

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розширення технологічних можливостей потокової лінії
пастеризації молока для підприємств невеликої продуктивності

Виконав: здобувач вищої освіти 6 курсу, групи МОм-61
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Колцун В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Шинкарик М.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри ОХ
Ворощук В.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 12 » серпня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

здобувачу вищої освіти Колцун Вадим Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розширення технологічних можливостей потокової лінії пастеризації
молока для підприємств невеликої продуктивності

Керівник роботи Шинкарик Марія Миколаївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » серпня 2025 року № 4/7-747.

2. Термін подання завершеної роботи 20 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Технічний паспорт та інструкції з експлуатації, монтажу та
технічного обслуговування і ремонту пастеризаційно-охолоджувальної установки.

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

Анотація. Вступ. 1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування
основних напрямків дослідження.. 2. Вибір методів та методик дослідження. 3. Розроблення
нових технічних вирішень для модернізованої ППОУ. 4. Дослідження технічної системи, що
розглядається в роботі. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.. 5.1 Заходи з
охорони праці.. 5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.. Висновки

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

1. Пастеризаційно- охолоджувальна установка. (1 л. ф. А1)

2. Пластинчатий теплообмінник. (1 л. ф. А1)

3. Компоновочна схема пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)

4. Витримувач. (1 л. ф. А1)

5. Епюра швидкості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)

6. Епюра осьової швидкості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)

7. Епюра вихровості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)

8. Епюра відносного тиску продукту у каналі пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Кравець О.І. – к.т.н., доц. Стручок В.С. – ст.викл.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Ворожук В.Я. – к.т.н., доц.</i>		

7. Дата видачі завдання 12 серпня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація		
2	Вступ		
3	1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.		
4	2. Вибір методів та методик дослідження		
5	3. Розроблення нових технічних вирішень для модернізованої ППОУ		
6	4. Дослідження технічної системи, що розглядається в роботі		
7	5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.		
8	5.1 Заходи з охорони праці.		
9	5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.		
10	Висновки		
11	Графічна частина		
12	1. Пастеризаційно- охолоджувальна установка. (1 л. ф. А1)		
13	2. Пластинчатий теплообмінник. (1 л. ф. А1)		
14	3. Компоновочна схема пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)		
15	4. Витримувач. (1 л. ф. А1)		
16	5. Епюра швидкості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)		
17	6. Епюра осьової швидкості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)		
18	7. Епюра вихровості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)		
19	8. Епюра відносного тиску продукту у каналі пластинчатого теплообмінника. (1 л. ф. А1)		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Колюн В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Шинкарик М.М.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Автор кваліфікаційної роботи освітнього рівня «магістр» – Колцун Вадим Володимирович.

Тема кваліфікаційної роботи: Розширення технологічних можливостей потокової лінії пастеризації молока для підприємств невеликої продуктивності.

Кваліфікаційну роботу виконано у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя протягом 2025 року.

Структура роботи включає пояснювальну записку на 93 сторінках та графічну частину, що складається з 8 креслень формату А1.

У роботі запропоновано заходи щодо розширення технологічних можливостей потокової лінії пастеризації молока для малопотужних підприємств з метою збільшення асортименту продукції, зокрема виробництва йогуртів.

Дана кваліфікаційна робота спрямована на розв'язання наступних ключових задач:

- аналіз способів підведення теплоти та конструкцій теплообмінників в молочній промисловості;

- заходи з модернізації ПОУ для молока при виробництві в'язких продуктів;

- розрахунки модернізованого пластинчастого теплообмінника;

- числові симуляції руху продукту в каналі пластинчастого теплообмінника.

- заходи з охорони праці та безпечної експлуатації устаткування;

- комплекс заходів для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: йогурт, канал, моделювання, теплообмінник.

Abstract

Vadym Koltsun. Expansion of the technological capabilities of a milk pasteurization production line for low-capacity enterprises. 133 “Industrial Machinery Engineering” – Ternopil Ivan Puluj National Technical University.-Ternopil, 2025.

The structure of the work includes an explanatory note of 93 pages and a graphic part consisting of 8 drawings in A1 format.

