

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Донецький національний університет економіки і торгівлі  
імені Михайла Туган-Барановського  
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ  
Гарант освітньої програми «Галузеве  
машинобудування»  
Цвіркун Л.О.  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
за освітньою програмою «Галузеве машинобудування»

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАМОРОЖУВАННЯ  
ПРОДУКЦІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА  
ПРОДУКТІВ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти Кузьмін Ігор Володимирович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

д.т.н., професор Хорольський В.П. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кривий Ріг  
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти заочна

Ступінь бакалавр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Галузеве  
машинобудування»

Цвіркун Л.О.

«    » \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Кузьміну Ігорю Володимировичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження технологій заморожування продукції та роботизація обладнання для виробництва продуктів здорового харчування»

Керівник роботи д.т.н., проф. Хорольський В.П.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від «19» листопада 2021 р. №415-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «20» травня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.

2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.

2. Аналітична частина. Проектування робототехнологічного обладнання і технологій заморожування продуктів харчування.

3. Розробка обладнання і технологій виробництва заморожуваних продуктів харчування.

4. Розробка робототехнологічних технологій та обладнання для виробництва м'ясопродуктів здорового харчування.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Алгоритм створення типових продуктів здорового харчування.

2. Візковий робототизований морозильний апарат.

3. Конвеєрний робототизований комплекс заморожування продуктів.

4. Схема робототехнологічного комплексу з виробництва продукції здорового харчування.

6. Дата видачі завдання «26» листопада 2021 р.

7. Календарний план

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи   | Строк виконання етапів роботи |
|-------|---|-------------------------------|
| 1     | Вступ   | 31.01.2022-15.02.2022         |
| 2     | Аналітична частина. Існуючі системи виробництва та обладнання для виробництва заморожуваних продуктів     | 16.12.2022-10.03.2022         |
| 3     | Розробка обладнання і технологій виробництва заморожуваних продуктів харчування                           | 11.03.2022-15.04.2022         |
| 4     | Розробка робототехнологічних технологій та обладнання для виробництва м'ясопродуктів здорового харчування | 16.04.2022-30.04.2022         |
| 5     | Висновки по роботі  | 01.05.2022-12.05.2022         |
| 6     | Оформлення роботи і подання до захисту  | 16.05.2022-25.05.2022         |

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Кузьмін І.В.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Хорольський В.П.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра містить:  
55 сторінок, 7 додатки, 5 таблиці, 9 рисунки.

На тему: «Дослідження технологій заморожування продукції та роботизація обладнання для виробництва продуктів здорового харчування».

**Об'єктом досліджень** – технології та робото технологічне обладнання для виробництва заморожуваних м'ясних продуктів харчування.

**Предметом дослідження** - технологічні процеси та робото технологічне обладнання для виробництва заморожуваних продуктів харчування.

**Метою** випускної роботи бакалавра є розвиток наукових основ та принципів створення інноваційних технологій та робототехнологічного обладнання з виробництва м'ясопродуктів для здорового харчування.

**Наукова та практична цінність роботи.** Розроблена база знань та моделювання процесів заморожування продуктів здорового харчування з використанням технологій робототехніки дозволяють одержати інноваційні розробки безлюдних технологій виробництва м'ясних продуктів для людей, які працюють та мешкають на забруднених територіях

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** виробництво заморожених продуктів харчування, обладнання, робототехнологічне обладнання, (АСУ), здорове харчування

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП   | 6  |
| РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ   | 7  |
| 1.1 Сучасні роботи в системах керування виробництвом продукції та робототехнологічні комплекси для заморожування продуктів харчування         | 7  |
| 1.2 Системне проектування робототехнологічного обладнання з виробництва продуктів здорового харчування  | 12 |
| РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЗАМОРОЖУВАНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ   | 19 |
| 2.1 Визначення загального напрямку розвитку заморожуваних продуктів харчування і обґрунтування вибору сировини та обладнання для її переробки | 19 |
| 2.2 Холодильне робототизоване обладнання в системі виробництва заморожуваних продуктів здорового харчування                                   | 22 |
| 2.3 Методи створення бази знань і математичні моделі холодильного технологічного обладнання   | 26 |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА РОБОТОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСОПРОДУКТІВ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ                               | 38 |
| 3.1. Роботизація технологічного процесу виробництва заморожуваних продуктів харчування  | 38 |
| 3.2 Несправності робототизованих холодильних установок і їх усунення  | 39 |
| 3.3 Техніка безпечної експлуатації та обслуговування робототизованих холодильних установок  | 41 |
| ВИСНОВКИ  | 42 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ  | 44 |
| ДОДАТКИ   | 45 |

|                  |                    |                 |               |             |  |                                 |             |               |
|------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------|--|---------------------------------|-------------|---------------|
|                  |                    |                 |               |             | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>   |                                 |             |               |
| <i>Зм.</i>       | <i>Арк.</i>        | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |                                 |             |               |
| <i>Розроб.</i>   | <i>Кузьмін</i>     |                 |               |             | <b>Дослідження технологій заморожування продукції та роботизація обладнання для виробництва продуктів здорового харчування</b> | <i>Літ.</i>                     | <i>Арк.</i> | <i>Аркуші</i> |
| <i>Перевір.</i>  | <i>Хорольський</i> |                 |               |             |  |                                 | 1           | 47            |
| <i>Н. Контр.</i> | <i>Омельченко</i>  |                 |               |             |  | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b> |             |               |
| <i>Затверд.</i>  | <i>Цвіркун</i>     |                 |               |             |  |                                 |             |               |

## ВСТУП

Українська харчова промисловість та сільське господарство у довоєнний період забезпечували за показниками організації ООН харчами 400 млн. населення світу.

Величезну кількість продукції харчова індустрія виробляє для населення, яке мешкає на забруднених територіях нашої області. Вчені ДонНУЕТ розробили для м'ясної промисловості регіону ряд проектів щодо виробництва безпечних продуктів харчування загального та спеціального призначення на базі робототехнологічних комплексів та безлюдних технологій [1].

Значний внесок у вирішенні фундаментальних проблем створення та розвитку теорії та практики інноваційних технологій здорового харчування покращення їх функціональних властивостей сировини тваринного і рослинного походження, в тому числі з використанням активованих рідких середовищ, внесли дослідження вчених Нікіфорова Р.П., Коренця Ю.М., Сімакової О.О., Миколаєва, Л.А. Остроумова, В.М. Позняковського, І.А. Рогова, С.А. Рябцева, А.В. Серова, Е.И. Титова, Н.В. Тимошенко, Я.М. Узакова, А.В. Устинова, А.А. Храмцова, І.М. Чернухи, С.Б. Юдіна, F. Clydesdale, A.T. Diplock, Y.C. Hung, J.M. Irudayaraj, S. Jun і ін.

Вченими ДонНУЕТ доведено, що для людей, які працюють на підприємствах гірничо-металургійного комплексу в умовах високого забруднення, лише висококалорійне харчування створює умови для оптимального фізичного і розумового розвитку та підтримує високу продуктивність праці [4-9, 10]. За висновками вчених забезпечення організму криворізьких робітників комплексу додатковими вітамінами в харчових речовинах буде також сприяти профілактиці хронічних неінфекційних захворювань, збереженню здоров'я і довголіття.

Разом з тим вченими ДонНУЕТ доведено, що за допомогою профілактичного харчування можливо знизити кількість багатьох неінфекційних захворювань, наприклад серцево-судинних - на 25%, пов'язаних з органами зору - на 20%, діабет - на 50%, зі старінням організму - на 80%. Споживчий попит на функціональні харчові продукти щороку зростає [5, 6].

У зв'язку з цим заслуговує на увагу розроблені автором методи роботизації виробництва заморожуваних продуктів харчування для людей, що мешкають на територіях з техногенним тиском на основі розроблених вченими ДонНУЕТ наукових основ і [4] методологічних принципів проектування нових харчових продуктів для здорового харчування.

|           |      |             |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>   |                                 |      |        |
|-----------|------|-------------|--------|------|--|---------------------------------|------|--------|
| Зм.       | Арк. | № докум.    | Підпис | Дата |  |                                 |      |        |
| Розроб.   |      | Кузьмін     |        |      | <b>Дослідження технологій заморожування продукції та роботизація обладнання для виробництва продуктів здорового харчування</b> | Літ.                            | Арк. | Аркуші |
| Перевір.  |      | Хорольський |        |      |  |                                 | 1    | 47     |
| Н. Контр. |      | Омельченко  |        |      |  | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b> |      |        |
| Затверд.  |      | Цвіркун     |        |      |  |                                 |      |        |

**Метою** кваліфікаційної роботи бакалавра є розвиток принципів створення робототизованих технологій та обладнання для виробництва м'ясопродуктів щодо здорового харчування населення регіону з техногенним забрудненням.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- проаналізувати сутність, термінологічні аспекти, робототехнічних систем виробництва продукції здорового харчування, проблем і тенденцій, пов'язаних з розробкою, класифікацією і створенням м'ясопродуктів для здорового харчування [4];

- на основі розвитку технологій імітаційного моделювання запропонувати технології виробництва заморожуваних м'ясопродуктів харчування;

- розробити математичні моделі та базу знань комплексу для ефективної реалізації процесу моделювання процесу заморожування і оцінки якості заморожених м'ясопродуктів [2];

- на основі системного підходу обґрунтувати обладнання для заморожування м'ясних продуктів харчування;

- розробити робототехнологічні технології виготовлення заморожуваних продуктів харчування, їх обслуговування виробничим персоналом.

**Об'єкт дослідження** – технології заморожування та робототехнологічне обладнання, холодильне обладнання

**Предмет дослідження** – робототехнологічне обладнання в системі безлюдного виробництва заморожуваних продуктів харчування.

**Наукова та практична цінність роботи.** Розроблена база знань та моделювання процесів заморожування продуктів здорового харчування з використанням технологій робототехніки дозволяють одержати інноваційні розробки безлюдних технологій виробництва м'ясних продуктів для людей, які працюють та мешкають на забруднених територіях.

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.з133.ГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 7    |

# РОЗДІЛ 1

## ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ

### 1.1 Сучасні роботи в системах керування виробництвом продукції та робототехнологічні комплекси для заморожування продуктів харчування

Роботи та робототехнологічні системи знаходять широке використання в харчовій та сільськогосподарській промисловості. Роботизація та автоматизація рутинних видів розумової праці людини з використанням роботів – головний фактор підвищення продуктивності праці в харчовій промисловості та проектування робототизованих комплексів з виробництва смарт- продуктів для населення України та країн ЄС.

Робототехнологічні комплекси – багатотехнологічні, автоматично діючі, перепрограмовані роботи, вбудовані в технологічний процес, спроектовані на принципах синергетичної інтеграції елементів різної фізичної природи та призначені для перетворення енергії, матеріалів, інформації з метою створення керованих функціональних рухів його вихідних ланок направлених на підвищення якості продукції та зниження енергетичних затрат [1].

Промисловий робот – робот призначений для виконання технологічних операцій I /(АБО) допоміжних операцій в харчовій та сільськогосподарській промисловості. Технологічний промисловий робот- промисловий робот для виконання технологічних операцій, процесів, оснащений робочим та вимірювальним інструментом [2]. Допоміжний промисловий робот – промисловий робот для обслуговування технологічного обладнання, переміщення об'єктів, який оснащений пристроєм захоплення.

Спеціальний робот – робот для виконання однієї операції одного виду. Спеціалізований робот – робот для виконання різних операцій одного виду. Універсальний робот – робот для виконання різних операцій різних видів. Жорстко програмований робот - робот, керована програмна система якого, введена на етапі програмування, не може бути змінена в процесі роботи в залежності від функціонування робота I /(АБО) контрольованих параметрів робочого середовища [2, 3, 4].

Адаптивний робот – робот, управлінська програма якого може автоматично змінюватись в процесі роботи в залежності від функціонування робота I /(АБО) контрольованих параметрів робочого середовища. В харчовій промисловості знаходять використання роботи з «очувствленням», в яких датчики зовнішньої інформації (відеокамери) [3] дозволяють без зміни програм керування виконувати технологічні операції виробництва смарт-продукції.

|                  |             |                    |               |             |  |                                 |             |               |
|------------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|--|---------------------------------|-------------|---------------|
|                  |             |                    |               |             | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>   |                                 |             |               |
| <i>Зм.</i>       | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>    | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |                                 |             |               |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Кузьмін</i>     |               |             | <b>Дослідження технологій заморожування продукції та роботизація обладнання для виробництва продуктів здорового харчування</b> | <i>Літ.</i>                     | <i>Арк.</i> | <i>Аркуші</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Хорольський</i> |               |             |  |                                 | 9           | 47            |
| <i>Н. Контр.</i> |             | <i>Омельченко</i>  |               |             |  | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b> |             |               |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Цвіркун</i>     |               |             |  |                                 |             |               |



Інтелектуальний робот – робот, програма керування якого може повністю або частково формуватись автоматично у відповідності з поставленим завданням і в залежності від стану робочого середовища [5, 6]. Маніпуляційний робот – робот для виконання функцій руху, аналогічним функціям руки людини. Стаціонарний маніпуляційний робот, закріплений на нерухомій основі. Мобільний робот – робот який рухається в робочому середовищі у відповідності з програмою керування [8]. Він може бути забезпечений маніпулятором. До мобільних роботів не відносять пересувні маніпуляційні роботи, які можливо оперативно переміщувати в робочому середовищі в ручному режимі або за рахунок транспортних засобів з ручним керуванням.

Робототехнологічний пристрій вбудований в технологічну лінію виробництва продуктів харчування – інтелектуальний робот, побудований за принципами мехатроніки і інформаційних технологій, ефективно виконуючий програмні, функціональні рухи вихідного механізму в умовах зміни параметрів сировини і зовнішнього середовища призначений для виконання енергетичних, технологічних, транспортних, інформаційних перетворень з метою заміни фізичної праці людини – оператора, підвищення його розумової активності; з метою траєкторного управління виробництвом продукції здорового харчування для населення, яке мешкає на забруднених територіях [4, 8, 9].

Робототехнічні системи знайшли широкий вжиток в харчовій промисловості, особливо в технологіях безлюдного виробництва дитячого харчування та в системах упакування – завантаження - розвантаження продукції [4]. Роботи мають значну функціональну гнучкість за рахунок: прогресивних виконавчих механізмів, ефективних приводів, мікропроцесорних управлінських систем з розвиненим програмним забезпеченням, технічного зору і інших засобів візуалізації, адаптивних систем, елементів штучного інтелекту.

Поняття робототехніки (Р) витікає із наведеної на рисунку 1.1 системи: виробництва – менеджмент – вимоги ринку; механіки – електроніки – комп'ютерної техніки [5].



Рисунок 1.1 – Синергетичне Р-об'єднання механічних, електричних, електронних і комп'ютерних компонентів

Ці атрибути і дали змогу вченим створити сферу науки і техніки, яка основана на синергетичному Р – об'єднанні механічних, електричних, електронних і комп'ютерних компонентів, які забезпечують проектування безлюдних технологій в харчовій промисловості [7]. Якщо розглянути узагальнену блок-схему робототехнологічного комплексу виробництва продуктів харчування, яка наведена в [1], то таку систему будемо в подальшому називати робототехнологічним комплексом. Комплекс складається із декількох робототехнічних пристроїв, взаємодіючих із сировиною та інгредієнтами з метою створення гетерогенного середовища зі заданими властивостями продукції.

