дозволяє мінімізувати навантаження на ЦПУ під час обміну даними за кількома типами протоколів.

Крім зазначених вузлів, архітектура мікроконтролера містить два 16-розрядні універсальні таймери/лічильники, які здатні функціонувати у двох режимах. Режим таймера: застосовується переважно для організації циклічних процесів із жорстко фіксованим часовим інтервалом, тривалість якого не залежить від часу виконання основного програмного коду.

Режим лічильника зовнішніх подій: використовується для фіксації кількості вхідних імпульсів, вимірювання частоти сигналів тощо.

Розширювач шини (РШ) забезпечує інтерфейс взаємодії із зовнішньою пам'яттю програм або даних (ЗП). Зовнішні мікросхеми пам'яті задіюють у випадках, коли обсягу резидентних ресурсів місткості мікроконтролера недостатньо для збереження програмного коду чи масивів даних. Слід

зазначити, що режим функціонування із використанням зовнішньої пам'яті не є типовим для однокристальних мікроконтролерів цього класу.

Графічне зображення корпусу мікроконтролера KP1816BE51 наведено на рис. 2.6, а функціональне призначення його виводів систематизовано в табл. 2.4.

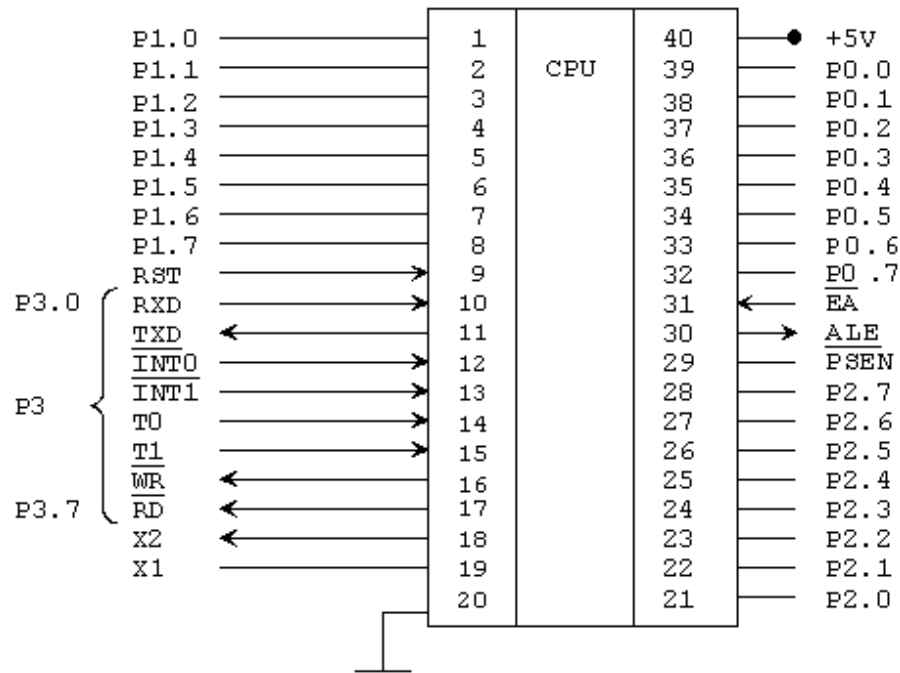


Рисунок 2.6 – Корпус ОМЕОМ KP1816BE51 призначення виводів.

Мінімальна схема ввімкнення ОМЕОМ KP1816BE51 показана на рис. 2.7. До виводів Q1 і Q2 ОМЕОМ підключено резонансну схему, що містить кварцевий резонатор. До входу скидання RST - схема автоматичного рестарту KP1816BE51 при ввімкненні живлення.

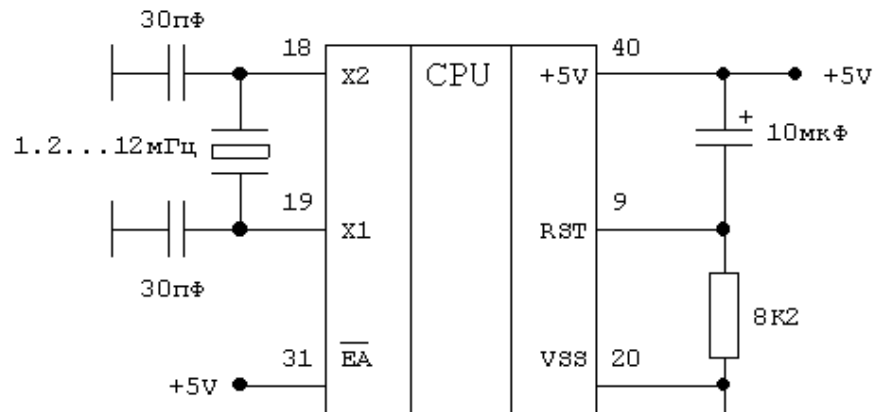


Рисунок 2.7 – Мінімальна схема включення ОМЕОМ KP1816BE51.

Таблиця 2.4 – Призначення виводів OMEOM KP1816BE51.

№ виводу	Символ	Тип: О – вихід; І – вхід	Опис
1-8	P1.0-P1.7	I/O	Виводи паралельного порта P1
9.	RST	I	Вхід рестарту OMEOM
10.	P3.0/RXD	I/O	Розряд 0 порта P3 або вхід прийому SPORT Розряд 1 порта P3 або вихід передачі SPORT Розряд 2 порта P3 або вхід зовнішнього переривання INT0 Розряд 3 порта P3 або вхід зовнішнього переривання INT1 Розряд 4 порта P3 або вхід лічильника T0 Розряд 5 порта P3 або вхід лічильника T1 Розряд 6 порта P3 або вихід WR запису у зовнішній ЗП Розряд 7 порта P3 або вихід RD читання із зовнішнього ЗП
11.	P3.1/TXD	I/O	
12.	P3.2/INT0	I/O	
13.	P3.3/INT1	I/O	
14.		I/O	
15.		I/O	
16.	P3.4/T0 P3.5/T1 P3.6/WR P3.7/RD	I/O	
17.		I/O	
18.	X2	O	
19.	X1	I	
20.		I	Вивід підключення від'ємного полюсу джерела живлення (земля)
21-28	P2.0-P2.7	I/O	Виводи паралельного порта P2
29.	PSEN	O	Звернення до зовнішньої пам'яті програм
30.	ALE	O	Строб адреси зовнішнього ЗП
31.	EA	I	Вибір роботи OMEOM з внутрішньою (EA=1) або зовнішньою (EA=0) пам'яттю програм
32-39	P0.7-P0.0	I/O	Виводи порта P0
40.		I	Вивід підключення джерела живлення

2.10.2 Паралельні порти вводу/виводу інформації

Як було зазначено вище, інформаційну взаємодію із зовнішніми периферійними пристроями можна реалізувати за допомогою чотирьох 8-розрядних паралельних портів та одного послідовного порту.

Схемотехнічна структура портів введення-виведення мікроконтролерів сімейства MCS-51 (80C51) має низку специфічних особливостей порівняно з архітектурою портів інших мікропроцесорних засобів. Паралельні порти P1...P3 мають квазідвонаправлену структуру, принципова схема та особливості функціонування якої проілюстровані на рис. 2.8.