The paper proposes measures to expand the technological capabilities of milk pasteurisation lines for small-scale enterprises in order to increase the range of products, in particular the production of yoghurt.

This qualification work is aimed at solving the following key tasks:

- analysis of heat supply methods and heat exchanger designs in the dairy industry;
- measures to modernise milk processing equipment for the production of viscous products;

- calculations for a modernised plate heat exchanger;

- numerical simulations of product movement in the channel of a plate heat exchanger.

- measures for occupational health and safety and safe operation of equipment;

- a set of measures to ensure personnel safety in emergency situations.

Keywords: yoghurt, channel, modelling, heat exchanger.

Зміст

Анотація	4
Abstract.....	5
Зміст.....	6
Вступ.....	8
1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.....	11
1.1. Аналіз способів підведення теплоти та конструкцій теплообмінників в молочній промисловості.....	11
1.1.1. Основні способи підведення теплоти в молочній промисловості	11
1.1.2. Класифікація теплообмінників молочної промисловості	13
1.1.3. Спеціалізовані теплообмінники для конкретних процесів.....	20
1.1.4. Огляд методів інтенсифікації теплообміну за оптимізація витрат енергії.....	24
1.2. Техніко – економічне обґрунтування модернізації	25
1.3. Мета та задачі кваліфікаційної роботи	27
2. Вибір методів та методик дослідження	28
2.1. Загальна характеристика SolidWorks Flow Simulation	28
2.2. Можливості SolidWorks Flow Simulation для дослідження гідравлічних систем	28
2.3. Можливості SolidWorks Flow Simulation для дослідження теплообмінних систем	29
2.4. Вибір параметрів для дослідження.....	31
3. Розроблення нових технічних вирішень для модернізованої ППОУ	34
3.1 Розрахунок ППОУ.....	34
3.2. Особливості експлуатації і технічного обслуговування ППОУ.....	43
4. Дослідження технічної системи, що розглядається в роботі.....	46
4.1. Постановка задачі.....	46
4.2. Результати дослідження	49

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	67
5.1 Заходи з охорони праці.....	67
5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	75
5.2.1. Фундаментальні завдання забезпечення стабільної роботи переробних підприємств у надзвичайних ситуаціях	75
5.2.2. Аналіз потенційних небезпек та розробка заходів підвищення стійкості проти аварій природного та техногенного характеру на підприємстві ЗАТ "Тернопільський молокозавод"	79
5.2.3. Підсумкові висновки та рекомендації.....	88
Висновки	89
Перелік посилань.....	92
Додатки.....	94

Вступ

Розвиток молокопереробної галузі України характеризується зростанням частки підприємств невеликої продуктивності, які забезпечують виробництво якісної молочної продукції в регіонах з обмеженою сировинною базою. Водночас застосування традиційного теплообмінного обладнання на таких підприємствах пов'язане з низькою енергоефективністю, значними експлуатаційними витратами та недостатньою гнучкістю технологічних процесів. Пластинчасті теплообмінники, що використовуються в потокових лініях пастеризації, потребують оптимізації конструктивних параметрів міжпластинних каналів для підвищення інтенсивності теплообміну, зниження гідравлічних втрат та забезпечення рівномірної теплової обробки молочної сировини. Відсутність науково обґрунтованих підходів до проектування компактного теплообмінного обладнання для підприємств малої потужності стримує технологічну модернізацію галузі та знижує конкурентоспроможність вітчизняних виробників на ринку молочної продукції.

Актуальність дослідження підсилюється необхідністю зниження енергетичних витрат молокопереробних підприємств в умовах зростання вартості енергоносіїв та посилення вимог до екологічної безпеки виробництва. Застосування сучасних методів комп'ютерного моделювання CFD дозволяє детально проаналізувати робочі процеси в міжпластинних каналах, встановити закономірності формування швидкісних полів, вихровості потоку та розподілу тиску, що є основою для розробки вискоєфективних конструкцій теплообмінників. Розширення технологічних можливостей потокової лінії пастеризації через впровадження оптимізованих пластинчастих теплообмінників забезпечить підвищення теплотехнічної ефективності на 8-12%, зниження енергетичних витрат на 5-7% та створення конкурентоспроможного обладнання для підприємств невеликої продуктивності з дотриманням санітарно-гігієнічних норм харчових виробництв та вимог промислової безпеки.