Перспективним напрямком щодо проектування робототизованих виробництв є подальший розвиток комбінованих технологій: гібридних технологій електромеханіки та мехатроніки, цифрових адаптивних систем (інтелектуальних роботів) з керованими впливами на сировину, гетерогенне середовище у вигляді вбудованих робототехнічних інтенсифікаторів та робототехнічних комплексів виробництва смарт-продукції.

Від механічної кавітації до ультразвукової така тенденція розвитку робототехнічних інтенсифікаторів з інтелектуальними системами керування складними процесами диспергування, наприклад м'ясних продуктів або печінки в тісто при виготовленні котлет та інших виробів або спеціального харчування для воїнів ЗСУ [3, 6].

З використанням автоматизованого проектування CALS- технологій, авторами відомої монографії [1] розроблені новітні робототехнічні комплекси для умов харчової промисловості, в яких в якості вбудованих систем використані робототехнічні інтенсифікатори з ультразвуковими кавітаційними впливами на гетерогенне середовище (наприклад, опара-тісто), а також холодильні апарати для заморожування продукції.

Перейдемо до класифікації робототехнологічних систем і наведемо приклади їх використання в харчовій промисловості, враховуючи парадигму наукового напрямку - впровадження безлюдних технологій у виробництво смарт-продукції харчування для регіонів з техногенним тиском [9, 10].

Отже, роботи будемо розділяти :

1. За характером виконавчих операцій: робототехнологічні системи призначені для перетворення сировини, тобто надання їй нових властивостей з метою одержання інноваційної продукції здорового харчування; транспортні - призначені для переміщення сировини, очищення сировини у тому числі і води від забруднень та важких металів ( допоміжні роботи в системі підготовки, зберігання сировини її транспортування та оцінки якості); інформаційні - призначені для одержання та перетворення інформації (інформаційні технічні роботи), з властивостями одержувати інформацію в дільницях виробничого процесу не доступного для візуального спостереження оператором в камерах технологічних апаратів та стан навколишнього середовища (температура, волога, концентрація важких металів, концентрація пилу, рН-води тощо) [4, 8].

2. По функціональному призначенню: маніпуляційні, мобільні, інформаційні.

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 10   |

3. За сферами використання: промислові, непромислові.

4. За точністю руху вихідної ланки: мала - помилка позиціонування від 1мм і вище, середня- помилка позиціонування від 0,1мм до 1мм, висока - помилка позиціонування від 0,01 до 0,1, надвисока - помилка позиціонування нижче 0,01мм [7].

5. За місцем розміщення центра керування рухом або впливом на процес: з власним наведенням, зі зовнішнім наведенням.

6. За типом каналів зв'язку з центром зовнішнього керування: дротяний, радіоканал, інфрачервоний, ультразвуковий.

7. За типом системи керування: керування оператором( дистанційно або безпосередньо), системи з програмним керуванням, супервізор не керування, комбіновані системи дистанційно-автоматичного керування [9].

В свою чергу в залежності від функціонального призначення робото технічні системи будемо розділяти на три великі класи: маніпуляційні робото технічні системи; мобільні робото технічні системи; інформаційні та управлінські робото технічні системи, Серед маніпуляційних систем виокремимо - клас автоматично діючих роботів, автоматичних маніпуляторів та роботизованих технологічних комплексів [5, 9].

Автоматично діючі роботи теж розділяють на чотири класи: жорстко вбудовані, програмні, адаптивні, інтелектуальні. До жорстко вбудованих роботів будемо відносити механічні руки, жорстко зв'язані з технологічним обладнанням і виконуючі операції у відповідності з раніш розробленою програмою без залежності від зміни умов зовнішнього середовища. До таких роботів віднесимо: захист сировини від забруднення тяжким металом, відбору опари- тіста для оцінки густини, запаху, рН- параметрів [8]. В монографії [1] автори значну увагу приділили проектним рішенням адаптивних роботів з адаптивними регуляторами, які можуть самостійно орієнтуватись у навколишньому середовищі та пристосуватись до нього. В них є вбудовані сенсори та системи візуалізації, які реагують на зміни навколишнього середовища та на ті, які за допомогою ультразвукових інтенсифікаторів взаємодіють з сировиною та гетерогенним середовищем, різними інгредієнтами та додатками,

Інтенсифікацію виробничих процесів за допомогою робототехнологічних комплексів при збереженні високої якості продукції, а саме направлено впливу імпульсних ультразвукових коливань на сукупність хімічних, фізико-хімічних. теплових, дифузійних і біохімічних процесів, які виникають при взаємодії з продуктом виробництва, моніторинг в реальному масштабі часу органолептичних, фізико-хімічних показників за допомогою інтелектуальних систем контролю, [1, 4, 7] автоматизоване мікропроцесорне керування процесом виробництва продукції на всіх стадіях будемо називати безлюдним роботизованим виробництвом смарт-продукції харчування.

Таке виробництво включає також робототехнічні комплекси (РТК).

До робототехнічних комплексів будемо відносити будь-яку систему машин і апаратів, які працюють з людиною І/АБО без нього, який включає лише один робот з функціями без яких система не забезпечує встановлених показників якості її роботи [4, 6, 9].

|     |      |          |        |      |                             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 11   |

Робототизований технологічний комплекс- це сукупність засобів технологічного оснащення (ЗТО), які утворюють взаємозв'язану систему, включаючи промислові роботи і призначені для автоматичного виконання однієї або декількох операцій виробничого процесу завантаження готової продукції.

Основні характеристики якості РТК: продуктивність, гнучкість та її вид, ефективність; показники надійності, склад технологічних операцій їх показники якості; час переходу на новий вид виробів, показники ступенів готовності продукції; експлуатаційні показники (час роботи без участі людини, чисельність персоналу, площа, яку займає робототехніка, час регламентованого простою( коефіцієнт технічного використання), вимоги до кваліфікації операторів і персоналу для виконання регламентних робіт); питомні затрати матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів; ергономічні показники; естетичні показники; [4, 6, 9] ступінь конкурентоспроможності, ступінь стандартизації та уніфікації; патентно-правові показники (ступінь патентного захисту технічних рішень); екологічні показники; показники безпеки для персоналу.

Таким чином, з метою впровадження робототехнологічних комплексів у технології виробництва продуктів здорового харчування спочатку необхідно розробити теоретичні основи автоматизованого керування технологічними процесами виробництва заморожуваних продуктів високої якості на основі мікропроцесорних систем.

Прикладами проектування сучасних багаторівневих цифрових робототехнологічних систем заморожування та виробництва продуктів харчування є спеціальні технологічні апарати-морозильники з системами завантаження м'ясних продуктів та їх розвантаження [2, 3].

З метою мінімізації енергетичних витрат та максимізації продуктивності, в них використано: інтелектуальні датчики, мікропроцесорні контролери адаптивних локальних систем з робототехнологічними інтенсифікаторами (нижній рівень): 32-розрядні ЕОМ розподіленого керування робототехнологічними комплексами з MES, АРМ- системами(середній рівень); 64-розрядні ЕОМ верхнього рівня з ERP- системами оптимізації потоків грошей та бізнес-процесів та АРМ- топ-менеджерів гнучкого виробництва N- видів продукції [6, 7, 9]. Розроблені системи за визначенням експертів відповідають європейській ідеології керування Індустрії-4.0 та забезпечують населення високоякісними смарт-продуктами харчування.

Аналіз сучасних публікацій показує, що при вирішенні задач створення робототехнологічного обладнання для виробництва харчових продуктів, в тому числі з використанням інформаційних технологій, не завжди коректно використовується термінологічний апарат робототехніки [1, 3, 4, 5, 6-12]. Наприклад, деякі автори використовують поняття комп'ютерного проектування та комп'ютерного моделювання як ідентичні. використовуються при його виробництві. Тому розглянемо питання системного підходу до проектування робототехнологічного обладнання продуктів заморожування, а також деякі поняття імітаційного моделювання технологічних процесів заморожування [6].

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 12   |

## 1.2 Системне проєктування робототехнологічного обладнання з виробництва продуктів здорового харчування

З наукових джерел відомо, що системне проєктування – це методологія вирішення складних проблем, яка також як і системне моделювання ґрунтується на концепції системи [1, 3].

Відмінною особливістю «системного проєктування» є, то, що воно охоплює набір понять, методологій, технічних, організаційно-технологічних та інших структур, які можуть бути розвинені для об'єднання складних функціональних систем, щоб подолати проблеми в тому числі «безпрецедентною складністю». Системне проєктування заохочує використання імітаційного моделювання, а в моделюванні дозволяє висувати теорії або гіпотези про складні системи і взаємодіях в їх межах [1, 3, 4].

Особливістю системного технічного проєктування робототехнологічного обладнання є наступне: оцінка життєвого циклу робототехнологічного обладнання завантаження, різання м'яса, розвантаження, пакування, ідентифікація параметрів процесу заморожування; взаємодія робототехнологічного комплексу та його обладнання з холодильним обладнанням, створення оптимальної траєкторії руху виконавчих механізмів; розробка енергетичного обладнання роботів-маніпуляторів, узгоджена оптимізація енергетичного обладнання холодильних машин та холодозабезпечення холодильних камер; [4, 5, 8] розробка технологій обслуговування роботів та холодильного обладнання як єдиної керованої системи багаторівневого керування.

Технічне проєктування – це процес створення винаходів у системах робототизованого керування, які дозволяють одержати інноваційні результати. Мета проєктування полягає у визначенні конфігурації системи, вимог, яким система повинна відповідати, і завданням основних параметрів, які задовольняють вимогам до системи [1, 2]. Головне завдання проєктування – це складання переліку вимог, які повинні задовольняти споживачів. У процесі технічного проєктування приймає участь два типи мислення – аналіз і синтез, між якими є принципова різниця.

В процесі аналізу робота для заморожування або переміщення продукту основну увагу приділяється побудові моделей фізичних систем. Метою в цьому випадку є більш глибоке розуміння процесів, які виникають в системах та розробка шляхів удосконалення їх моделей.

Навпаки, синтез – це діяльність в результаті якої створюється нові фізичні структури. Процес проєктування може виконуватись по декільком напрямкам, але проєктант обирає оптимальний із них. Це детально продуманий процес, за допомогою якого проєктант створює інноваційний продукт, який задовольняє споживачів незважаючи на практичні обмеження. По своїй природі це ітераційний процес [6, 7]. Досвідчений інженер-проєктувальник спочатку спрощує систему з метою її аналізу та синтезу. При цьому виникає різниця між реальною системою і моделлю. Подібна різниця між реальною оптимальною системою і проєктним виробом існує завжди, тому що проєктанту інтуїтивно

|     |      |          |        |      |                             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДонНУЕТ.з133.ГМБ-18.2022.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 13   |

простіше поступово покращувати систему керування. Іншими словами, технічне проектування ніколи не виконується по оптимальній траєкторії [4, 5].

Це – ітераційний, нелінійний, творчий процес. Основний метод, який використовується у більшості задач технічного проектування робототехнологічного обладнання для виробництва продуктів харчування – це метод аналізу та оптимізації параметрів. Він оснований на ідентифікації (1) ключових параметрів, формування конфігурації системи (2), та оцінка того, що дана конфігурація відповідає заданим параметрам проектування (3). Ці три етапи утворюють замкнений цикл. Як тільки буде встановлено ключеві параметри і синтезована структура системи, то проектувальник може приступити до оптимізації параметрів [4, 5, 6, 9].

На практиці число таких налагоджуваних параметрів необхідно звести до мінімуму, що значно прискорить процес проектування.

Синтез систем керування – це приклад технічного проектування.

На рисунку 1.2 наведена схема процесу синтезу робототехнологічної системи. Перший крок процесу – визначення призначення системи. Другий крок – це визначити ті змінні, якими потрібно керувати. На третьому кроці ми повинні визначити точність системи, з якою потрібно підтримувати вихідні показники керування об'єктом. Останнє визначає вибір датчиків, за допомогою яких вимірюються змінні, які потрібно підтримувати системою керування [1, 2].

У процесі проектування систем робототехнологічного керування складними технологічними процесами виробництва продуктів харчування проєктант повинен спочатку створити конфігурацію робототехнологічної системи, яка включає в собі датчик візуалізації, об'єкт керування, (наприклад, робот для переміщення продукту) [5, 9] виконавчий пристрій та регулятор. Такий приклад системи наведено на рисунку 1.3.

Система в нашому випадку функціонує по замкненому циклу. Якщо датчик є високоточним, то вимірюване значення виходу системи дорівнює його дійсному значенню. Різниця між бажаним і дійсним значенням вихідної змінної, тобто помилка надходить на керуючий пристрій (наприклад, підсилювач) [3, 5]. З його виходу сигнал **надходить на виконавчий пристрій**, який впливає на об'єкт керування таким чином, щоб зменшити помилку. Система на рисунку 1.3 – це система з від'ємним зв'язком, тобто сигнал вираховується (віднімається) із вхідного, а різниця подається на вхід підсилювача (E).

|     |      |          |        |      |                             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДонНУЕТ.з133.ГМБ-18.2022.ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                             | 14   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

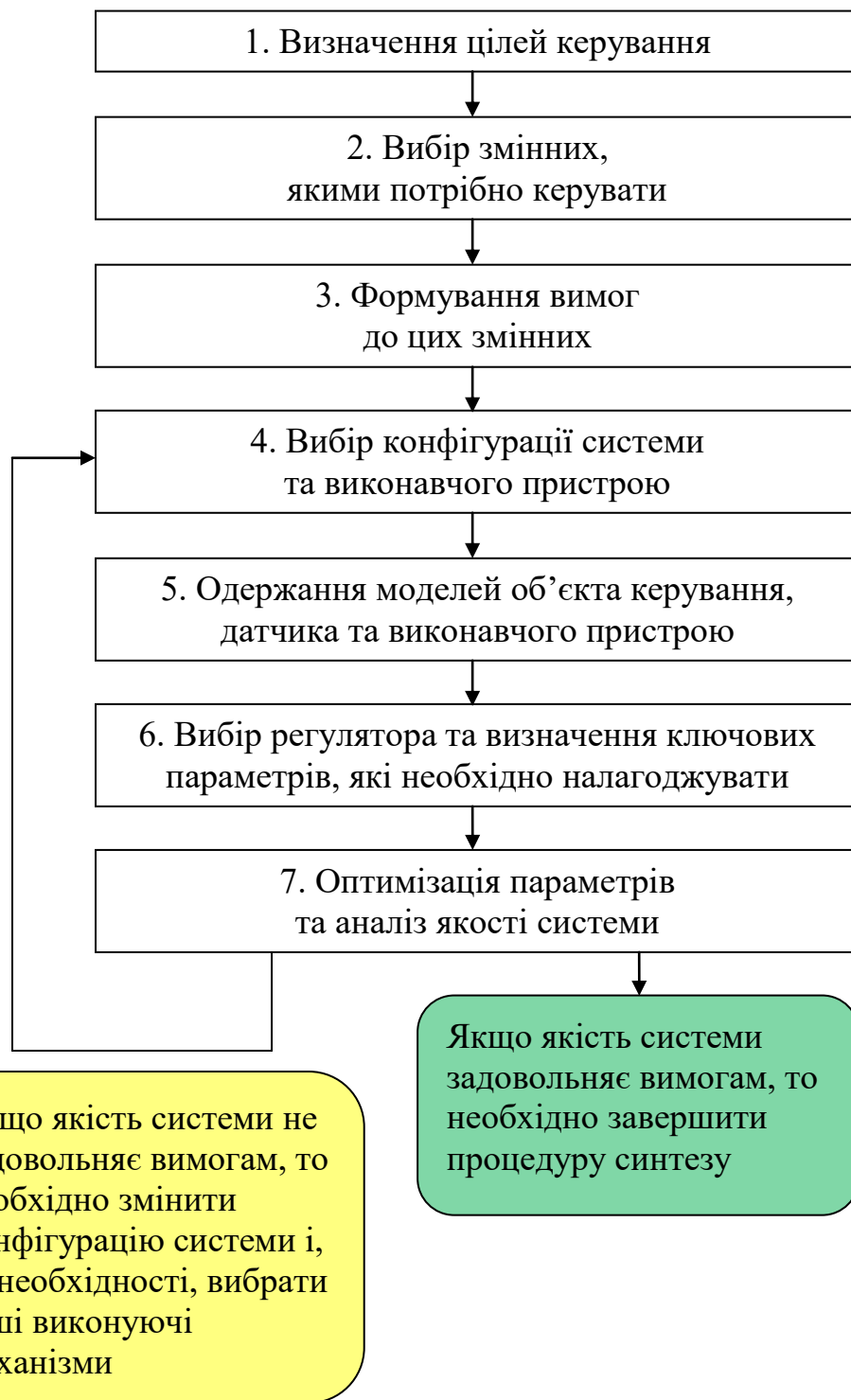


Рисунок 1.2 – Процес синтезу робототехнологічної системи виробництва продуктів харчування

У процесі синтезу системи необхідно звернути увагу на вибір виконавчого пристрою. Прийняття рішення у нашому випадку залежить від типу об'єкта керування, але в будь-якому випадку визначений пристрій повинен ефективно впливати на поведінку робототехнологічного комплексу [7, 9]. Наприклад, ми в другому розділі нашої роботи будемо проектувати систему робототизованого керування процесом заморожування продукту харчування.