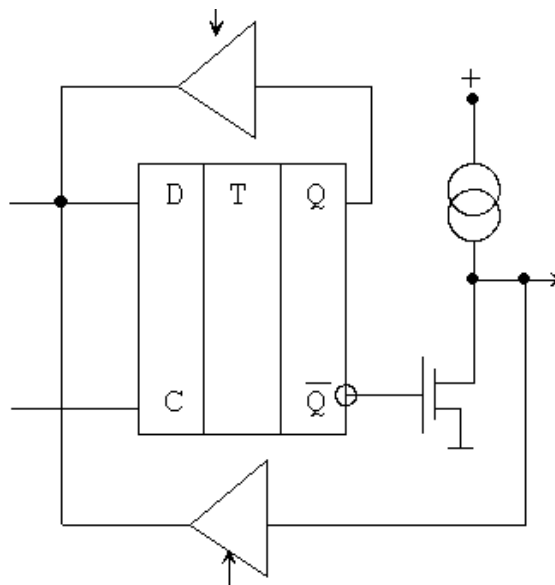


Рисунок 2.8 – Квазідвонаправлена структура

На рис. 2.8 наведено схемотехнічну структуру одного розряду програмованого паралельного порту. Під час виведення інформації через квазідвонаправлений порт дані з внутрішньої шини даних (ШД) процесора надходять на інформаційний вхід відповідного тригера (D-тригера) порту, що супроводжується сигналом синхронізації (запису). За переднім фронтом цього сигналу дані фіксуються в тригері та встановлюються на його виходах.

Якщо в тригер записується логічна одиниця («1»), то на його інверсному виході $\bar{Q}$ формується потенціал логічного нуля («0»). Це призводить до замикання (закриття) вихідного польового транзистора. У результаті на зовнішньому виводі порту через внутрішній резистор підтягування (елемент

обмеження струму) від джерела живлення встановлюється потенціал логічної одиниці.

Якщо ж у тригер записується логічний нуль («0»), то високий потенціал з інверсного виходу $\bar{Q}$ переводить вихідний транзистор у режим насичення (відкритий стан). Це забезпечує з'єднання виводу порту із загальною шиною («землею»), формуючи на ньому потенціал логічного нуля.

Особливістю квазідвонаправленої структури порту є те, що в такому стані зовнішній периферійний пристрій не може коректно подати на вивід порту сигнал логічної одиниці, оскільки відкритий вихідний транзистор шунтуватиме цей сигнал на «землю». Крім того, будь-які спроби зчитування (введення) даних у процесор через нижній за схемою буферний каскад із зовнішнього виводу повертатимуть значення логічного нуля, поки вихідний транзистор перебуває в стані насичення.

Базові правила функціонування квазідвонаправлених портів.

У режимі виведення даних: інформація, що надходить із процесора через ППП, фіксується на відповідних виводах мікросхеми і зберігає свій стан незмінним до наступного циклу звернення (запису) до порту.

У режимі введення даних: перед зчитуванням інформації від зовнішніх пристроїв у відповідні розряди порту необхідно програмно записати логічні одиниці («1»).

Попередній запис логічної одиниці в розряд порту закриває вихідний транзистор і переводить його у високоімпедансний стан, що повністю нівелює його схемотехнічний вплив на інформаційні сигнали, які вводяться в процесор від зовнішнього джерела.

2.11 Блок контролю температури, контролер PIC 16C62

Архітектурні та функціональні особливості мікроконтролера PIC16C62.

Мікроконтролер PIC16C62 належить до сімейства 8-бітних КМОП (CMOS) мікроконтролерів архітектури RISC виробництва компанії Microchip Technology. Пристрої цієї серії поєднують низьку собівартість із високою

обчислювальною продуктивністю завдяки використанню Гарвардської архітектури та розділених шин команд і даних.

Апаратна організація пам'яті та обчислювального ядра, – пам'ять програм: внутрішній масив постійного запам'ятовуючого пристрою (OTP ROM) об'ємом $1K \times 14$ біт, пам'ять даних – оперативна пам'ять (SRAM) об'ємом 64 байти.

Формат команд: усі інструкції є однослівними (ширина магістралі — 14 біт).

Швидкодія, – тривалість виконання стандартної команди становить один машинний цикл (400 нс за тактової частоти генератора 10МГц). Команди розгалуження та переходу (через необхідність перезавантаження конвеєра) виконуються за два машинні цикли (800нс).

Підсистема переривань, – інтегрований контролер переривань, що підтримує обробку запитів від 4 незалежних джерел.

Апаратний стек, – 8-рівневий глибокий стек для збереження адрес повернення з підпрограм та процедур обробки переривань.

Периферійні модулі та інтерфейси вводу-виводу, – периферійний контур мікроконтролера містить 8-бітний таймер/лічильник TMR0, з'єднаний із 8-бітним програмно керованим попереднім дільником (прескалером), що розширює розрядність таймера до 16 біт.

Для зв'язку із зовнішніми пристроями передбачено 13 ліній двонаправленого дискретного вводу-виводу (I/O). Канали вводу-виводу мають високу навантажувальну здатність – максимальний струм становить 25{mA} (вхідний), а максимальний вихідний струм — 20{mA}. Це дозволяє безпосередньо комутувати периферійні компоненти (наприклад, світлодіодні індикатори або малопотужні реле) без застосування проміжних транзисторних драйверів, знижуючи загальну вартість і габарити кінцевого пристрою.

Програмно-технічна підтримка розробки. Проектування та верифікація систем на базі PIC16C62 забезпечується уніфікованим інструментарієм Microchip, що включає:

- крос-асемблер (MPASM);

- програмний симулятор (MPLAB SIM);
- внутрісхемний емулятор (ICE);
- апаратний програматор.

Області застосування та експлуатаційні переваги.

Мікроконтролери серії PIC16C62 адаптовані для інтеграції у широкому спектрі промислових та побутових систем: від високошвидкісних контурів керування автомобільними вузлами й електричними приводами до енергоефективних віддалених прийомо-передавачів, вимірювальних (вказувальних) приладів та комунікаційних процесорів.

Наявність енергонезалежної пам'яті дозволяє фіксувати та динамічно підлаштовувати робочі параметри у прикладних алгоритмах (ідентифікаційні коди передавачів, профілі швидкостей приводів, частотні характеристики приймальних трактів тощо).

Завдяки компактним геометріям корпусів для класичного (DIP) та поверхневого (SOIC/SSOP) монтажу, компоненти є оптимальними для проектування малогабаритних портативних пристроїв. Мала вартість, низьке енергоспоживання, швидкодія та гнучкість конфігурування портів вводу-виводу дозволяють ефективно застосовувати PIC16C62 як альтернативу дискретній жорсткій логіці (автоматам стану), як інтегровані спеціалізовані таймери, або як периферійні співпроцесори у складних розподілених архітектурах управління.

Можливість програмування кристала на фінальних етапах виробництва (зокрема занесення калібрувальних коефіцієнтів та ідентифікаційних даних після остаточного тестування апаратного забезпечення) спрощує процес серійного тиражування та гнучкої адаптації систем під конкретні технічні вимоги.

Огляд характеристик PIC16C62.

Специфікація архітектури та підсистем мікроконтролера.

На основі аналізу схемотехнічних характеристик кристала (на прикладі базової RISC-архітектури PIC) визначено такі ключові параметри та функціональні можливості апаратних підсистем:

- **Архітектура системи команд.** Скорочений набір інструкцій (RISC), що містить лише 35 простих команд.
- **Розрядність магістралей.** 14-бітна шина команд та 8-бітна шина даних.
- **Цикл виконання інструкцій.** Детермінований час виконання однієї команди становить один машинний цикл (400 нс за максимальної тактової частоти). Команди розгалуження та переходу виконуються за два машинні цикли (800 нс).
- **Діапазон тактових частот.** До 10 МГц (мінімальна тривалість командного циклу – 400 нс).
- **Енергонезалежна пам'яті програм.** Вбудована електрично перепрограмована пам'ять (EEPROM/Flash) об'ємом 1024×14 біт.
- **Регістрова структура.** 36 8-бітних регістрів загального призначення (GPR) та 15 спеціалізованих апаратних регістрів (SFR).
- **Енергонезалежна пам'ять даних.** Вбудований масив EEPROM об'ємом 64×8 біт.
- **Стек.** 8-рівневий апаратний стек для збереження контексту обчислень.
- **Режими адресації.** Підтримка прямої, непрямої та відносної адресації даних та інструкцій.
- **Підсистема переривань та периферія.**
- **Контролер переривань.** Підтримує обробку запитів від 4 незалежних джерел:
 - зовнішній апаратний вхід переривання INT;
 - переповнення базового таймера/лічильника RTCC (TMR0);
 - зміна логічних рівнів на лініях паралельного порту PORTB;
 - завершення апаратного циклу запису даних в енергонезалежну пам'ять EEPROM.