В цьому випадку швидкістю електроприводу конвеєра холодильного апарату для заморожування котлет є важливим параметром при проектуванні оптимальної траєкторії керування процесом. Тоді в якості виконавчого пристрою ми можемо вибрати електродвигун постійного струму або асинхронний двигун з тиристорним перетворювачем частоти (АД-ТПЧ). При цьому датчик швидкості руху конвеєра повинен вимірювати цей параметр з високою точністю [6, 7, 10]. В кінцевому рахунку ми повинні одержати модель для кожного із цих елементів

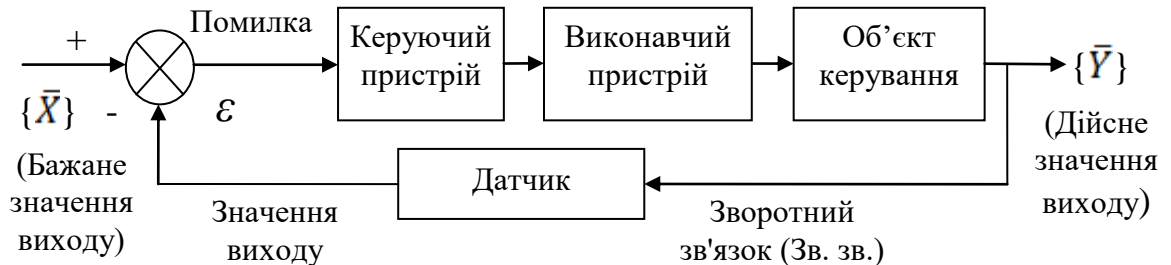


Рисунок 1.3 – Система з від’ємним зворотним зв’язком (керуючий пристрій називають регулятором)

Наступний крок полягає у виборі регулятора, який часто представляє собою суматор, Він виконує операцію порівняння бажаного і дійсного значення вихідної змінної об’єкта, після якої наступний елемент системи – підсилювач сигналу помилки з регулятором відпрацьовує сигнал помилки, змінюючи значення показника положення виконавчого механізму [4]. Заключний крок процедури синтезу системи полягає у виборі методу налагодження параметрів системи, які б забезпечували бажані показники якості системи.

На цьому процес синтезу системи закінчується, а проектувальник повинен оформити робочу документацію. Вимоги до якості замкненої системи керування повинні торкатись її основних характеристик, до яких віднесимо: 1 – гарну компенсацію збурень; 2 – бажаний вид реакції на заданий вхідний вплив; 3 – адекватні вхідні сигнали виконавчого пристрою; 4 – малу чутливість до зміни параметрів; 5 – роботність [3, 5, 9].

У процесі виконання кваліфікаційної роботи бакалавра проектування роботизації виробництва продукції здорового харчування, буде пов’язане з комп’ютерним моделюванням продуктів харчування аналізом і синтезом систем заморожування [5, 8]. Високоточне комп’ютерне моделювання дуже важливе для перевірки результатів синтезу таких систем.

У багатьох випадках сертифікація систем робототехніки, шляхом натурального моделювання складних технологічних процесів виробництва заморожування продукції, вимагає від проєктантів значних витрат часу та коштів. У той же час використання комп’ютерного моделювання значно (на 30%) скорочує час на виконання процесу проєктування та сертифікацію системи, а також до 50-60% зменшуються фінансові витрати [3, 8].



## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЗАМОРОЖУВАНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

### 2.1 Визначення загального напрямку розвитку заморожуваних продуктів харчування і обґрунтування вибору сировини та обладнання для її переробки

Заморожування – це зниження температури продукту нижче його криоскопічної температури. Для кожного продукту температура заморожування та характер процесу заморожування специфічні, тому продукт вважається замороженим, якщо температура в глибині продукту досягла – 8°C [16].

На сучасному рівні заморожування є основним засобом консервування харчових продуктів, що швидко псуються. Харчові продукти заморожуються з метою підготовки їх до тривалого зберігання. Заморожування здійснюється в повітрі та рідких середовищах. Під час заморожування харчових продуктів значна частина вологи, яка міститься в продукті, перетворюється в лід [9, 10-16]. При цьому знижуються органолептичні показники продукту, але при правильній організації процесу заморожування, зниження якості продукту може бути зведено до мінімуму.

Замороженим вважається м'ясо, середня температура якого на 10°C нижче криоскопічної. Криоскопічна температура свіжого м'яса від 0,8 до 1,2°C, крові - 0,55°C [8]. У процесі заморожування приблизно 85% вологи перетворюється на лід. Льодоутворення умовно вважається закінченим, коли в центрі продукту досягається температура - 4-5°C, що відповідає середній температурі м'яса -10, -15°C. Зниження температури продукту від 0 до 5°C становить власне процес заморожування. Зниження температури до 0°C прийнято називати охолодженням, а від -5°C і нижче – доморожуванням [8, 9, 10].

Якщо початкова температура продукту вище 0°C, тривалість заморожування збільшується приблизно на 1: на кожен градус. При доведенні температури в центрі стегна напівтуші до 10°C тривалість заморожування зростає в порівнянні з часом, необхідним для заморожування до 5°C, приблизно на 18%, до -12°C - на 22%, до -14°C - на 27%, до 16°C - на 33% і до 18°C - на 40% [15]. М'ясо заморожують після попереднього охолодження (двофазний спосіб) і в парному вигляді (однофазний спосіб).

Тривалість заморожування м'ясної напівтуші залежить від температурного перепаду між м'ясом і охолоджуючим повітрям і швидкістю руху повітря у стегна.

|                  |                    |                 |               |             |  |             |             |                |
|------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------|--|-------------|-------------|----------------|
|                  |                    |                 |               |             | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>   |             |             |                |
| <i>Зм.</i>       | <i>Арк.</i>        | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |             |             |                |
| <i>Розроб.</i>   | <i>Кузьмін</i>     |                 |               |             | <b>Дослідження технологій<br/>заморожування продукції та<br/>роботизація обладнання для<br/>виробництва продуктів<br/>здорового харчування</b> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  | <i>Хорольський</i> |                 |               |             |  |             | 14          | 47             |
| <i>Н. Контр.</i> | <i>Омельченко</i>  |                 |               |             | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b>  |             |             |                |
| <i>Затверд.</i>  | <i>Цвіркун</i>     |                 |               |             |  |             |             |                |

Інтенсифікація заморожування м'яса, отже, і збільшення продуктивності камер можуть бути досягнуті зниженням температури повітря або збільшенням швидкості його руху. Зниження температури повітря в морозильній камері з природним рухом повітря з-15<sup>0</sup>С до 25<sup>0</sup>С скорочує час заморожування приблизно в 2 рази, а при зниженні температури до -35<sup>0</sup>С - в 3 рази [10, 14].

Якщо в чинній камері однофазного заморожування з тихим охолодженням температура повітря не може бути знижена, то заморожування інтенсифікують збільшенням швидкості руху повітря близько стегон напівтуш м'яса. При температурі, наприклад, 15<sup>0</sup>С і збільшенні швидкості повітря до 2 або 3 м / с заморожування прискориться відповідно в 1,5 і 1,9 рази, а при -35<sup>0</sup>С - в 1,25 і 1,65 рази [8].

На яловичих напівтуш перед заморожуванням виробляють надріз між 11-12 ребрами до хребтів. Після заморожування напівтуш, при знятті їх з підвісних шляхів, по зробленому надрізу розрубують напівтуші на четвертини і перевозять в камеру зберігання. М'ясо молодих тварин заморожують у вигляді цілих поздовжніх напівтуш (без надрізу між ребрами) [9, 16].

Середня температура повітря в морозильній камері за цикл її обороту повинна наближатися до паспортної. У морозильних камерах циклічного дії температура повітря перед початком робіт і в кінці процесу заморожування повинна бути на 3-5<sup>0</sup>С нижче паспортної; в камерах, що завантажуються безперервно, - на рівні паспортної, а перед початком роботи - на 2-3<sup>0</sup>С нижче паспортної [5, 6, 9]. Завантаження парних напівтуш в морозильну камеру виробляють безперервно - потоком у міру їх надходження і синхронно з роботою його головного конвеєра або циклічно невеликими партіями до 10-15 напівтуш.

Парне м'ясо при безперервному завантаженні спочатку розміщують на першому підвісному шляху камери. потім - на другому, третьому і т.д. або в іншому строгому порядку. На кожному шляху розміщують напівтуші приблизно однакових вагових категорій [8, 10].

Прилади охолодження морозильних камер повинні працювати на повну потужність безперервно як в процесі заморожування, так і при завантаженні-вивантаженні камер, щоб заморожування м'яса почалося відразу ж після його надходження в морозильну камеру [8, 9, 14].

Заморожування м'яса вважається закінченим, коли температура в товщі м'язів стегна досягає -8<sup>0</sup>С, а на поверхні буде близькою до температури повітря в морозильній камері.

## **2.2. Холодильне робототизоване обладнання в системі виробництва заморожуваних продуктів здорового харчування**

Робототизоване обладнання призначене для заморожування харчових продуктів, яке проєктують у вигляді холодильних камер та морозильних апаратів з системами – маніпуляторами для завантаження та розвантаження продукції.

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
|     |      |          |        |      |                                    | 18   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    |      |

На харчових переробних підприємствах, як правило, в холодильних камерах заморожують м'ясо, яке розташовують на підвісних коліях. В якості охолоджуючого середовища використовують повітря, яке охолоджують за допомогою парокомпресійних та повітряних холодильних машин [8].

Холодильне обладнання камер заморожування складається з камерних охолоджуючих пристроїв: батарей та повітроохолоджувачів. В залежності від організації руху повітря камери заморожування виконують з примусовим та природним рухом повітря. Камери з примусовим рухом повітря обладнують повітроохолоджувачами, а інколи й батареями в сукупності з різними системами повітророзподілу [8, 9, 12], а камери з природним рухом повітря – пристінними, стелевими або міжрядними радіаційними батареями.

В залежності від організації технологічного процесу камери заморожування можуть бути камерами одно- та двофазного заморожування (рис. 2.1).

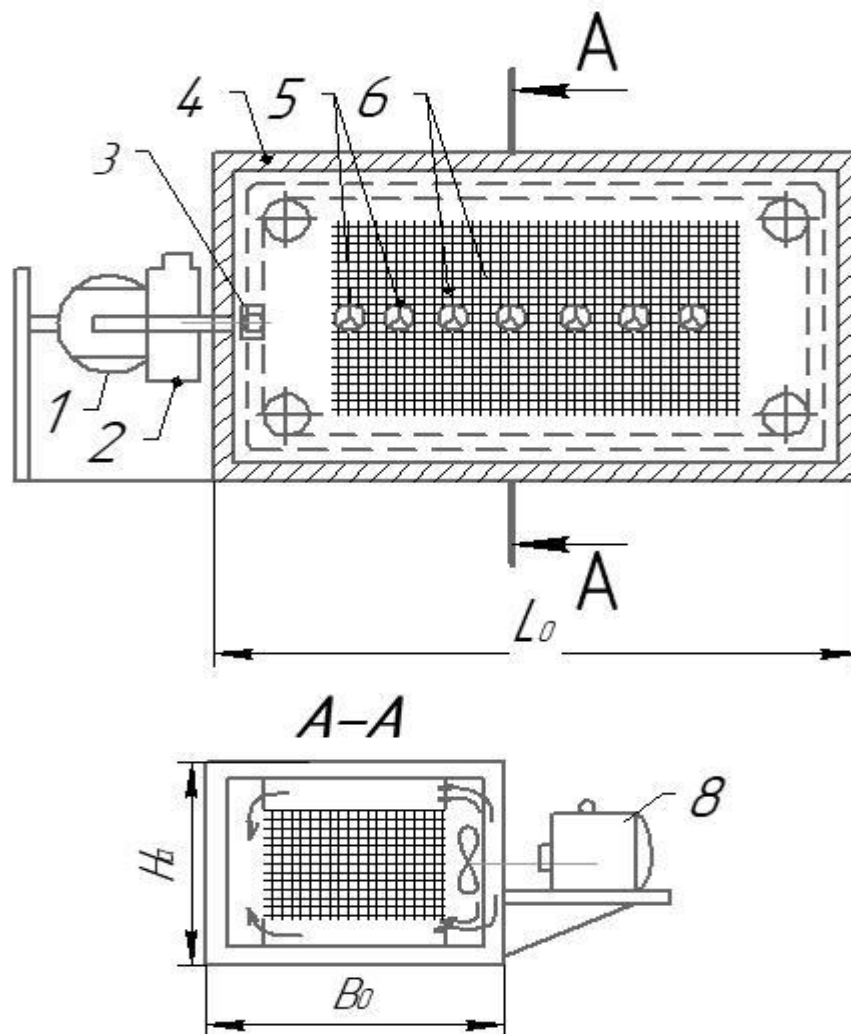


Рисунок 2.1 – Принципова схема повітряного конвеєрного морозильного апарата: 1 – вузол завантаження й розвантаження; 2 – паровий ящик (скриня); 3 – блок – форма; 4 – ізолюваний контур апарата; 5 – осьові вентилятори; 6 – оребрені секції повітроохолоджувача; 7 – вантажний конвеєр; 8 – електродвигун

В камерах однофазного заморожування заморожують теплі (парні) напівтуші м'яса, а двофазного - напівтуші попередньо охолодженого м'яса. При однаковому конструктивному рішенні камер одно- та двофазного заморожування м'яса в камерах однофазного заморожування слід передбачати більшу площу поверхні охолоджуючих приладів [16]. Повітряні морозильні апарати на сьогодні являються найбільш поширеними. Заморожування продуктів в повітрі дозволяє зберегти їх високі смакові та поживні властивості, а також гарний товарний вигляд [10].