- **Порти вводу-виводу.** 13 ліній цифрового вводу-виводу (I/O) з можливістю індивідуального програмного конфігурування напрямку передачі даних.
- **Навантажувальна здатність портів (для безпосереднього керування світлодіодними індикаторами):**
 - максимальний вхідний струм (струм входів, Sink current) – 25 {mA};
 - максимальний вихідний струм (струм виходів, Source current) – 20 {mA}.
- **Таймерний комплекс.** 8-бітний таймер/лічильник реального часу RTCC з інтегрованим 8-бітним програмованим попереднім дільником (прескалером).
- **Системні сервіси, безпека та енергозбереження.**
- **Підсистема скидання та запуску.** *автоматичне скидання мікроконтролера під час подачі живлення (Power-on Reset — POR);
 - таймер затримки увімкнення при скиданні (Power-up Timer — PWRT);
 - таймер стабілізації запусканого генератора (Oscillator Start-up Timer — OST).
- **Захист від зависань системи.** Сторожовий таймер (Watchdog Timer — WDT) із власним незалежним вбудованим RC-генератором, що забезпечує підвищену відмовостійкість системи.
- **Захист інтелектуальної власності.** Спеціалізований EEPROM-біт захисту від несанкціонованого зчитування коду програми.
- **Режими зниженого енергоспоживання.** Підтримка статичного економічного режиму сну (SLEEP).
- **Конфігурування генератора та інтерфейс програмування.** У структурі мікроконтролера передбачено вибір користувачем конфігураційних бітів для встановлення режиму збудження вбудованого тактового генератора:
- **RC** – зовнішній резистивно-ємнісний ланцюг (економічний низькочастотний режим);

- **ХТ.** – стандартний кварцовий резонатор середньої частоти;
- **НС** – високочастотний кварцовий резонатор або керамічний фільтр;
- **LP** – економічний низькочастотний кварцовий кристал (мінімальне енергоспоживання).
- **Інтерфейс внутрішньосхемного програмування** Інтегрований автомат запису коду в пам'ять програм і даних, що реалізує послідовний протокол обміну і використовує для комутації з програматором лише два виводи (виділені виводи кристала).

Архітектура процесора

Архітектура досліджуваного мікроконтролера базується на концепції роздільних шин та незалежних просторів пам'яті для команд і даних, що відповідає Гарвардській архітектурній моделі.

Дана концепція дозволяє реалізувати спрощений, але високоефективний набір інструкцій. Його апаратна структура оптимізована для високошвидкісного виконання побітових, побайтових та реєстрових операцій за рахунок часового перекриття фаз вибірки команд та циклів їхнього безпосереднього виконання.

Фіксована 14-бітна ширина програмної пам'яті забезпечує зчитування будь-якої інструкції з ПЗУ за один системний цикл. Паралелізм обчислень досягається завдяки впровадженню двоступінчастого конвеєра, який у поточний момент часу суміщає фазу виконання поточної команди з фазою вибірки (декодування) наступної інструкції.

Внаслідок конвеєризації всі команди процесорного ядра виконуються за один машинний цикл, за винятком команд розгалуження, безумовних та умовних переходів, які потребують двох циклів через необхідність скидання та оновлення черги конвеєра.

У мікроконтролері PIC16C62 масив програмної пам'яті об'ємом $1K \times 14$ біт повністю інтегрований у структуру кристала. Організація обчислювального процесу передбачає, що виконання прикладного програмного коду можливе

виключно з вбудованого резидентного ПЗУ без можливості адресації до зовнішніх носіїв інформації.

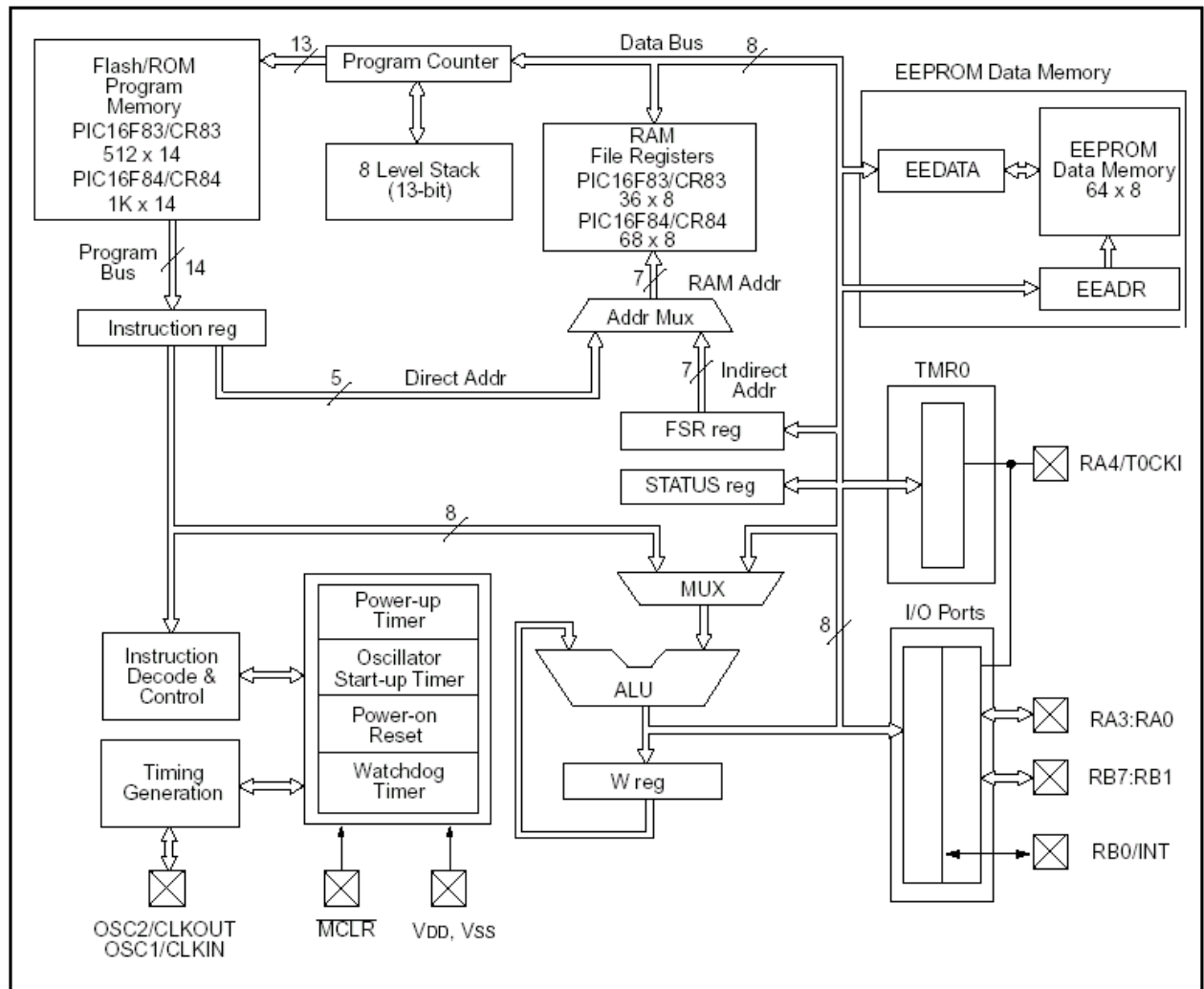


Рисунок 2.9 –Архітектура процесора

Напівпровідникова структура мікроконтролерів PIC базується на спеціалізованій комплементарній структурі метал-оксид-напівпровідник (КМОП / CMOS), яка визначає експлуатаційні, температурні та частотні характеристики кристала:

Технологічні особливості напівпровідникового кристала:

- **Енергонезалежна матриця.** Інтеграція високошвидкісної КМОП-технології EPROM (електрично програмованих постійних запам'ятовуючих пристроїв) із низьким рівнем статичного струму витoku.
- **Статичний принцип схемотехніки.** Повна підтримка статичного режиму функціонування обчислювального ядра. Це дозволяє знижувати

тактову частоту близько до 0Гц (зупинка тактового генератора) із повним збереженням поточного стану регістрів, апаратного стека та оперативної пам'яті даних.

Температурні класи та діапазони напруг живлення:

Архітектура кристала забезпечує стабільність динамічних параметрів у широкому діапазоні напруг живлення (від 2.0 до 6.0{V}) відповідно до трьох базових категорій експлуатаційного виконання:

- **Комерційне (Commercial):** температурний діапазон 0...+70 °C (номінал напруги живлення — 2.0÷6.0 В);
- **Промислове (Industrial):** температурний діапазон –40...+70 °C (номінал напруги живлення — 2.0÷6.0 В);
- **Автомобільне (Automotive):** температурний діапазон –40...+125 °C (номінал напруги живлення — 2.0...6.0 В).

Параметри енергоспоживання у різних режимах роботи:

Енергетична ефективність напівпровідникової КМОП-структури характеризується низькими показниками споживання струму залежно від частоти тактування та робочої напруги:

- **Активний високочастотний режим:** типове значення струму споживання становить 3 мА (за напруги живлення 5 В та тактової частоти 4 МГц);
- **Активний низькочастотний режим:** типове значення струму споживання не перевищує 50 мкА (за напруги живлення 2 В та тактової частоти 32 кГц);
- **Статичний режим глибокого сну (SLEEP):** типовий струм споживання в енергозберігаючому режимі становить лише 26 мкА (за напруги живлення 2 В).

Таблиця 2. 1 – Позначення виводів PIC 16C62

Позначення	Нормальний режим	Режим запису EEPROM
RA0 - RA3	Двонаправлені лінії вводу/виводу. Вхідні рівні ТТЛ.	-
RA4/RTCC	Вхід через тригер Шмитта. Ніжка порту вводу/виводу з відкритим чи стоком вхід частоти для таймера/лічильника RTCC.	-
RB0/INT	Двонаправлена лінія порту вводу/виводу зовнішній вхід переривання. Рівні ТТЛ.	-
RB1 - RB5	Двонаправлені лінії вводу/виводу. Рівні ТТЛ.	-
RB6	Двонаправлені лінії вводу/виводу. Рівні ТТЛ.	Вхід тактової частоти для EEPROM
RB7	Двонаправлені лінії вводу/виводу. Рівні ТТЛ.	Вхід/вихід EEPROM даних.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок надійності

Експоненціальне зростання структурно-функціональної складності сучасної електронної апаратури зумовлює підвищення вимог до її безвідмовності та ремонтпридатності на етапі проектування. Нехтування заходами щодо забезпечення заданого рівня надійності призводить до критичного підвищення частоти відмов, внаслідок чого більша частина експлуатаційного періоду виробу витрачається на проведення рекламацийних та ремонтно-відновлювальних робіт.

Надійність є одним із базових критеріїв якості радіоелектронних засобів (РЕЗ). Тому під час проектування апаратури її показники підлягають комплексному аналізу нарівні з електричними, масогабаритними та вартісними параметрами. На основі результатів розрахунку надійності приймається рішення щодо коректності та оптимізації обраних схемотехнічних і конструктивно-технологічних рішень.

Кількісна оцінка надійності базується на визначенні ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ та середнього наробітку до відмови T_0 . Математичний розрахунок полягає в аналітичному визначенні інтегральних показників надійності всього виробу на основі відомих значень інтенсивності відмов λ його дискретних компонентів з урахуванням реальних кліматичних та механічних умов експлуатації.

Для проведення розрахунків розробляється структурно-логічна модель надійності (структурна схема надійності), побудова якої ґрунтується на таких припущеннях:

- відмови окремих електрорадіовиробів (ЕРВ) є статистично незалежними подіями;

- компоненти та система в цілому можуть перебувати лише в одному з двох взаємовиключних станів: повністю працездатному або непрацездатному.

Визначення функціональних параметрів надійності (зокрема індивідуальних інтенсивностей відмов для всіх типоміналів елементів, сумарного наробітку на відмову та ймовірності безвідмовної роботи протягом заданого інтервалу часу) здійснюється відповідно до уніфікованої галузевої методики.

Для структур без апаратної надлишковості (нерезервованих систем), а також для кожного окремого субмодуля за наявності резервування, першочергово визначають експлуатаційну інтенсивність відмов для кожного типоміналу компонентів за формулою:

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_{i=1}^n K_i$$

де λ_0 – базова (номінальна) інтенсивність відмов елемента за стандартних умов; K_i – комплекс поправкових коефіцієнтів, що враховують електричне навантаження, температурний режим, вібраційні впливи та інші деструктивні чинники середовища експлуатації.

Для схем, котрі працюють без резервування, або для окремих блоків при наявності резерву, визначають інтенсивність відмов для кожного типу та номіналу елементів. При врахуванні умов експлуатації інтенсивність відмов розраховують як:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} k_1 k_2 k_3 k_4 a_i(T, k_n), \quad (3.1)$$

де: λ_{0i} – номінал інтенсивності відмов; k_1, k_2 – коефіцієнти поправки у залежності від впливів механічних факторів; $k_1 = 1,04$, $k_2 = 1,03$; k_3 – коефіцієнт поправки для впливу вологості і температури на елементи; $k_3 = 2,0$; k_4 – коефіцієнти поправки від впливу атмосферного тиску; $k_4 = 1,45$; $a_i(T, k_n)$ – коефіцієнти поправки від температури поверхні елементів та коефіцієнта навантаження.

Розрахунок інтенсивності відмов схемних елементів системи автоматизованого управління приведені у таблиці 3.1.

Інтенсивність відмов схеми знаходимо у вигляді:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot m_i, \quad (3.2)$$

де: n – кількість типів номіналів елементів; m_i – кількість елементів i -го типу номіналу.

Підставляємо значення, розраховані в таблиці 3.1 отримаємо значення сумарної інтенсивності відмов:

$$\begin{aligned} \lambda = & (16 \cdot 0,393 + 25 \cdot 0,22 + 11 \cdot 0,372 + 1,304 + 2 \cdot 0,963 + 6 \cdot 0,683 + 1,988 + 17 \cdot 0,271 + \\ & + 3 \cdot 0,311 + 2 \cdot 1,087 + 2 \cdot 1,553 + 12 \cdot 0,776 + 4 \cdot 4,815 + 3 \cdot 2,889 + 0,435 + 2 \cdot 1,541 \\ & + 2 \cdot 0,279 + 144 \cdot 0,131 + 2 \cdot 2,174 + 3 \cdot 0,147) \cdot 10^{-6} = 113.47 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Таблиця 3.1 – Інтенсивність відмов радіоелементів схемних елементів системи
автоматизованого управління

Назва елементу	Кількіс ть	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$, 1/год.	T , $^{\circ}\text{C}$	k_n	$a_i(T, k_n)$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$, 1/год.
Конденсатор						
K10-17	16	0,63	25	0,5	0,2	0,393
K50-16	25	0,35	25	0,5	0,2	0,220
Мікросхема						
ADM3202	5	0,12	25	-	-	0,372
AT24C256	2	0,12	25	-	-	0,372
AT89C51	1	0,42	25	-	-	1,304
PCF8574	2	0,12	25	-	-	0,372
PCF8583	1	0,12	25	-	-	0,372
PCF8591	1	0,12	25	-	-	0,372
Продовження таблиці 2.4						
K140УД1А	2	0,31	25	-	-	0,963
K555ИД4	1	0,22	25	-	-	0,683
K555ИР8	2	0,22	25	-	-	0,683
K555КП2	1	0,22	25	-	-	0,683
K555ЛА3	1	0,22	25	-	-	0,683
K555ТМ2	1	0,22	25	-	-	0,683
KР142ЕН5А	1	0,45	25	-	-	1,988
Резистори						
МЛТ-0,125	17	0,043	25	0,5	0,53	0,071
РП1-1	3	0,1	25	0,5	0,45	0,311
Діоди						
КС133А	2	0,35	25	-	-	1,087
КД103А	2	0,5	25	-	-	1,553
Комутаційні вироби						
COSMOS Standart	12	0,25	25			0,776
DB9	4	1,55	25	-	-	4,815
ОНП-КГ	3	0,93	25	-	-	2,889
ПКН-1-22	1	0,14	25	-	-	0,435

3.2 Розрахунок вібростійкості

Елементи конструктивного виконання схеми системи автоматизованого управління можна представити у вигляді коливальних систем. Коливальна система описується власною коливною частотою f_0 . При дії на дану коливну систему зовнішніх вібрацій її поведінка залежатиме від співвідношення частот примусових вібрацій f до власної частоти f_0 .

Співвідношення амплітуд коливань кінця до амплітуди коливань основи друкованої плати позначаємо як γ :

$$\gamma = \frac{1}{\left(1 - \frac{f^2}{f_0^2}\right)}, \quad (3.3)$$

де: f - примусова частота коливань кріплення основи;

f_0 - власна частота коливань друкованої плати.

Розрахуємо частоту власних коливань друкованої плати з елементами на ній у вигляді:

$$f_0 = 10^5 \cdot K_H \cdot K_B \cdot B \cdot \frac{h}{a \cdot b}, \quad (3.4)$$

де: K_H - коефіцієнт впливу матеріалу друкованої плати, $K_H = 0.47$;

K_B - коефіцієнт впливу маси елементів розташованих на друкованій платі, $K_B = 0.6$;

B - частота, $B = 200$ Гц;

h - товщина друкованої плати, для текстоліту СФ2 – 50Г – 1,5 $h = 1.5$ мм;

a і b – розміри плати.

Розрахунок проводимо для кожного блоку окремо. Для блоку друкованої плати системи автоматизованого управління значення коефіцієнта K_B та лінійних розмірів плати будуть , – $K_B = 0.6$, $a = 200$ мм, $b = 110$ мм.

Підставляємо значення у вираз 3.4, після розрахунку отримаємо значення власної частоти друкованої плати в зборі:

$$f_0 = 10^5 \cdot 0.47 \cdot 0.6 \cdot \frac{1.5 \cdot 200}{110 \cdot 200} = 384 \text{ (Гц)}.$$

Проведемо розрахунок власної частоти друкованої плати у зборі для блоку управління та індикації ($K_B = 0.4$, $a = 70$ мм, $b = 50$ мм.):

$$f_0 = 10^5 \cdot 0.47 \cdot 0.4 \cdot \frac{1.5 \cdot 200}{50 \cdot 70} = 1311 \text{ (Гц)}.$$

З врахуванням вимог ОСТ4.ГО.010.009, друковані плати без амортизаційного кріплення повинні бути стійкими до частот у діапазоні частот мережі живлення – 50...60 Гц. Як висновок, обидві розраховані параметри друкованих плат відповідають вимогам ОСТ і установки на амортизаторах не потребують.

3.3 операторна модель виробництва зефіру

Опис операторної моделі виробництва зефіру

Позначення		Елементи	
підсистема	оператор	процесор	Системи та підсистеми
А			<i>Підсистема утворення виробів з показниками якості, що відповідають стандарту</i>
	I		<u>Оператор освіти упакованого зефіру</u>
		1	Процесор упаковки зефіру
		2	Процесор дозування пакувальних матеріалів
		3	Процесор дозування зефіру
В			<i>Підсистема освіти зефіру у вигляді окремих предметів із заданими показниками якості</i>
	I		<u>Оператор освіти підсушеного зефіру</u>
		1	Процесор видалення вологи у вигляді пари

Позначення		Елементи	
підсистема	оператор	процесор	Системи та підсистеми
		2	Процесор нагрівання зефіру
	II		Оператор желювання зефіру
		1	Процесор желювання зефіру
		2	Процесор темперування зефіру
	III		Оператор відсадження зефіру
		1	Процесор надання форми зефірної маси
C1			<i>Підсистема утворення зефірної маси із заданими технологічними властивостями</i>
	I		<u>Оператор освіти зефірної маси із заданими фізико-механічними властивостями</u>
		1	Процесор збивання рецептурної суміші з повітрям
		2	Процесор змішування рецептурної суміші з повітрям
		3	Процесор дозування повітря
C2			<i>Підсистема утворення рецептурної суміші із заданими показниками</i>
	I		<u>Оператор освіти рецептурної суміші</u>
		1	Процесор змішування рецептурної суміші
		2	Процесор дозування білка
		3	Процесор дозування емульсії
	II		<u>Оператор утворення цукро-яблучної суміші з сиропом</u>
		1	Оператор змішування цукро-яблучної суміші з сиропом
		2	Оператор дозування цукро-агаро-патокового сиропу

Позначення		Елементи	
підсистема	оператор	процесор	Системи та підсистеми
	III		<u>Оператор утворення цукро-яблучної суміші</u>
		1	Процесор змішування цукро-яблучної суміші
		2	Процесор дозування цукру-піску
		3	Процесор дозування яблучного пюре
C1			<i>Підсистема утворення цукро-агаро-патокового сиропу із заданими показниками якості</i>
	I		<u>Оператор уварювання сиропу</u>
		1	Процесор темперування сиропу
	II		<u>Оператор утворення цукро-агаро-патокової суміші</u>
		1	Процесор гомогенізації суміші
		2	Процесор змішування патоки з цукро-агаровою сумішшю
		3	Процесор дозування патоки
	III		<u>Оператор утворення цукро-агарової суміші</u>
		1	Процесор гомогенізації суміші
		2	Процесор змішування цукру-піску з розчином агару
		3	Процесор дозування цукру-піску
	IV		<u>Опертор утворення розчину агару</u>
		1	Процесор нагрівання розчину агару
		2	Процесор змішування набряклого агару з водою
		3	Процесор дозування води
	V		<u>Опертор утворення очищеного цукру-піску</u>
		1	Процесор відділення домішок

Позначення		Елементи	
підсистема	оператор	процесор	Системи та підсистеми
	VI		<u>Оператор освіти набряклого агару</u>
		1	Процесор набухання агару
		2	Процесор змішування агару з водою
		3	Процесор дозування води
		4	Процесор дозування агару