Повітря – природне і досить інертне середовище. Його можна використовувати для холодильної обробки будь-яких продуктів у широкому інтервалі значень температур, швидкості руху та типу. Ці позитивні якості повітря зумовлюють універсальність його застосування і простоту конструкції повітряних морозильних апаратів. Недоліками повітря є низька здатність до акумулювання теплоти та схильність до поглинання вологи [7].

Повітряні морозильні апарати складаються з вантажного відсіку та відсіку повітроохолоджувачів. У вантажному відсіку застосовують тунельну систему розподілу повітря. У вантажному відсіку знаходиться продукт, що заморожується, який пересувається різноманітними транспортними засобами, в відсіках повітроохолоджувачів розташовують секції, які призначені для охолодження повітря, системи подачі повітря (вентиляторна установка) та піддон для збору талої води, який обігривається [2, 5, 9].

Вид системи транспортування залежить передусім від цільового призначення апарата (асортимент харчових продуктів, які заморожуються) та його продуктивності. Використовуються візки (етажерки), конвеєри безперервної або періодичної дії, потік повітря (флюїдизаційний шар) або комбінації цих засобів транспортування [9]. На рисунку 2.2. наведена схема флюїдизаційний морозильний апарат великої продуктивності із зрошувальним повітроохолодником.

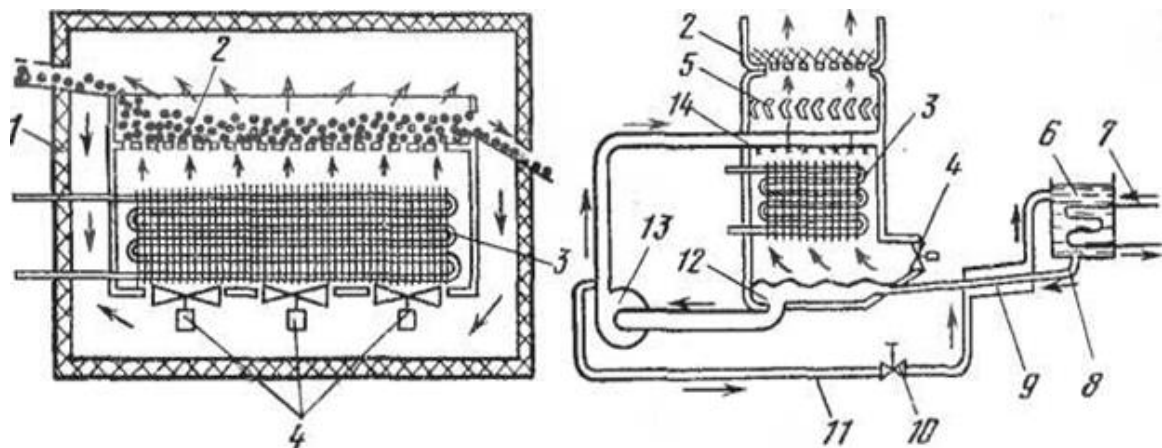


Рисунок 2.2 – Флюїдизаційний морозильний апарат великої продуктивності із зрошувальним повітроохолодником: 1 – ізольований контур; 2 – піддони з перфорованим дном; 3 – повітроохолодники; 4 – вентилятор; 5 – краплевіддільник; 6 – конденсатор етиленгліколю; 7 – паровий змійовик для випаровування води з етиленгліколю; 8 – трубопровід для повернення етиленгліколю в піддон; 9 – теплообмінник; 10 – вентиль; 11 – трубопровід для

подачі етиленгліколю в конденсатор; 12 – піддон з розчином етиленгліколю; 13 – циркуляційний насос; 14 – зрошувальна гребінка

Секції повітроохолоджувачів виконують з гладких або ребристотрубних елементів зі змінним кроком оребрення, який зменшується по ходу руху повітря. Це пов'язано з тим, що волога, яка виділяється з продукту під час холодильної обробки осаджується у вигляді інею на поверхні повітроохолоджувача, причому він випадає нерівномірно, передусім на перших по ходу руху рядах труб, що зменшує площу живого перерізу повітроохолоджувачів. Змінний крок оребрення має забезпечити збереження номінальної площі живого перерізу повітроохолоджувачів по довжині [5, 6, 9].

Система надходження повітря включає вентилятори (осьові, відцентрові) та розподільники повітря (канали, відбивачі). Будова системи залежить від аеродинамічного опору руху повітря та взаємного розташування повітроохолоджувача й продукту [10]. Повітря може циркулювати як уздовж, так і поперек об'єму, який займає продукт і система транспортування.

Візкові апарати бувають з подовжнім або з поперечним рухом повітря, а також з ручним і механізованим переміщенням візків або етажерок. Крім того, вони можуть бути періодичної і безперервної дії. В апаратах періодичної дії візка з продуктом завантажуються і вивантажуються періодично, а в апаратах безперервної дії – безперервно. Схема пристрою апарату з подовжнім рухом повітря показана на рисунку 2.3 [9, 12, 13]. У вантажному відсіку знаходяться візки, на полицях яких розміщені продукти, які піддаються заморожуванню. Направлений рух повітря в апараті створюється хибною стелею, яка є одночасно і піддоном повітроохолоджувача.

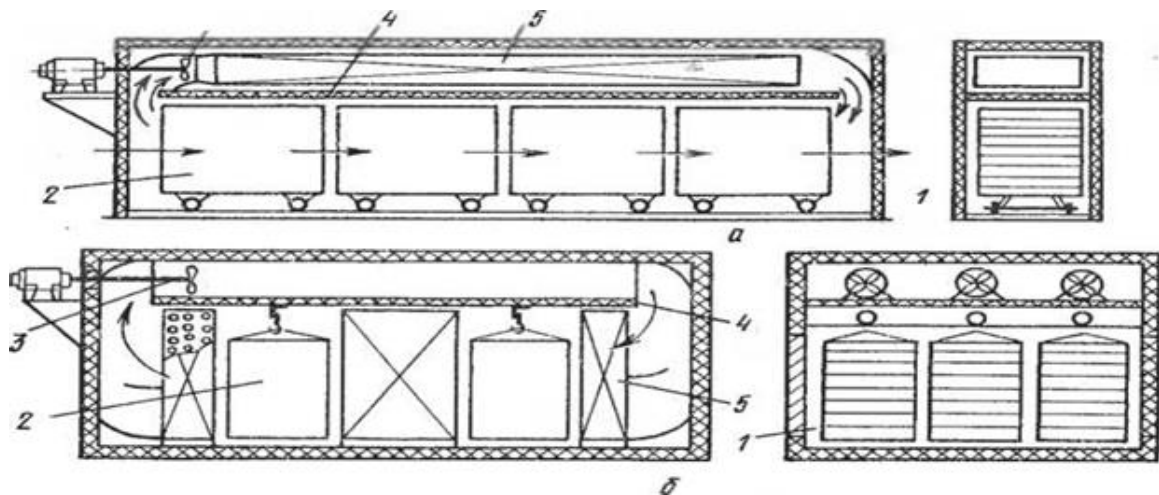


Рисунок 2.3 – Візковий морозильний апарат:

а – з подовжнім рухом повітря; б – з поперечним рухом повітря;

1 – вантажний відсік, 2 – етажерки або візки, 3 – вентилятор, 4 – хибна стеля;

5 – повітроохолоджувач

Апарат складається з одного або декількох вантажних відсіків, в яких знаходяться підвісні етажерки (або візки) з продуктами. Повітря, що подається вентиляторами, рухається в напрямку, перпендикулярному подовжній осі

тунелю. В таких апаратах секції повітроохолоджувача утворюють вантажні відсіки [8, 12].

У візкових апаратах швидкість руху повітря рівна 8–10 м/с. При однаковій швидкості руху повітря в апаратах з подовжнім рухом повітря воно нагріватиметься більше, ніж в апаратах з поперечним рухом. При великій довжині вантажного відсіку і малій кількості повітря, що підводиться, нагрів його у вантажному відсіку може збільшуватися до 6–8°C, що викликає нерівномірність заморожування продуктів в апараті [5, 8].

В апаратах контактного заморожування харчових продуктів (контактні апарати) відбувається безпосереднє інтенсивне відведення тепла від заморожуваного продукту до середовища, яке відводить тепло (рідкий азот і повітря, кріогенні рідини, вуглекислота, фреон-12, що пройшов спеціальне хімічне очищення, а також холодоносій – водний розчин хлористого натрію) [5, 8, 12]. При безпосередньому контакті харчового продукту з середовищем, що відводить тепло, воно повинне не викликати небажаного погіршення якості замороженого продукту.

В роботизованому апараті для заморожування розфасованих харчових продуктів із зануренням їх у ванну з рідким азотом система захоплення продукту складається з вантажного конвеєра, ванни з рідким азотом, витяжних трубопроводів, завантажувального і розвантажувального столів, ізольованого контуру, виконаного з неіржавіючої сталі і матеріалу [1] теплоізоляції (рис. 2.4).

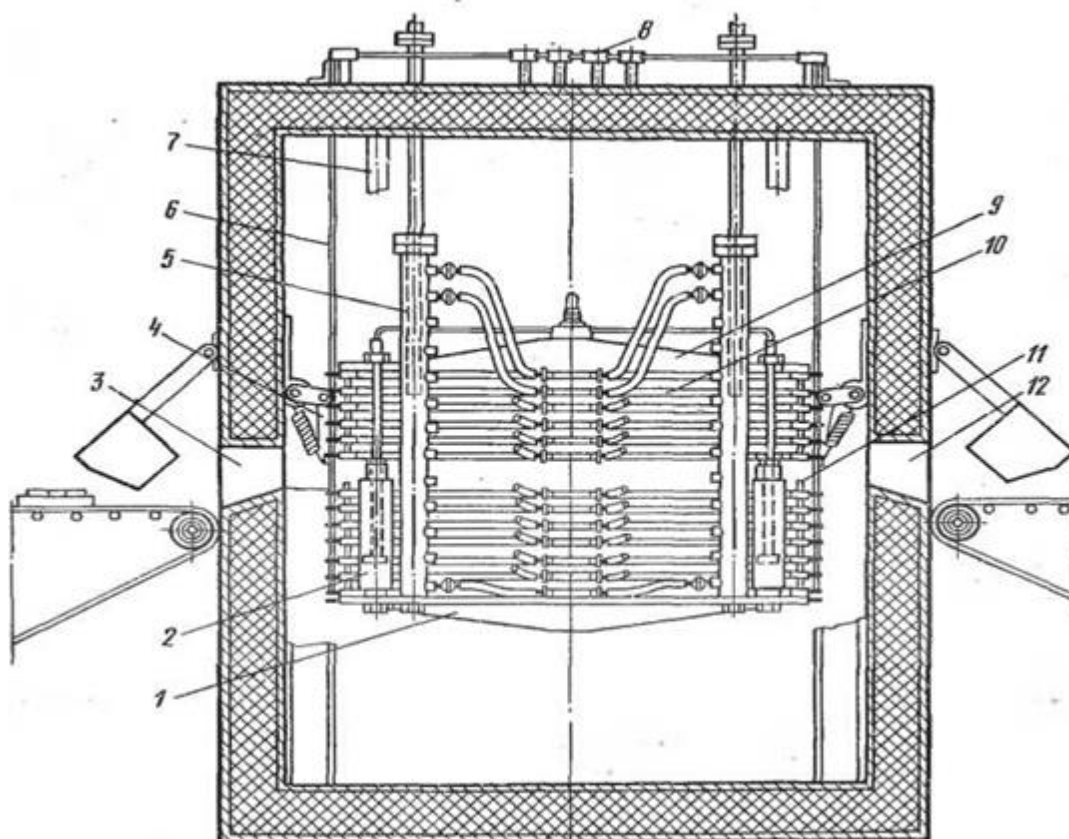


Рисунок 2.4 – Роботизований апарат для заморожування розфасованих харчових продуктів.

| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |

Продукт після фасувального автомата за допомогою системи візуалізації та системи розпізнавання надходить на завантажувальний стіл, який передає його на вантажний конвеєр. На вантажному конвеєрі, продукт занурюється у ванну з рідким азотом і швидко заморожується. Потім продукт з вантажного конвеєра передається на розвантажувальний стіл, а з нього на лінію упаковки. В якості технологічного апарата для упакування заморожуваного продукту теж використано робот-маніпулятор [5, 6].

Недоліки апарата – значна витрата азоту, розтріскування і деформація продукту, підвищені теплопритоки у вантажний відсік через вікно завантаження продукту в апарат і вивантаження замороженого продукту з апарату. Апарати безконтактного заморожування призначені для заморожування блочних та дрібноштучних продуктів як упакованих в тару, так й не упакованих [8, 9]. Такі апарати компактні, інтенсивні та мають більш гарні в порівнянні з повітряними морозильними апаратами порівняльні показники.

До апаратів з безконтактним заморожуванням відносять плиткові морозильні апарати та апарати для заморожування упакованих продуктів рідкими холодоносіями. Плиткові морозильні апарати призначені для заморожування різноманітних харчових продуктів в блоках: м'яса, субпродуктів, промислової риби, рибного філе та фаршу, творогу в блоках та брикетах дрібної розфасовки, овочевих та фруктових пюре. Продукти, які заморожені в плиткових морозильних апаратах, мають правильну форму та легко упаковуються [6]. При транспортуванні та подальшому зберіганні таких продуктів ефективно використовується вантажна місткість транспортних засобів та камер зберігання стаціонарних холодильників.

В плиткових морозильних апаратах упакований або не упакований продукт заморожується, знаходячись в контакті з рухомими морозильними плитами або з барабанами, які обертаються. Морозильні плити переміщуються гідравлічним або електричним приводом, а також енергією рідини, щільно (під тиском 10...100 кПа) притискаються до продукту, що забезпечує формовку та підпресовку продукту, його гарний тепловий контакт з площею поверхні морозильних плит [9, 12, 16]. Плити та барабани апарата охолоджуються киплячим холодильним агентом (випарна система) або холодоносієм, який охолоджують у випарнику.

У випарну систему плиткового морозильного апарату холодильний агент може подаватися під різницею тисків конденсації та кипіння або циркуляційними насосами.

### **2.3 Очищення робочого середовища від обвуглених частинок продукту та крихкості**

Розрахунки холодильного обладнання виконані з використанням наукових праць учених ДонНУЕТ та авторів монографій [11, 13, 14, 15, 16]. Розпочнемо розрахунок процесів заморожування з оцінки питомої кількості теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в холодильному апараті:

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 23   |

$$q_3 = q_{31} + q_{32}, \text{кДж/кг}$$

де  $q_{31}$  – питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в зоні попереднього охолодження;

$q_{32}$  – питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в зоні заморожування, визначають за рівнянням [10].

Питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в зоні попереднього охолодження,  $q_{31}$  знаходиться по формулі [6]:

$$q_{31} = c_o (t_1 + t_{кр}), \text{кДж/кг}$$

де  $c_o$  – питома теплоємність охолодженого продукту, Дж/(кг·К);

$t_1, t_{кр}$  – початкова і криоскопічна температура, °С.

Питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в зоні заморожування,  $q_{32}$  визначають за рівнянням:

$$q_{32} = L \left[ \sum W_i w_i^l K_i + c_3 (t_{кр} + t_2) \right], \text{кДж/кг}$$

де  $L$  – питома теплота льодоутворення, Дж/кг ( $L = 335200$  Дж/кг);

$w_i^l$  – частка вимороженої вологи в м'ясі;

$K_i$  – частка м'яса в продукті;

$c_3$  – питома теплоємність замороженого продукту, Дж/(кг·К);

$t_{кр}, t_2$  – криоскопічна кінцева температури, °С;

$W_i$  – кількість води в кілограмі продукту, кг.