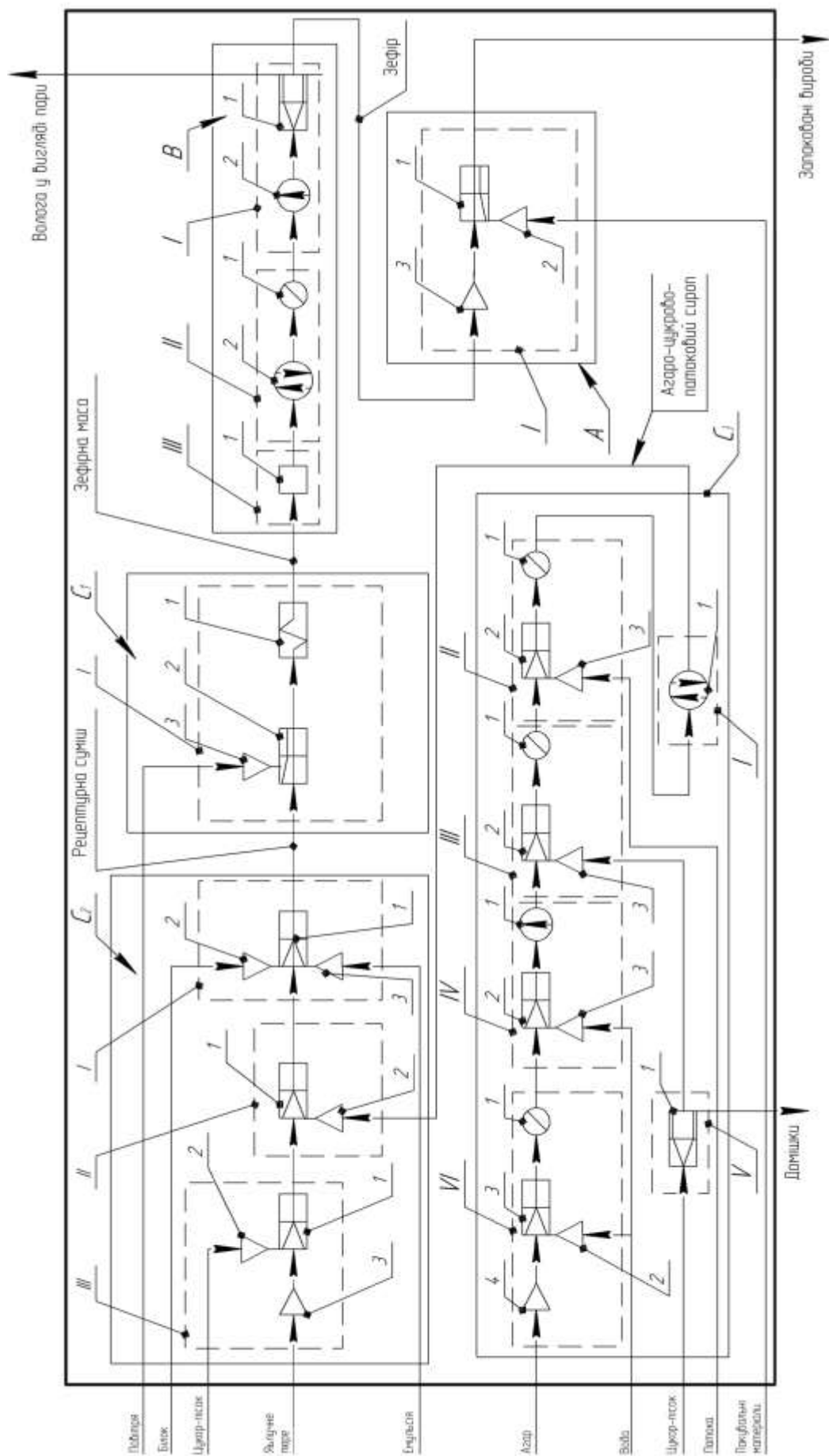


Рисунок 3.1. – Операторна модель виробництва зефіру

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Правила безпеки при експлуатації обладнання, що проектується.

Обладнання може обслуговувати особа, яка має кваліфікацію оператора харчової промисловості і ознайомлення з даною інструкцією по експлуатації.

Обладнання не потребує постійного нагляду обслуговуючого персоналу.

Не можна приводити в рух поламане обладнання.

Усунення неполадок дозволяється тільки персоналом служби головного механіка.

Не дозволяється робота обладнання в випадку відсутності захисних огорожень.

При митті обладнання миючим засобами і засобами дезінфекції слід дотримувати обережність і правила які відносяться до цих засобів а також одіти захисну одягу і насамперед :

- захисні окуляри,
- гумовий фартух на робочу одягу,
- гумові чоботи,
- захисні рукавиці,
- захисний капюшон,
- штани повинні прикривати чоботи.

При виявленні неполадки роботи обладнання слід заявити про ремонтній службі з метою усунення.

Обладнання перед передачею в експлуатацію слід:

- Заявити в Інспекцію Технічного нагляду;
- Провірити стан ізоляції і заземлення електропроводки.

Експлуатація установки не допускається :

- після закінчення терміну чергового огляду, якщо немає дозволу на експлуатацію;
- при відсутності в паспорті установки дозволу на експлуатацію;
- при виявленні неповної кількості кріпильних деталей.

Про заборону експлуатації установки повинен бути зроблений запис у паспорті установки з наведенням причини та повідомлено власника підприємства.

Для реєстрації та дозволу на пуск установки в експлуатацію особі, яка здійснює нагляд за установками, повинні бути подані:

- установки (за відсутності паспорта заводу виготовлювача власником установки повинно бути складено паспорт встановленої форми)
- акт, який засвідчує, що монтаж (встановлення) виконати у відповідності з проектом і всі елементи установки встановлено правильно.
- схема включення.

Після реєстрації паспорт установки зі всіма вказаними вище документами повертається власнику установки.

4.2 Розробка заходів які зменшують небезпеку виникнення вибухів і пожеж в цеху що проектується.

Технологічне обладнання за нормальних режимів роботи повинно бути пожежобезпечним, а на випадок небезпечних несправностей та аварій необхідно передбачити захисні заходи, що обмежують масштаб та наслідки пожежі.

Обладнання, призначене для використання пожежонебезпечних та вибухонебезпечних речовин і матеріалів має відповідати конструкторській документації.

Технологічні процеси необхідно проводити згідно до регламентів та іншої затвердженої у встановленому порядку нормативами технічної та експлуатаційної документації.

На всі застосовувані в технологічних процесах речовини й матеріали повинні бути дані про показники її пожежної безпеки за ГОСТ 12.1.044-89.

Спільне застосування, зберігання й транспортування речовин та матеріалів, котрі в результаті взаємодії одне з одним викликають займання, вибух або утворюють горючі і токсичні гази (суміші) не дозволяються.

У вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщеннях (дільницях, майстернях, цехах) та на устаткуванні, що становить небезпеку вибуху або займання, необхідно вивішувати знаки, які забороняють користування відкритим вогнем а також знаки, що попереджають про обережність за наявності займистих та вибухових речовин за ГОСТ 12.4.026-76.

Виробництва де перебувають в обігу пожежовибухонебезпечні речовини і матеріали повинні бути оснащені автоматичними засобами контролю параметрів значення яких визначають пожежовибухонебезпечність процесу, сигналізацію граничних значень і системами блокувань які перешкоджають виникненню аварійних ситуацій.

Для внутрішнього освітлення технологічних апаратів і споруд під час їхнього огляду і ремонту в діючому цеху повинні застосовуватися переносні світильники в вибухобезпечному виконанні напругою не більше 12В, захищені металічною сіткою.