Для м'яса частка наповнювача (м'яса)  $K_1=0,5$  і тіста  $K_2=0,5$ . Кількість що міститься в кожному з цих складових продуктів води  $W_1=0,75$  і  $W_2=0,45$ . Частка вимороженої вологи  $w_1^l = w_2^l = 0,8$  [9, 10].

При середній температурі тепловідводної середовища в процесі заморожування  $t_c = -10^\circ\text{C}$  питома теплоємність продукту. Теплоприплив від продукту при заморожуванні визначають за рівняннями [3, 6]:

$$Q_2 = G^l \cdot q_3, \text{кДж}$$

де  $q_3$  – питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту, Дж/кг;

$G^l$  – продуктивність апарату, кг/с [6].

або

$$Q_2 = G^l \cdot [c_o \cdot (t_1 - t_{кр}) + L \cdot W \cdot w + c_3 \cdot (t_{кр} - t_2)], \text{Дж}$$

де  $c_o, c_3$  – питомі теплоємності продукту, відповідно, охолодженого і замороженого, Дж/кг·К;

$t_1, t_2, t_{кр}$  – температури продукту, відповідно, початку, наприкінці процесу заморожування, а також в період льодоутворення, °С;

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
|     |      |          |        |      |                                    | 24   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    |      |



$W$  – відносний вміст води в продукті, частки одиниці;  
 $w$  – відносна кількість вимороженої води, частки одиниці.

Питома теплоприток можна також визначати, як різниця ентальпій продукту на початку і в кінці процесу заморожування. Питома холодопродуктивність рідкого азоту  $q_{N_2}$  складається з питомої теплоти його пароутворення і теплоти нагрівання пара від сухого насиченого до перегрітого, при  $t_{yx} = -30^\circ\text{C}$  та визначається за рівнянням [15]:

$$q_{N_2} = r + c_{N_2}(t_{yx} - t_o), \text{ кДж/кг}$$

де  $t_{yx}, t_o$  – температури, що минає і киплячого азоту,  $^\circ\text{C}$ .

$r$  – питома теплота пароутворення рідкого азоту, Дж/кг (при  $t_o = -196^\circ\text{C}$ ,  $r = 197600$  Дж/кг);

$c_{N_2}$  – питома теплоємність газоподібного азоту (при середній температурі  $t_c$  і атмосферному тиску  $P = 10^5$  Па, Дж/кг·К [5].

Витрата рідкого азоту

$$G_{N_2} = Q_2 / q_{N_2}, \text{ кг/с.}$$

Питома витрата рідкого азоту на 1 кг заморожуючого продукту [5]

$$q_{N_2} = G_{N_2} / G^l, \text{ кг/кг.}$$

Об'ємна витрата газоподібного азоту

$$V_{N_{yx}} = G_{N_2} \cdot v_{yx}, \text{ м}^3,$$

де  $v_{yx}$  – питомий об'єм, що минає з апарату газоподібного азоту при температурі  $t_{yx}$  і атмосферному тиску  $P = 10^5$  Па, м<sup>3</sup>/кг [5].

При відсутності рециркуляції азоту (в зоні попереднього охолодження апарату) необхідне для циркуляції потоку живий перетин  $f_m$ , що забезпечує задану швидкість руху газоподібного азоту в апараті, знаходять із залежності [5]

$$f_m = V_{N_{yx}} / w, \text{ м}^2$$

де  $w$  – швидкість руху газоподібного азоту в зоні охолодження.

Ширину стрічки конвеєра кріоморозильного апарату  $B_n$  приймаємо рівною 0,6 м. При питомому навантаженні продукту  $g_f = 8$  кг/м<sup>2</sup> порозність шару складе [2, 5]:

$$\varepsilon = 1 - g_f / \delta\gamma$$

де  $\gamma$  – щільність продукту;

|     |      |          |        |      |                             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                             | 25   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

$g_f$  – питоме навантаження продукту ( $g_f = 8 \text{ кг/м}^2$ );

$\delta$  – товщина продукту.

Тоді живий перетин для проходу газоподібного азоту в шарі продукту [2]

$$f_{жк} = B_l \varepsilon \delta, \text{ м}^2.$$

[5] Необхідна висота каналу від стрічки до верхньої твірної огорожі апарату

$$H_k^l = \delta + (f_m - f_{жк}) / B_l, \text{ м.}$$

Дійсне живий перетин каналу

$$f_{жкд} = B_k H_k^l - f_{жк}, \text{ м}^2.$$

Теплове навантаження зони попереднього охолодження кріоморозильного апарату

$$Q_o = G' q_{3l}, \text{ кДж.}$$

Температуру газоподібного азоту, що надходить в зону попереднього охолодження, визначають з теплового балансу [7]

$$t_x = t_{yx} - Q_o / G_{N2} c_p, \text{ }^\circ\text{C.}$$

Середня температура насиченої пари в зоні попереднього охолодження

$$t_{cl} = (t_{yx} - t_x) / 2, \text{ }^\circ\text{C.}$$

Дійсна середня швидкість газового потоку в зоні попереднього охолодження апарату при середньому питомій обсязі газоподібного азоту  $v_{cp}$  ( $v_{cp}$  знаходять при температурі  $t_{yx}$  і атмосферному тиску  $P = 10^5, \text{ м}^3/\text{кг}$  [6, 9].

$$w_{dl} = G_{N2} \cdot v_{cp} / f_{жкд}, \text{ м/с.}$$

Тривалість охолодження продуктів в зоні попереднього охолодження кріоморозильного апарату складається з двох періодів: перший - до регулярного режиму і другий - регулярний режим [7, 8]:

$$\tau_1 = \tau_n + \tau_p, \text{ с}$$

де  $\tau_n$  – тривалість охолодження першого періоду, с;

$\tau_p$  – тривалість охолодження другого періоду, с.

Тривалість охолодження першого періоду  $\tau_n$  знаходять із залежності, аналогічної залежності [4,5]:

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
|     |      |          |        |      |                                    | 26   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    |      |

$$\tau_n = \frac{F_o \cdot R_v^2}{a_p},$$

де  $F_o$  – число Фур'є,  $F_o=0,04$ ;

$R_v$  – еквівалентна товщина продукту, м;

$a_n$  – температуропровідність продукту,  $a_n=11,3 \cdot 10^{-6}$ , м<sup>2</sup>/с.

Еквівалентну товщину продукту визначають за рівнянням

$$R_v = v_n / F_n, \text{ м}$$

де  $v_n$  – обсяг продукту, м<sup>3</sup>.

Якщо прийняти, що пельмень має ферму прямокутного бруса, то  $v_n = l_n b_n \delta_{\text{п}}$ , тут  $l_n b_n \delta_{\text{п}}$  – довжина, ширина и товщина продукту [6].

Площа поверхні продукту

$$F_n = 2 (l_n b_n + b_n \delta_{\text{п}} + l_n \delta_{\text{п}}), \text{ м}^2.$$

Тривалість охолодження продукту в другому періоді знаходять із залежності

$$\tau_p = \frac{\ln \left( \frac{\bar{t} - t_{c1}}{t_{kp} - t_{c1}} \right)}{m}, \text{ с}$$

Середню температуру продукції заморожування (додатки А, Б) до моменту початку другого періоду (регулярного режиму) визначають за формулою

$$\bar{t}_1 = \bar{\theta} (t_l - t_c) + t_n, \text{ }^\circ\text{C}.$$

Безрозмірну середню температуру м'ясопродуктів для першого періоду охолодження знаходять із залежності

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{t}_1 - t_1}{t_1 - t_{c1}} = 1 - B_1 e^{-\mu \cdot F_o}, \text{ }^\circ\text{C}.$$

При  $F_o=0,04$  це рівняння має таке значення постійних:  $\mu_1=0,71$  і  $B_1=0,994$ .

Темп охолодження  $m$  знаходять з залежності

$$m = \frac{a_p}{R_v^2} K_n,$$

де  $K_n$  – число Кондратьєва

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
|     |      |          |        |      |                                    | 27   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    |      |

$$K_n = \frac{Bi_v}{\sqrt{Bi_v^2 + 1,437Bi_v + 1}},$$

де число  $Bi$  розраховують за залежністю

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R_v}{\lambda_p},$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні продукту до тепловідводної середовищі, Вт/м<sup>2</sup> К;

$\lambda_p$  – коефіцієнт теплопровідності від продукту, Вт/м К.

Коефіцієнт тепловіддачі від продукту до газоподібного азоту знаходять із залежності:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{\delta},$$

де  $\lambda$  – теплопровідність азоту, Вт/м·К;

$Nu$  – критерій Нуссельда.

Критерій Нуссельда для азоту циркулюючого в зоні попереднього охолодження, знаходять з рівняння подібності виду

$$Nu = 0,0296 Re^{0,8} Pr^{0,43}.$$

Число Рейнольдса, що входить в рівняння, визначають по залежності виду

$$Re = \frac{\omega_{Д1} l_n \nu_{N2}}{\mu}$$

де  $\nu_{N2}$  – щільність газоподібного азоту, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – теплопровідність газоподібного азоту, Вт/(м·К);

$Pr$  – Число Прандтля.

Теплоприток при холодильній обробці продукту в зоні заморожування знаходять із залежності:

$$Q''_2 = G' q_{з2}, \text{ Вт.}$$

Питома кількість теплоти, яка сприймається азотом, визначають за формулою

$$q''_{N2} = c''_p (t_x - t_{x1}),$$

де  $c''_p$  – питома теплоємність (при середній температурі газоподібного азоту, що дорівнює  $t_{cp} = (t_x - t_{x1})/2$ ), Дж/кг К;

$t_x$  – температуру газоподібного азоту, що надходить в зону попереднього охолодження, °С;

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 28   |

$t_{x1}$  – температуру газоподібного азоту на виході із зони попереднього охолодження, °С.

Температура газоподібного азоту на виході із зони попереднього із залежності: охолодження визначають

$$t_{x1} = t_0 + 10, ^\circ\text{C}.$$

Масове кількість газоподібного азоту, що циркулює в зоні заморожування

$$G^{II}_{N2} = Q^{II}_2 / q^{II}_{N2}, \text{ кг/с}.$$

Масове кількість рециркулює в зоні заморожування азот

$$G_{\text{рец.}} = G^{II}_{N2} - G_{N2}, \text{ кг/с},$$

де  $G_{N2}$  – витрата рідкого азоту, кг/с.

Кратність циркуляції азоту в зоні заморожування

$$n_a = G^{II}_{N2} / G_{N2}.$$

Швидкість руху газоподібного азоту в зоні заморожування  $w = 10$  м/с. Цю швидкість можна отримати при живому перетині каналу, рівному

$$f_{\text{жс2}} = G^{II}_{N2} / \nu w, \text{ м}^2$$

де  $\nu$  – щільність азоту при температурі  $t_{cp}$ , кг/м<sup>3</sup>.

З урахуванням заповнення каналу апарату продуктом

$$f_{\text{жс2}}^1 = f_{\text{жс2}} - f_{\text{жс}}, \text{ м}^2$$

де  $f_{\text{жс}}$  – живий перетин для проходження газоподібного азоту в шарі м'ясопродуктів, м<sup>2</sup>.

Загальна висота каналу  $H_{\kappa}^{11}$  зони заморожування

$$H_{\kappa}^{11} = h_{\kappa} + \delta_n, \text{ м}.$$

Висота каналу зони заморожування без укладання продукту

$$h_{\kappa} = \frac{f_{\text{жс2}}^1}{B_{\text{л}}}, \text{ м}$$

де  $B_{\text{л}}$  – ширина стрічки, м.

Тривалість заморожування в зоні заморожування апарату визначають за формулою:

$$\tau = \frac{q_3 \cdot \rho_{\pi}}{t_{KP} - t_{cp}} \delta \left( R \frac{\delta}{\lambda_3} + P \frac{1}{\alpha} \right), \text{ с}$$

|     |      |          |        |      |                             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                             | 29   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

де  $t_{cp}$  – температура тепловідводної середовища, °С;

$R$  и  $P$  – допоміжні коефіцієнти, що залежать від форми співвідношення розмірів заморожуючого продукту.

Коефіцієнт тепловіддачі від продукту до газоподібного азоту в зоні заморожування ( $\alpha_2$ ) знаходять по залежностям, аналогічним залежностям для зони попереднього охолодження [4].

Загальна тривалість холодильної обробки

$$\tau_3 = \tau_1 + \tau_2.$$

Приймаємо, що зона вирівнювання температури апарату конструктивно виконана без примусової циркуляції газоподібного азоту (природна конвекція). Тривалість перебування продукту в цій зоні така ж, як і в зоні попереднього охолодження, т. б.  $\tau_1 = \tau_2$  [3, 4, 5].

Тривалість перебування м'ясопродуктів в кріоморозильному апараті

$$\tau_o = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \text{ с.}$$

Місткість апарату  $G$  знаходять із залежності

$$G = G_1 \tau_o, \text{ кг.}$$

Площа поверхні стрічки конвеєра

$$F_n = \frac{G}{g_F}, \text{ м}^2$$

де  $g_F$  – питома масова навантаження продукту, віднесена к 1 м<sup>2</sup> площі поверхні стрічки конвеєра (у розрахунках прийняти  $g_F = 7 \text{ кг/м}^2$ ), кг/м<sup>2</sup>.

Розроблені математичні моделі дозволили автору роботи побудувати базу знань при проектуванні робототехнологічного обладнання для систем завантаження холодильних камер м'ясними продуктами та їх розвантаження з автоматизованого робочого місця (АРМ) технолога-диспетчера [6].

|     |      |          |        |      |                             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 30   |

## РОДІЛ 3 РОЗРОБКА РОБОТОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСОПРОДУКТІВ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ

### 3.1. Роботизація технологічного процесу виробництва заморожуваних продуктів харчування

М'ясна продукція традиційно користуються популярністю в українських покупців і споживається практично щодня великою кількістю населення країни [2].

При цьому складна загальна економічна ситуація в багатьох регіонах у період війни росії з Україною, а саме введення обмежень на постачання окремих видів продовольства і сільськогосподарської продукції, значна вартість логістичних операцій, а також висока інфляція призвели до зниження купівельної спроможності споживача і загострення конкуренції між невеликими регіональними і великими м'ясопереробними підприємствами Дніпропетровської області [6, 9].

Тому покращення якості м'ясної продукції в цей період досягається за рахунок виробництва безпечної продукції з технологіями заморожування та робототехніки, та є важливим стратегічним напрямком розвитку галузі [1, 12].

З матеріалів роботи науковці ДонНУЕТ приділяють розвитку ринку вітчизняних екологічно чистих харчових продуктів. При цьому особливо увага приділяється використанню технологій робототизованого заморожування продукції [2].

Висока частота споживання м'ясної продукції при зниженні вартості продовольчого кошика і підвищеному попиті на безпечні для здоров'я продукти харчування визначає актуальність пропонованих авторами рецептур і безлюдних технологій для розширення асортиментного ряду сучасних продуктів харчування [2].

На рисунку 3.1 наведена блок схема робототизованого комплексу з виробництва заморожуваних продуктів харчування за алгоритмами та рецептами, розробленими в ДонНУЕТ і наведеними в додатках А, Б, В.

Робототизований комплекс виробництва продукції здорового харчування виконує наступні технологічні операції: підготовка сировини(очищення, миття, варіння, охолодження, нарізання, формування, охолодження, заморожування); технологічні операції оброблення води та м'ясних продуктів узк з операціями подрібнення та перемішування; технологічні операції вітамінізації м'ясних продуктів; роботизація операцій: охолодження до температури 3-5градусів с, заморожування до температури -18 градусів С [4-8, 10];

|   |             |          |        |         |
|---|-------------|----------|--------|---------|
| <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>  |             |          |        |         |
| Зм.   | Арк.        | № докум. | Підпис | Дата    |
| Розроб.   | Кузьмін     |          |        |         |
| Перевір.  | Хорольський |          |        |         |
| Н. Контр.   | Омельченко  |          |        |         |
| Затверд.  | Цвіркун     |          |        |         |
| Дослідження технологій заморожування продукції та роботизація обладнання для виробництва продуктів здорового харчування |             |          |        |         |
| Літ.  |             | Арк.     |        | Аркушів |
|   |             | 6        |        | 47      |
| <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b>   |             |          |        |         |

5. Роботизація операцій пакування з інтелектуальною системою контролю якості котлет розпізнавання їх форми та завантаження їх в спеціальні контейнери.

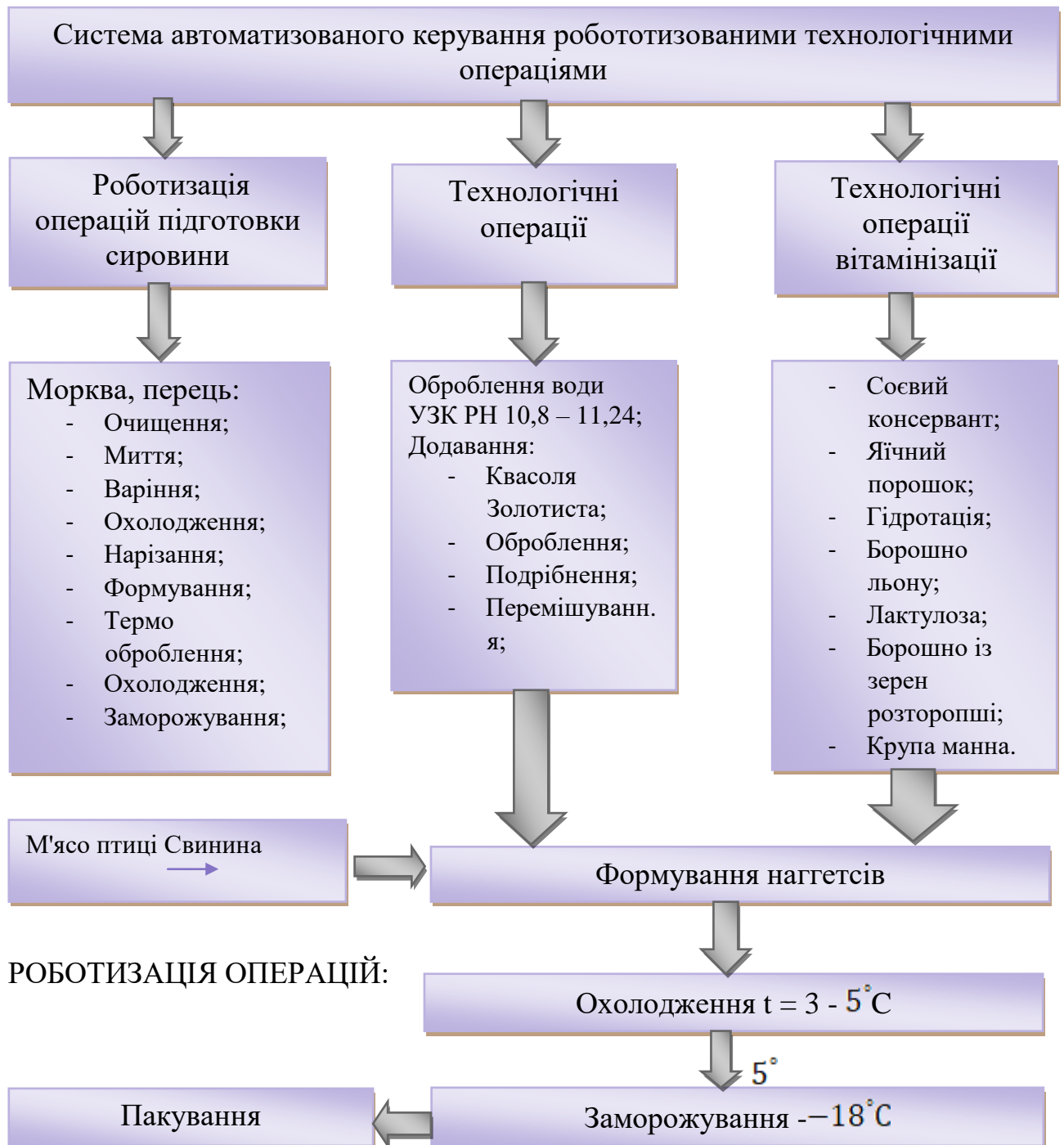


Рисунок 3.1 – Робототехнологічна система виробництва продуктів харчування

На рисунку 3.2 наведено типову схему робототехнологічного комплексу з виробництва продукції її заморожування та завантаження (розвантаження) контейнерів з готовою продукцією. Робототехнічна система крім цих операцій виконує операцію різання та контролю якості продукції [17, 18].



До структури такого робототехнологічного комплексу введені наступні системи: вимірювально-інформаційні системи (сенсори); система зв'язку та інтерфейсів; управлінська система з програмним забезпеченням та алгоритмами оптимізації; робоче середовище-людина, АРМ; виконавча система робототехнологічного комплексу [4, 6, 8].

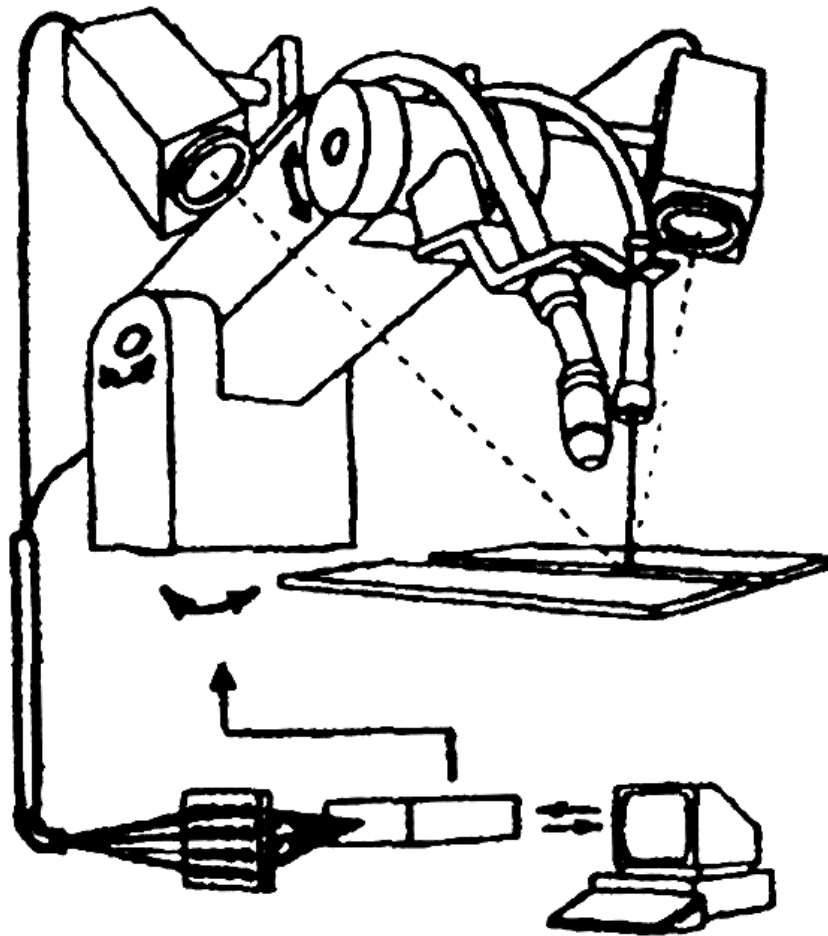


Рисунок 3.2 – Типова робототехнологічна система різання м'яса

Розглянемо економічні показники виробництва нових видів м'ясної продукції (на 1 тону). Економічний ефект з урахуванням капітальних витрат на впровадження додаткового обладнання для електроактивації води (36685 грн.) і пророщування рослинної сировини (115000 грн.) при терміні його корисного використання 10 років у результаті впровадження розроблених автором технологій м'ясопродуктів для здорового харчування складе від 12,92 до 34,69 тис. грн. на кожен тону продукції і від 2,31 до 4,28 тис. грн. на 1 т. м'ясо-рослинних консервів [6].

При цьому слід зазначити, що сума постійних витрат, що припадають на 1 тону продукції, зменшиться при підвищенні обсягу виробництва, що вплине на збільшення економії за собівартістю продукції.

Розрахунок економічного ефекту від впровадження у виробництво пропонованого асортименту нутрієнтнобалансованої м'ясної продукції проведено за статтями калькуляції і нормам відповідно до галузевих інструкцій в порівнянні з традиційними технологіями, застосовуваними сучасними підприємствами м'ясної промисловості (додатки А, Б) [10, 12].

Економічний ефект, будемо оцінювати за величиною одержаного прибутку. Він має місце в результаті зниження собівартості продукції. Цей прибуток буде одержано за рахунок зниження витрат підприємства-виробника замороженої продукції, пов'язаної з використанням у процесі виробництва продукції сировини, матеріалів, палива, енергії та трудових ресурсів. При цьому розрахунок постійних витрат проведено для підприємства, який виробляє 150 тонн готової продукції на рік. В якості контрольних зразків використовувалися: нагетси класичні, виготовлені на основі розроблених в ДонНУЕТ алгоритмів мінімізації витрат [1, 6, 14].

При цьому слід зазначити, що сума постійних витрат, що припадають на 1 т на збільшення економії за собівартістю продукції зменшиться при підвищенні обсягу виробництва, що вплине на кінцевий результат розрахунку.

### **3.2 Несправності роботизованих холодильних установок і їх усунення**

У процесі написання цього параграфу нами використані матеріали монографій та довідників, що дозволило побудувати базу ситуацій, аварій та несправностей в процесі експлуатації холодильних апаратів. У процесі побудови моделей причино-наслідкових зв'язків нами встановлено наступне:

1. Несправності в холодильній установці можуть виникнути внаслідок не вірного обслуговування, а також зношення її деталей, вузлів і приладів [5, 12, 13, 14, 15, 16].

2. Несправності розділяють на механічні (частіше в компресорі), по режиму роботи в циркуляційній системі і приладів автоматики. Характерні несправності холодильних установок (по режиму роботи), причини і способи їхнього усунення наступні: надмірно високий тиск нагнітання може бути викликано недостатнім охолодженням конденсатора внаслідок забруднення його тепло передаючої поверхні; недостатньою подачею вентилятора конденсатора; надлишком холодоагенту в системі; наявністю повітря в системі [5-8, 16].

3. У випадку наявності повітря в системі холодоагент проходить через ТРВ із переривчастими свистячими звуками, відбувається сильне тремтіння стрілки манометра високого тиску. Підвищений тиск усмоктування може бути з наступних основних причин: надмірно відкрита ТРВ або система переповнена холодоагентом; нещільно прилягають усмоктувальні клапани компресора, поршневі кільця; наявність повітря в системі [13].

Низький тиск усмоктування може бути викликано сильним забрудненням масляних фільтрів для очищення повітря; недостатньою кількістю холодоагенту в системі чи недостатнім відкриттям ТРВ; замерзанням вологи в ТРВ; засміченням чи осушувачів фільтра ТРВ. При засміченні фільтрів покривається інеєм або запотіває рідинний трубопровід до місця засмічення [13]. Знижений тиск оливи в системі змазування можливо через недолік оливи в картері, засмічення масляних фільтрів, неправильної зборки масляного насосу, значного зносу його деталей, підвищених зазорів у різних підшипниках шатунів.

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 34   |

«Вологий» хід компресора характеризується тим, що температура усмоктування (по термометрі) дорівнює температурі кипіння (по манометрі). Робота компресора «вологим» ходом приводить до гідравлічних ударів у циліндри, що можуть викликати аварію. Основною причиною «вологого» ходу є надмірне відкриття регулюючого вентиля подачі холодоагенту у випарник. Для усунення перерахованих вище несправностей необхідно відповідно очистити (промити) конденсатор; злити надлишок хладона із системи; видалити повітря із системи; відрегулювати ТРВ, зменшивши подачу холодоагенту у випарник; замінити пластини всмоктувальних клапанів, поршневі кільця; замінити повітряні масляні фільтри системи вентиляції; додати хладон у систему; відрегулювати ТРВ, збільшивши подачу холодоагенту у випарник; зняти «снігову шубу» ТРВ теплою водою і замінити фільтри-осушувачі; розібрати і промити чи фільтр установити (новий; додати олія в картер компресора; зняти і промити фільтри масляного насоса, перевірити зборку насоса, замінити його зношені деталі; зменшити зазори в різних підшипниках шатунів, відрегулювати ТРВ, зменшати подачу хладона у випарник [15, 16].

### **3.3 Техніка безпечної експлуатації та обслуговування робототизованих холодильних установок**

Усі працівники, зв'язані з експлуатацією чи обслуговуванням роботозованих холодильних установок, повинні бути добре знайомі з пристроєм устаткування, інструкціями з його експлуатації.

Спеціальне навчання персоналу правилам техніки безпеки при експлуатації роботів – маніпуляторів у взаємодії з холодильними апаратами забезпечує працездатність технологічного обладнання та при цьому зменшується кількість можливих аварій. Про цьому кожна робототехнологічна система заморожування продуктів харчування додатково включає не лише системи автоматизованого керування режимами заморожування, але і системи розпізнавання аварійних режимів, які виникають в процесі несправності холодильних машин та випарників [14, 15, 16].

При несправності хладогенових установок, незважаючи на відносну нешкідливість хладона, можливе ядуха, якщо зміст пар хладона в повітрі більш 30%. Небезпека для обслуговуючого персоналу представляє також безпосереднє влучення рідкого холодоагенту на чи шкіру очі; він викликає обморожування шкіри й ушкодження очей. На відкритому полум'ї хладон, розкладаючи при температурах вище 40°C, утворить отрутні гази, у тому числі і фосген [5]. Тому розкривати хладонових компресори, апаратуру і трубопроводи можна тільки в захисних окулярах і тільки після того, як тиск хладона в них буде знижено до атмосферного; користатися відкритим вогнем і курити забороняється.

Не можна експлуатувати установки охолодження повітря, якщо манометри не мають чи пломб мають пломби з минулим терміном їхньої перевірки, а також якщо вони не мають червоної риси робочого тиску, що допускається гранично. Манометри повинні проходити перевірку та пломбуватися не рідше 1 рази в рік, а також після кожного ремонту. При заповненні системи хладоном нагрівати балон будь-яким способом

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 35   |

забороняється. При цьому не дозволяється підвищувати тиск на нагнітальній стороні більш 0,9 Мпа, а на усмоктувальної – більш 0,4 Мпа. Забороняється залишати балони з хладоном приєднаними до холодильної установки після заповнення чи системи видалення з її хладона. Норма заповнення балона при зливі із системи не повинна перевищувати 1,1 кг/л [16].