В вибухонебезпечних цехах застосування переносних електроприладів і агрегатів, які не відповідають вимогам даними до електроустаткування в вибухобезпечному виконанні, приємливому до даного середовища, забороняється.

В виробничих приміщеннях потрібно передбачати робоче і аварійне освітлення.

Профілактичний огляд. Планово попереджувальні та капітальний ремонт технологічного обладнання повинні здійснюватися в терміни, встановлені відповідними графіками, з урахуванням виконання заходів щодо забезпечення пожежовибухобезпеки, передбачених проектом, технологічним регламентом, технічними умовами.

Технологічне устаткування, апарати і трубопроводи, в яких утворюються речовини, пожежовибухонебезпечні пари газів та пил, повинні бути герметичними.

У вибухопожежонебезпечних приміщеннях (цехах, дільницях, тощо) слід застосовувати інструмент, виготовлений з безіскрових матеріалів або у відповідному вибухопожежобезпечному виконанні.

Покриття підлог у приміщеннях катедорій за вибухопожежонебезпечністю А і Б повинно виконуватися з негорючих та таких, що під час ударів не дають іскор, матеріалів. Конструкція вікон та дверей у таких приміщеннях повинна виключати можливість іскроутворення.

4.3 Розрахунок евакуаційних шляхів із виробничих приміщень (дільниці) цеху що проектується.

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

Розрахунковий час евакуації з приміщень і будівель проводиться по формулах.

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

$$t_p \leq t_{нб}, \quad (4.1)$$

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

При розрахунку весь шлях руху людського потоку ділиться на ділянки (прохід, коридор, дверний проєм, сходовий марш, тамбур) довжиною l_i і шириною δ_i . Початковою ділянкою є проходи між робочими місцями, обладнанням.

При визначенні розрахункового часу довжина і ширина кожної ділянки шляху приймаються по проєкті. Довжина шляху по сходових маршах, а також по пандусах вимірюється по довжині маршу. Довжина шляху в дверних проємах приймається рівною до нуля. Проєм, розташований в стіні товщиною більше 0,7 м. а також тамбур потрібно рахувати самостійною ділянкою горизонтального шляху маючи закінчену довжину I_i .

Розрахунковий час евакуації людей t_p потрібно визначати як суму часу руху людського потоку по різних ділянках шляху t_i по формулі:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots t_i, \quad (4.2)$$

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

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

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

$$t_1 = \frac{I_1}{V_1} \quad (4.3)$$

де V_1 – значення швидкості людського потоку по горизонтальному шляху на першій ділянці, визначається по таблиці 5.1. в залежності від густини D_1 , м/хв.

Густина людського потоку D_1 на першій ділянці шляху який має довжину I_1 і ширину δ_1 потрібно визначати за формулою:

$$D_1 = \frac{N_1 f}{I_1 \delta_1}, \quad (4.4)$$

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

Значення швидкості V_1 руху людського потоку на ділянках шляху, наступній після першого, приймається по таблиці 5.1. в залежності від значення інтенсивності руху людського потоку по кожному з цих ділянок шляху, яке

потрібно визначити для всіх ділянок шляху, в тому числі і для дверних проємів по формулі:

$$\rho_1 = \frac{\rho_i - 1\delta_i - 1}{\delta_1} \quad (4.5)$$

де δ_i , δ_{i-1} – ширина розглядуваної i -тої і попереднього до нього $i-1$ ділянки шляху, м; ρ_i , ρ_{i-1} – значення інтенсивності руху людського потоку по розглядуваній i -тій попередньої $i-1$ ділянки шляху, м/хв; значення інтенсивності руху людського потоку на першій ділянці шляху, визначається по таблиці 4.1 по значенню D_1 , встановлений по формулі (4.4).

Таблиця 4.1. Швидкість і інтенсивність руху людського потоку в залежності від його щільності.

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

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

- Ширина коридору, зменшена на половину ширини дверного полотна, – при односторонньому розміщенні дверей;

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

На шляхах евакуації не повинно бути крутих підйомів (більш як 1/5) порогів та інших перепон. У таблиці 5.2. наводяться допустимі відстані від найвіддалених робочих місць до виходів назовні в залежності від категорії виробництва і ступеня вогнестійкості приміщення.

Необхідна сумарна ширина сходових маршів а також дверей або проходів на шляхах евакуації повинна бути забезпечена з розрахунку не менш як 125 чол. на 1м ширини для одно та двоповерхових, 100 чол. на 0,6м ширини для приміщень висотою в 3 і більше поверхів. Ширина коридорів у виробничих приміщеннях має бути не менше 1,4м, а ширина дверей не менше 0,8м.

Сумарна ширина проходів для евакуації всіх людей, що перебувають у цеху визначаються за формулою [16–21]:

$$B = \frac{M \times C}{t \psi} M \quad (4.6)$$

де М – кількість людей у цеху;

С – мінімальна ширина одного потоку, м;

Т – час евакуації, хв.;

ψ - середня пропускна здатність одного потоку, люд/хв.

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

Таблиця 5.2. – Допустимі відстані від робочих місць до виходів назовні

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

4.4 Розрахунок природнього освітлення для проектованої ділянки.

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

Природнє освітлення характеризується відношенням природної освітленості, яка створюється всередині приміщення небесним світлом, до значення зовнішньої освітленості земної поверхні від небосхилу, виражене в процентах. Це відношення прийнято називати коефіцієнтом природного освітлення (КПО).

Нормування природного освітлення також проводять по розміщенню вікон і в значній мірі залежить від їх конструктивних особливостей та поруч стоячих будівель. При боковому природному освітленні його мінімальне значення $e_{\min}$ нормується:

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

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

При дослідному визначенні КПО потрібно проводити заміри освітленості всередині та зовні приміщення одночасно, при хмарному небі. Місце для виміру зовнішньої освітленості вибирають на відкритій ділянці земної поверхні. Для визначення КПО в декількох місцях приміщення зазвичай користуються базовою точкою, для якої КПО визначені значенням e_6 . Як правило, місце цієї точки повинно бути добре освітленим природним світлом. Щоб визначити КПО другої точки, вимірюють освітленість в базовій точці E_6 і в другій вибраній точці E_x .

Тоді коефіцієнт природного освітлення для нової точки можна обчислити за формулами [22–26] :

$$e_x = e_6 \cdot \frac{E_x}{E_6} \quad (4.7).$$

При суміщеному природному освітленні КПО визначають за формулою (4.8):

$$e_c = e_6 + e_v \quad (4.8).$$

Для забезпечення нормованого значення КПО площу світових отворів визначають за формулою (5.9):

$$S = \frac{e_n \cdot \eta_0 \cdot S_n \cdot K_{zd} \cdot K_z}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1}, \quad (4.9)$$

де: e_n – нормоване значення КПО;

S – площа вікон, m^2 ;

η_0 – світлова характеристика вікна;

S_{Π} – площа підлоги;

τ_0 – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення КПО від відбитого світла;

$K_{зд}$ – характеризує затемнення вікон від навколишніх будинків;

K_3 – коефіцієнт запасу.

Значення коефіцієнтів вибираємо із “СНиП 11-4-79” згідно умов: $e_n = 1,5$;
 $\tau_0 = 0,9$; $r_1 = 2$; $K_{зд} = 1$; $K_3 = 1,5$; $S_{\Pi} = 288 m^2$. Тоді:

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

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

ВИСНОВОК

Метою кваліфікаційної роботи є автоматизація технологічного процесу виробництва зефіру створення та розробка автоматичної системи керування електросушильної камери ПСК/14.12-8, що підвищить продуктивність за рахунок більш оптимального управління технологічним та виробничим процесами, що відповідно забезпечить покращення якості кінцевого продукту та і ефективності виробництва і цілому.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розв'язано актуальну практичну задачу модернізації та автоматизації технологічного комплексу з виробництва пастило-мармеладних виробів, зокрема лінії виготовлення глазурованого зефіру продуктивністю 400 кг/год. На основі системного аналізу сучасних тенденцій автоматизації харчової промисловості обґрунтовано впровадження гнучких автоматизованих систем керування як визначального інструменту підвищення енергоефективності, мінімізації браку та інтенсифікації тепломасообмінних процесів.