Особливу увагу персоналу необхідно звернути на обслуговування компресорних установок апаратів охолодження та заморожування продукції. У нашому випадку в роботі запропоновано включити в АСУТП робототехнологічного комплексу заморожування продукції інтелектуальні системи розпізнавання аварійних ситуацій та захисту обладнання від збурень та зниження параметрів якості продукції за допомогою розроблених вченими ДонНУЕТ комп'ютерних систем.[10, 11, 12]

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 36   |

## ВИСНОВКИ

На підставі виконаних досліджень запропоновано та реалізовані нові технологічні рішення роботизованого виробництва м'ясопродуктів для здорового харчування на базі холодильних технологій та обладнання.

### Основні результати роботи узагальнені в наступних висновках:

1. На основі результатів аналізу термінологічних аспектів, смислового і змістовного наповнення методології робототехніки, основних законів і принципів системного проектування харчових біосистем визначено пріоритетні напрямки вирішення проблем створення роботизованих технологій та обладнання для виробництва заморожуваних м'ясопродуктів щодо здорового харчування населення, що проживає на забруднених територіях [1, 2, 3, 4].

2. Розроблено методологію системного підходу, та імітаційне моделювання роботизованого керування траєкторією виробництва заморожуваних продуктів харчування. На базі міждисциплінарного підходу, та інформаційних технологій, розроблено принципи багаторівневого моделювання та адаптації холодильного обладнання при проектуванні холодильних камер з системами роботизованого завантаження продукції, контролю параметрів якості заморожених м'ясних продуктів харчування.

3. Теоретично обґрунтовано методи технології і обладнання щодо виробництва заморожених продуктів харчування. Розроблено базу знань та математичні моделі технологічного процесу заморожування продукції. Доведено, що при температурі  $-20^{\circ}\text{C}$  заморожувані м'ясопродукти не втрачають своїх нутрієнтних характеристик.

4. Реалізовано роботизовані технологічні рішення щодо виробництва полікомпонентних м'ясопродуктів. В роботизованих системах виробництва продуктів здорового харчування автоматизовані: операції підготовки сировини, операції оброблення води та м'яса за допомогою УЗК з операціями подрібнення та перемішування, операції вітамінізації, охолодження та заморожування. Роботизація операцій пакування з інтелектуальними системами розпізнавання форми наггетс-котлет та їх якості виконана за допомогою інтелектуальних роботів четвертого покоління.

5. За допомогою бази знань побудованої на основі монографії апробовано лінійку м'ясопродуктів для здорового харчування серед них: основні результати досліджень представлені на прикладі чотирьох видових груп - рубані напівфабрикати, м'ясо-рослинні консерви, варені ковбаси і желюваного м'ясопродукти профілактичної спрямованості, збалансованих по нутрієнтному складу і / або збагачених натуральними біокорегуючими і функціональними інгредієнтами – джерелами йоду, кальцію, антиоксидантів, вітамінів, харчових волокон і пребіотиків [2].

|           |             |          |        |      | ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ |      |         |
|-----------|-------------|----------|--------|------|-----------------------------|------|---------|
| Зм.       | Арк.        | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |         |
| Розроб.   | Кузьмін     |          |        |      | Літ.                        | Арк. | Аркушів |
| Перевір.  | Хорольський |          |        |      |                             |      |         |
| Н. Контр. | Омельченко  |          |        |      | ДонНУЕТ<br>Кафедра ЗІДО     |      |         |
| Затверд.  | Цвіркун     |          |        |      |                             |      |         |

6. Технології розроблених м'ясопродуктів для здорового харчування та робототизоване холодильне обладнання представляє значний інтерес для підприємств харчової промисловості Придніпровського регіону з територіями з техногенним тиском.

7. Економічний ефект від їх впровадження становить від 2,31 до 4,28 тис. грн. на 1 т. м'ясо-рослинні консервів і від 12,92 до 34,69 тис. грн. на тонну решти продукції (рубані напівфабрикати, варені ковбаси, желовані м'ясопродукти) за рахунок зниження собівартості в порівнянні з традиційними видами в середньому на 4% і 11-20% відповідно [1, 2, 3].

8. Таким чином, запропоновані концептуальні підходи, інструментарій та результати проектування холодильного обладнання розвивають перспективний науковий напрямок заморожування продуктів харчування для населення, що мешкає на територіях з техногенним тиском та дозволяють системно розробляти технології використання робототехніки для безлюдного виробництва м'ясопродуктів для здорового харчування.

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 38   |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування/ Хорольський В.П., Коренець Ю.М.,СеребренниковВ.М.: монографія / Видавець Чернявський Д.О. Кривий Ріг , 2021. – 312с.
2. Нікіфоров Р.П., Сабіров О.В.,Сімакова О,О. та ін... Технологія м'ясної продукції і використання високого тиску: монографія. Кривий Ріг ДонНУЕТ, 2021, 136с.
3. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій, Гончаренко Б.М., Ладанюк А.П. / Підручник. Київ НУХТ, 2014. – 530с.
4. Хмельнюк М. Г., Подмазко О. С., Подмазко І. О. Холодильні установки та сфери їх використання : Підручник. Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2014. 484 с.
5. Теплохолодотехніка : навч. посіб. / С. М. Василенко та ін. Київ : Ліра-К., 2019. 258 с.
6. Холодильні установки : підручник / за ред. І. Г. Чумака. Одеса : Рефпринтінфо, 2006. 550 с.
7. Тітлов О. С., Горикін С.Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 286 с.
8. Дячек П. И. Холодильные машины и установки : учеб. пособие. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 424 с.
9. Анатолій Чернявський та ін. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Консультування підприємств щодо енергоефективності. Київ, 2020. 148 с.
10. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заїкіна Д. П., Невідін В. І. Автоматизовані системи керування виробництвом заморожуваних продуктів харчування. Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки. Хмельницький, 2020. № 6 (291), С. 199–206.
11. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заїкіна Д. П., Кузьменко А. О., Невідін В. І. Інформаційна система керування виробництвом харчових смарт-продуктів з технологіями заморожування. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2020. № 2 (41). С. 79–88.
12. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Яровий Д. В., Расчехмаров І. В. Теоретичні основи багаторівневого автоматизованого керування холодозабезпеченням промислових холодильників. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2021. Вип. 2 (43). С. 122–130.
13. Якшаров Б.П.,СмирноваН.В. Справочник механика по холодильным установкам.-Л.:Агропромиздат,1989-312с.
14. Быков Б.С.,Калнинь И.М.,Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы. М.; Агропромиздат,1998.-286с.
15. Милованов В.И. Повышение долговечности малых холодильных компрессоров.-М.:Пищ. промышленность, 1980.-200с.
16. Владіміров В.М. Малі холодильні компресори- Донецьк: ДонНУЕТ,2006-326с.

|     |      |          |        |      |                             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|     |      |          |        |      | ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                             | 39   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

17. Проць Я.І.,Савків В.Б.,Шкодівський О.К.,Ляшук О.Л. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів.- Тернопіль: ТНТУім.І.Пілюя,2011.-344с.

18 Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры: Учебн. пособие /И.А.Елизаров, Ю.Ф. Мартемьянов, А.Г.Схиртладзе, С.В.Фролов.- М.: Машиностроение, 2004.-180с.

|     |      |          |        |      |                                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    | 40   |



**Додаток А**  
**Рецептури, хімічний склад, фізико-хімічні властивості і енергетична цінність нагетсів**

| Найменування інгредієнтів, харчових речовин і показників | Рецептури внутрішньосбалансованих п/ф (нагетсів) |                                |                 |                 |                                |                 |
|--|--|--------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
|  | З м'яса курки                                    |                                |                 | З м'яса індички |                                |                 |
|  | Базова   | Біокорекція по                 |                 | Базова          | З Біокорекція по               |                 |
|  |  | Жирним кислотам та прибіотикам | Йоду та кальцію |                 | Жирним кислотам та прибіотикам | Йоду та кальцію |
|  | №1   | №2                             | №3              | №4              | №5                             | №6              |
| <b>1</b>   | <b>2</b>   | <b>3</b>                       | <b>4</b>        | <b>5</b>        | <b>6</b>                       | <b>7</b>        |
| М'ясо кур (біле)   | 20,0   | 20,0                           | 20,0            | -               | -                              | -               |
| М'ясо індички (біле)                                     | -  | -                              | -               | 22,0            | 22,0                           | 22,0            |
| М'ясо кур мех. обвалки                                   | 8,0  | 8,0                            | 8,0             | 8,0             | 8,0                            | 8,0             |
| Морква   | 18,4   | 16,2                           | 18,2            | 16,0            | 14,0                           | 15,5            |
| Перець солодкий  | 10,0   | 8,0                            | 9,5             | 8,0             | 6,0                            | 5,5             |
| Крупа манна  | -  | -                              | -               | 5,0             | 5,0                            | 5,0             |
| Мука льону   | -  | 4,5                            | -               | -               | -                              | -               |
| Мука з зерен розторопші                                  | -  | -                              | -               | -               | 4,0                            | -               |

|                  |                    |                 |               |             |  |             |                |
|------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------|--|-------------|----------------|
|                  |                    |                 |               |             | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>   |             |                |
| <i>Зм.</i>       | <i>Арк.</i>        | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |             |                |
| <i>Розроб.</i>   | <i>Кузьмін</i>     |                 |               |             | <i>Літ.</i>  | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  | <i>Хорольський</i> |                 |               |             |  | 1           | 47             |
| <i>Н. Контр.</i> | <i>Омельченко</i>  |                 |               |             | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b>  |             |                |
| <i>Затверд.</i>  | <i>Цвіркун</i>     |                 |               |             |  |             |                |
|                  |                    |                 |               |             | <b>Рецептури, хімічний склад,<br/>фізико-хімічні властивості і<br/>енергетична цінність<br/>нагетсів</b> |             |                |

**Додаток Б**  
Показники амінокислотної збалансованості та біологічної цінності нагетсів

| Найменування показників                      |         | Значення показників для нагетсів по рецептрам |          |          |                  |          |          |
|--|---------|---|----------|----------|------------------|----------|----------|
|  |         | Із м'яса кур                                  |          |          | Із м'яса індички |          |          |
|  |         | №1  | №2       | №3       | №4               | №5       | №6       |
| <b>1</b>                                     |         | <b>2</b>                                      | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b>         | <b>6</b> | <b>7</b> |
| Вміст незамінних амінокислот, г/100 г білку  | Лей     | 7,42  | 7,39     | 7,40     | 7,52             | 7,33     | 7,52     |
|  | Иле     | 3,82  | 3,92     | 3,82     | 4,26             | 4,29     | 4,27     |
|  | Ліз     | 6,29  | 6,04     | 6,29     | 6,54             | 6,45     | 6,50     |
|  | Мет+Цис | 3,40  | 3,45     | 3,44     | 3,17             | 2,93     | 3,20     |
|  | Фен+Тір | 7,13  | 7,22     | 7,10     | 6,98             | 6,72     | 6,98     |
|  | Тре     | 4,13  | 4,15     | 4,13     | 4,08             | 3,9      | 4,08     |
|  | Трі     | 1,39  | 1,42     | 1,42     | 1,44             | 1,38     | 1,45     |
|  | Вал     | 4,54  | 4,65     | 4,55     | 4,59             | 4,41     | 4,60     |
| Узагальнений критерій бажаності АК. доля од. |         | 0,806   | 0,804    | 0,805    | 0,760            | 0,783    | 0,763    |
| Мінімальний амінокислотний скор. %           |         | 90,8  | 93,1     | 91,0     | 90,4             | 83,8     | 91,4     |

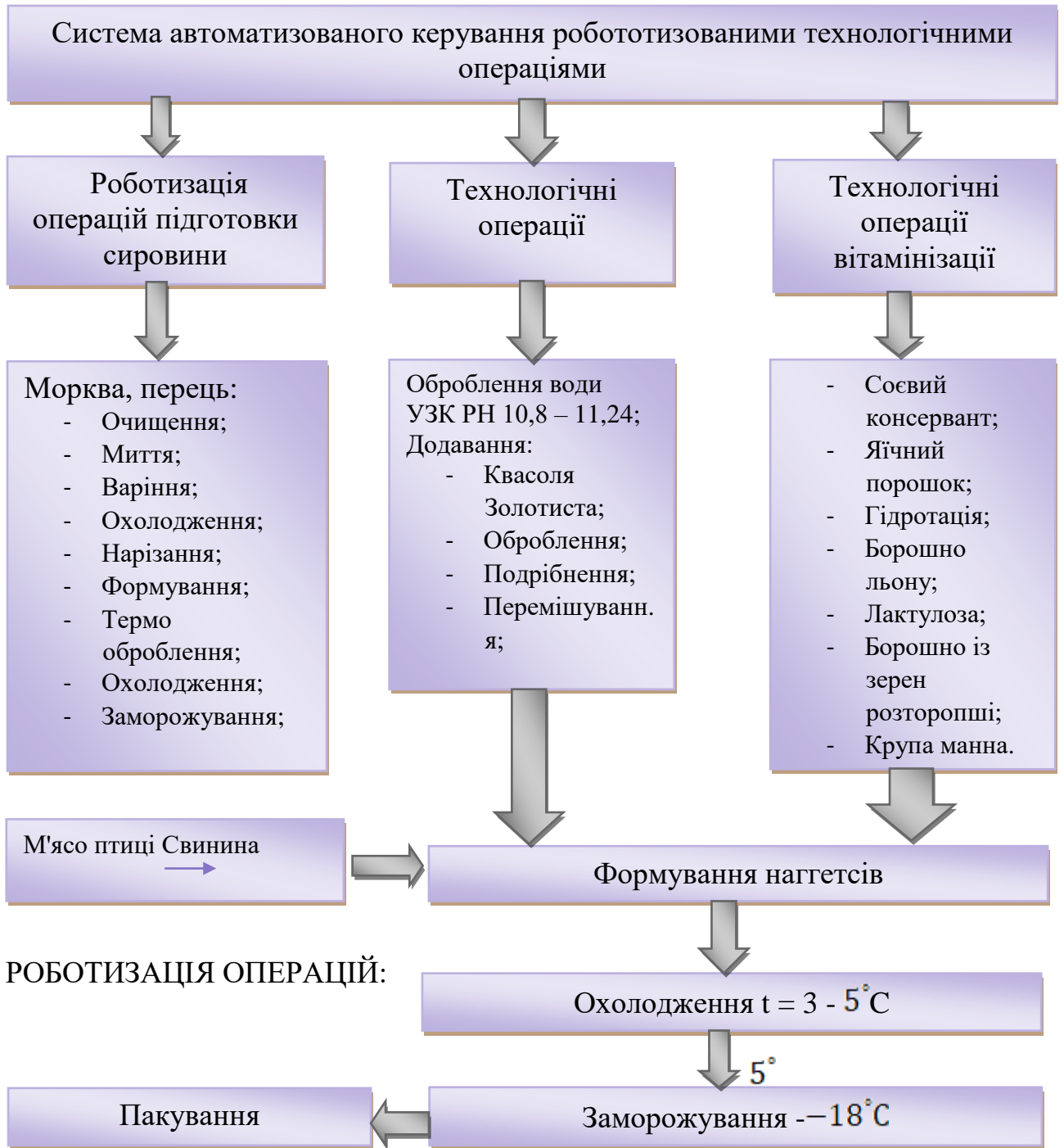
|           |             |          |        |      |  |                                 |      |         |
|-----------|-------------|----------|--------|------|--|---------------------------------|------|---------|
|           |             |          |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>   |                                 |      |         |
| Зм.       | Арк.        | № докум. | Підпис | Дата |  |                                 |      |         |
| Розроб.   | Кузьмін     |          |        |      | <b>Показники амінокислотної збалансованості та біологічної цінності нагетсів</b> | Літ.                            | Арк. | Аркушів |
| Перевір.  | Хорольський |          |        |      |  |                                 | 1    | 47      |
| Н. Контр. | Омельченко  |          |        |      |  | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b> |      |         |
| Затверд.  | Цвіркун     |          |        |      |  |                                 |      |         |

**Додаток В**  
Вітамінний, мікро- і макроелементний склад нагететсів

| Найменування нутрієнтів                   | Одиниця виміру | Вміст в нагетсах по рецептурам |          |          |                  |          |          |
|---|----------------|--------------------------------|----------|----------|------------------|----------|----------|
|   |                | Із м`яса кур                   |          |          | Із м`яса індички |          |          |
|   |                | №1                             | №2       | №3       | №4               | №5       | №6       |
| <b>1</b>                                  | <b>2</b>       | <b>3</b>                       | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b>         | <b>7</b> | <b>8</b> |
| Вітамін С                                 | Мг/100 г       | 13,926                         | 11,658   | 12,870   | 10,720           | 8,305    | 7,831    |
|   | % від РСП      | 15,47                          | 12,95    | 14,30    | 11,91            | 9,23     | 8,70     |
| Тіамін, <b>B<sub>1</sub></b>              | Мг/100 г       | 0,0704                         | 0,1340   | 0,0750   | 0,0750           | 0,0770   | 0,0772   |
|   | % від РСП      | 4,69                           | 8,93     | 5,00     | 5,00             | 5,13     | 5,15     |
| Рибофлавін, <b>B<sub>2</sub></b>          | Мг/100 г       | 0,206                          | 0,209    | 0,214    | 0,214            | 0,210    | 0,220    |
|   | % від РСП      | 11,44                          | 11,61    | 11,89    | 11,89            | 11,67    | 12,22    |
| Пантотенова кислота, <b>B<sub>5</sub></b> | Мг/100 г       | 0,325                          | 0,354    | 0,355    | 0,344            | 0,346    | 0,368    |
|   | % від РСП      | 6,50                           | 7,80     | 7,10     | 6,88             | 6,92     | 7,36     |
| Вітамін <b>B<sub>6</sub></b>              | Мг/100 г       | 0,149                          | 0,153    | 0,152    | 0,124            | 0,117    | 0,117    |
|   | % від РСП      | 7,45                           | 7,65     | 7,60     | 6,20             | 5,85     | 5,85     |
| Вітамін <b>B<sub>12</sub></b>             | Мг/100 г       | 0,180                          | 0,180    | 0,180    | 0,150            | 0,150    | 0,150    |
|   | % від РСП      | 6,00                           | 6,00     | 6,00     | 5,00             | 5,00     | 5,00     |
| Ніацин<br>(вітамін <b>B<sub>3</sub></b> ) | Мг/100 г       | 3,232                          | 3,301    | 3,328    | 3,324            | 3,223    | 3,334    |
|   | % від РСП      | 16,16                          | 16,51    | 16,64    | 16,62            | 16,12    | 16,67    |

|                  |                    |                 |               |             |  |             |             |                |
|------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------|--|-------------|-------------|----------------|
|                  |                    |                 |               |             | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>                           |             |             |                |
| <i>Зм.</i>       | <i>Арк.</i>        | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |             |             |                |
| <i>Розроб.</i>   | <i>Кузьмін</i>     |                 |               |             | <b>Вітамінний, мікро- і макроелементний склад нагететсів</b> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  | <i>Хорольський</i> |                 |               |             |  |             | 1           | 47             |
| <i>Н. Контр.</i> | <i>Омельченко</i>  |                 |               |             | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b>                              |             |             |                |
| <i>Затверд.</i>  | <i>Цвіркун</i>     |                 |               |             |  |             |             |                |

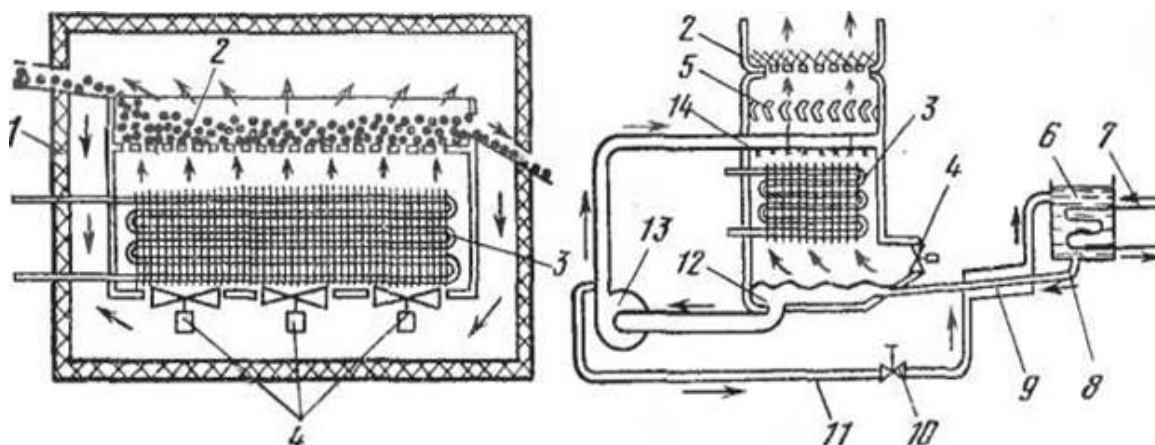
**Додаток Г**  
**Робототехнологічна система виробництва продуктів харчування**



|           |      |             |        |      |   |      |      |         |
|-----------|------|-------------|--------|------|---|------|------|---------|
|           |      |             |        |      | <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>                                |      |      |         |
| Зм.       | Арк. | № докум.    | Підпис | Дата |   |      |      |         |
| Розроб.   |      | Кузьмін     |        |      | Робототехнологічна система<br>виробництва продуктів<br>харчування | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір.  |      | Хорольський |        |      |   |      | 1    | 47      |
| Н. Контр. |      | Омельченко  |        |      | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b>                                   |      |      |         |
| Затверд.  |      | Цвіркун     |        |      |   |      |      |         |

## Додаток Д

Флюїдизаційний морозильний робототизований апарат великої продуктивності із зрошувальним повітроохолодником

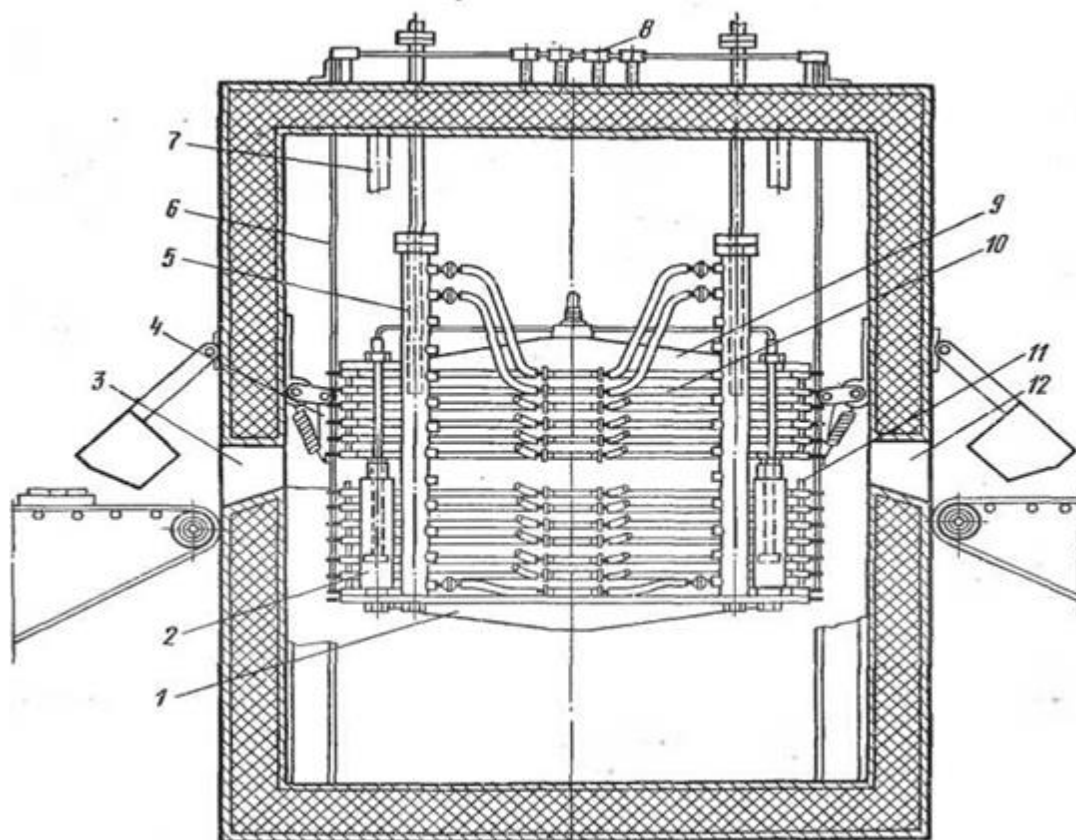


- 1 – ізольований контур; 2 – піддони з перфорованим дном;  
 3 – повітроохолодники; 4 – вентилятор; 5 – краплевіддільник; 6 – конденсатор етиленгліколю;  
 7 – паровий змійовик для випаровування води з етиленгліколю;  
 8 – трубопровід для повернення етиленгліколю в піддон; 9 – теплообмінник;  
 10 – вентиль; 11 – трубопровід для подачі етиленгліколю в конденсатор;  
 12 – піддон з розчином етиленгліколю; 13 – циркуляційний насос;  
 14 – зрошувальна гребінка

|  |             |          |        |         |
|--|-------------|----------|--------|---------|
| <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>   |             |          |        |         |
| Зм.  | Арк.        | № докум. | Підпис | Дата    |
| Розроб.  | Кузьмін     |          |        |         |
| Перевір.   | Хорольський |          |        |         |
| Н. Контр.  | Омельченко  |          |        |         |
| Затверд.   | Цвіркун     |          |        |         |
| <b>Флюїдизаційний морозильний робототизований апарат великої продуктивності із зрошувальним повітроохолодником</b> |             |          |        |         |
| Літ.   |             | Арк.     |        | Аркушів |
| 1  |             | 1        |        | 47      |
| <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b>  |             |          |        |         |

## Додаток Е

### Горизонтально-плиточний роботизований апарат з рухомими морозильними плитами

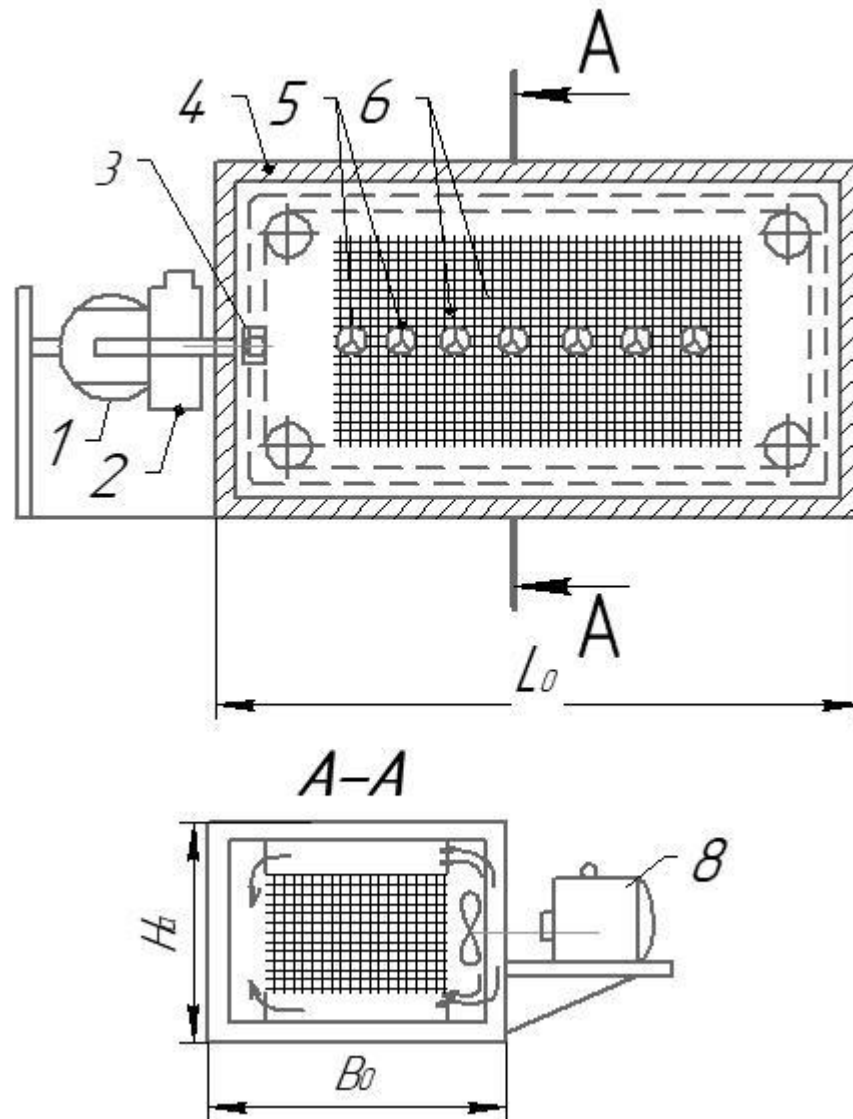


1 – нижня площадка; 2 – гідравлічні циліндри; 3 – робот з розвантажувальною щілиною; 4 – крючки; 5 – рідинні колектори; 6 – троси; 7 – упори; 8 – пристрій для піднімання й опускання плит; 9 – верхня площадка; 10 – морозильні плити; 11 – змінні обмежувальні штифти; 12 – завантажувальна щілина.

|   |      |             |        |         |
|---|------|-------------|--------|---------|
| <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>  |      |             |        |         |
| Зм.   | Арк. | № докум.    | Підпис | Дата    |
| Розроб.   |      | Кузьмін     |        |         |
| Перевір.  |      | Хорольський |        |         |
| Н. Контр.   |      | Омельченко  |        |         |
| Затверд.  |      | Цвіркун     |        |         |
| <b>Горизонтально-плиточний роботизований апарат з рухомими морозильними плитами</b> |      |             |        |         |
|   |      | Літ.        | Арк.   | Аркушів |
|   |      |             | 1      | 47      |
| <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b>   |      |             |        |         |

## Додаток Ж

### Принципова схема роботизованого конвеєрного морозильного апарата



1 – робот-маніпулятор для завантаження й розвантаження; 2 – паровий ящик (скриня); 3 – блок-форма; 4 – ізолюваний контур апарата; 5 – осьові вентилятори; 6 – оребрені секції повітроохолоджувача; 7 – вантажний конвеєр; 8 – електродвигун.

|   |      |             |                                 |      |
|---|------|-------------|---------------------------------|------|
| <b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>  |      |             |                                 |      |
| Зм.   | Арк. | № докум.    | Підпис                          | Дата |
| Розроб.   |      | Кузьмін     |                                 |      |
| Перевір.  |      | Хорольський |                                 |      |
| Н. Контр.   |      | Омельченко  |                                 |      |
| Затверд.  |      | Цвіркун     |                                 |      |
| <b>Принципова схема<br/>роботизованого конвеєрного<br/>морозильного апарата</b> |      |             | Літ.                            | Арк. |
|   |      |             |                                 | 1    |
|   |      |             | <b>ДонНУЕТ<br/>Кафедра ЗІДО</b> |      |
|   |      |             | Аркушів                         | 47   |