У ході проектування виконано детальний аналіз технології виробництва зефірної маси на пектині, параметрів структурування та механічного формування, що дозволило здійснити прецизійний підбір та уточнення компоновки серійного обладнання. Ключову увагу приділено розробці автоматизованої системи керування конвеєрною електросушильною камерою ПСК/14.12-8, яка забезпечує детерміноване підтримання температурно-вологісних режимів у зоні сушіння.

Як центральний обчислювальний елемент системи керування та блока контролю температури обґрунтовано та інтегровано мікроконтролер PIC16C62, архітектурні особливості якого, зокрема використання Гарвардської структури, розвиненої периферії та апаратних інтерфейсів вводу-виводу, дозволили реалізувати локальні контури регулювання в реальному часі.

У спеціальній частині роботи за допомогою математичного моделювання підтверджено високу експлуатаційну надійність розробленої апаратної частини, визначено показники ймовірності безвідмовної роботи та середнього наробітку до відмови, а також проведено розрахунки конструкції на вібростійкість.

Складена операторна модель виробництва унаочнила взаємозв'язок між фізико-хімічними перетвореннями сировини та керуючими впливами автоматики.

Додатково в роботі розроблено комплекс інженерно-технічних заходів із промислової безпеки та охорони праці, виконано верифікаційні розрахунки природного освітлення робочої ділянки та параметрів евакуаційних шляхів, що забезпечує повну відповідність спроектованого об'єкта чинним нормативним вимогам пожежо-, вибухобезпеки та безперебійної експлуатації харчового виробництва.

Підлягає заміні наявна системи керування електросушильної камери конвейерної ПСК/14.12-8. КМ-1 – аналоговий регулятор, що забезпечує алгоритм ПІ-регулювання. Система досить проста, забезпечує надійне дотримання заданих технологічних параметрів. Недоліком даної системи є:

- неможливість змінити алгоритм регулювання;
- складність налагодження та обслуговування;
- неможливість оперативного внесення змін в програму;
- непридатність до роботи в мережі.

Крім того, позитивний вплив на продуктивність та економічність процесу сушки може мати і зміна алгоритму регулювання технологічних параметрів – з ПІ на ПД, або навіть ПІД-регулювання. Всі три алгоритми регулювання є допустимими для управління установкою електросушильної камери конвейерної ПСК/14.12-8.

Система керування повинна забезпечувати відповідне регулювання температурою оброблюваної сировини в електросушильній конвеєрній камері ПСК/14.12-8. за рахунок відповідних модернізацій системи керування

Вироби, що підлягають сушінню, розміщуються на конвеєрній стрічці і разом з нею поступають в робочий простір сушильної камери, утворене тепловим демпфером (муфелем). В кожній з 8-ми теплових зон сушильної камери встановлюється певна робоча температура.

Таким чином вироби на конвеєрній стрічці переміщуючись послідовно через всі зони в кожній з них нагріваються, або охолоджуються до заданої температури.

Встановлена в кожній тепловій зоні робоча температура підтримується з високою точністю за рахунок системи автоматичного регулювання температури.

Блок-схема одного з 8-ми каналів регулювання температури представлена в графічній частині, сигнал від терморезистивного датчика поступає в суматор, де відбувається алгебраїчне сумування сигналу “ U діюче” і сигналу задатчика “ U задане”.

Конвеєрна стрічка переміщається за допомогою привідної системи, що складається з двигуна постійного струму, черв’ячного кондуктора і безконтактної електронної системи керування. Остання дозволяє досягнути високої точності регулювання швидкості стрічки, разом з глибоким діапазоном регулювання швидкості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дюкарева Г. І., Соколовська О. О. Технологічні параметри розроблених пастильних виробів. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2015. Вип. 1(21). С. 79-89.
2. Кучерук З. І., Шматченко Н. В. Технологія кондитерських виробів: навчальний посібник для самостійного вивчення курсу. Х. :ХДУХТ, 2020. 179 с.
3. Дорохович А.М. Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів: навч. посібник / А. М. Дорохович, В. М. Ковбаса. – К. : ІНК ОС, 2015.– 632 с.
4. Технологія кондитерського виробництва. Практикум : навч. посібник / К. Г. Іоргачова, О. В.Макаренко, Л. В.Гордієнко, Г. В. Коркач; за заг. ред. К. Г. Іоргачової. – Одеса : ОНАХТ, 2011. – 208 с.
5. Харчові технології. Технології хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчо концентратів : навч. посібник / О. В. Самохвалова, З. І. Кучерук, С. Г. Олійник та ін.; за ред. О. В. Самохвалової. – Х. : ФОП Бровін О.В., 2019. – 284 с.
6. Інноваційні технології хлібобулочних і кондитерських виробів : колективна монографія / О. В. Самохвалова [та ін. – Х. : ТО Ексклюзив, 2015. – 463с.
7. Сирохман І. В. Асортимент і якість кондитерських виробів : навч. посібник / І. В. Сирохман, В. Т. Лебединець. – К.: Центр навчальної літ-ри, 2009. – 636 с
8. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування С# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
9. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с.

<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>

- 10.Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
- 11.Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Конструкторсько-технологічна практика. Методичні вказівки для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 22 с.
- 12.Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
- 13.Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
- 14.Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>
- 15.Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.

16. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>
17. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>
18. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>
19. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>
20. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>
21. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418>

- 22.Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>
- 23.Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.
- 24.Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
- 25.Аналіз стійкості і якості електромеханічної слідкуючої системи. : Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Теорія автоматичного управління», для здобувачів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньо-професійних програм «Комп’ютерно-інтегровані системи автоматики та робототехніки», «Комп’ютеризовані системи управління та прикладне програмування». / укл. І.Р. Козбур, В.П. Пісьціо, В.Б. Савків, П.С. Федорів. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 67 с
- 26.Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
- 27.Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня бакалавр усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
- 28.Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів

- освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
- 29.Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
- 30.Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
- 31.Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
- 32.Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
- 33.Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>
- 34.Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерні системи штучного інтелекту» для студентів спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форми здобуття освіти / уклад. І. С. Дідич. // ТНТУ. – 2025. – С. 92. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50293>
- 35.Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>
- 36.Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навч. посіб.

Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.

37. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>
38. Atmel Flash Microcontrollers. Product Portfolio - Atmel corporation. – 2012. - 28 р.
39. Kristian Saether, Ingar Fredriksen, Introducing a New Breed of Microcontrollers for 8/16-bit Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.atmel.com/images/doc7926.pdf>
40. Валяшек В.Б. Навчальний посібник з курсу: “ Оптимізаційні методи та моделі “ для спеціальностей “Облік і аудит, Фінанси і кредит, Маркетинг, Економічна кібернетика” / Кривень В.А., Валяшек В.Б., Цимбалюк Л.І., Козбур Г.В. – Тернопіль : видавництво ТНТУ, 2015. – 83 с.
41. Павельчак А. Г. Програмування мікроконтролерів систем автоматики: конспект лекцій для студентів базового напрямку 050201 —Системна інженерія» / Укл.: А.Г. Павельчак, В.В. Самотий, Ю.В. Яцук – Львів: Львівська політехніка. – 2012. – 143 с.