В процесі виконання роботи були поставлені наступні завдання:

провести аналіз способів підведення теплоти та конструкцій теплообмінників в молочній промисловості;

запропонувати заходи з модернізації ПОУ для молока при виробництві в'язких продуктів;

підібрати методи і засоби дослідження;

провести розрахунки модернізованого пластинчастого теплообмінника;

реалізувати числові симуляції руху продукту в каналі пластинчастого теплообмінника.

визначити заходи з охорони праці та безпечної експлуатації устаткування;

підготувати комплекс заходів для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

Об'єкт дослідження. Робочі процеси у пластинчастому теплообміннику потокової лінії пастеризації молока для підприємств невеликої продуктивності.

Предмет дослідження. Закономірності гідродинаміки в міжпластинних каналах теплообмінника пастеризаційної установки з різною геометрією профілювання поверхонь.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених задач використано комплекс сучасних методів дослідження: CFD-моделювання для визначення параметрів руху робочого середовища в міжпластинному каналі з використанням методів скінченних об'ємів та турбулентних моделей; чисельний аналіз розподілу швидкісних полів, компонент вихровості потоку та параметрів тиску; порівняльний аналіз ефективності трьох конструктивних варіантів каналів за критеріями інтенсифікації теплообміну та гідравлічних втрат.

Наукова новизна. Вперше встановлено кількісні закономірності впливу геометрії профілювання міжпластинного каналу на формування тривимірної структури потоку теплоносія з визначенням оптимальних параметрів вторинних і тангенціальних течій для інтенсифікації теплообміну. Встановлено діапазон вихровості потоку, що забезпечує оптимальний баланс між інтенсивністю турбулізації та енергоефективністю основних процесів у пластинчастому апараті пастеризаційної установки молокопереробного підприємства.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження мають безпосереднє практичне застосування при проектуванні нових та модернізації існуючих пастеризаційних установок молокопереробних підприємств невеликої продуктивності. Впровадження оптимізованої конструкції міжпластинного каналу дозволяє підвищити теплотехнічну ефективність установки при одночасному зниженні енергетичних витрат.

Результати виконаного дослідження було апробовано на XIV Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій”, яка проходила 11-12 грудня 2025 року [1].

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки (п'ять розділів), додатків та графічної частини обсягом 8 аркушів.аркушів А1.

1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.

1.1. Аналіз способів підведення теплоти та конструкцій теплообмінників в молочній промисловості

Молочна промисловість є однією з найбільш енергоємних галузей харчової індустрії, де теплообмінні процеси відіграють критичну роль у забезпеченні якості продукції та ефективності виробництва. Підведення теплоти необхідне на всіх етапах переробки молока: від прийому сировини до отримання готової продукції. Правильний вибір способу підведення теплоти та конструкції теплообмінника безпосередньо впливає на якість молочних продуктів, енергоефективність виробництва та економічні показники підприємства.

1.1.1. Основні способи підведення теплоти в молочній промисловості

Паровий нагрів залишається найпоширенішим методом у молочній промисловості завдяки своїм унікальним властивостям.

Насичена водяна пара має високу теплоту конденсації (близько 2260 кДж/кг при атмосферному тиску), що забезпечує інтенсивний теплообмін при відносно невеликих габаритах обладнання. Типовий тиск пари на молокопереробних підприємствах становить 0,4-0,8 МПа, що відповідає температурі 143-170°C. Така температура оптимальна для більшості технологічних процесів.

Перевагами парового нагріву є рівномірність розподілу температури по поверхні нагріву, можливість точного регулювання температурного режиму шляхом зміни тиску пари, відносна безпека при дотриманні правил експлуатації, та автоматичне підтримання постійної температури при конденсації. До недоліків належать необхідність наявності парогенераторного обладнання, втрати тепла при транспортуванні пари, потреба у водопідготовці для котельні, та значні капітальні витрати на створення парового господарства. Електричний нагрів

знаходить застосування переважно в малотоннажному виробництві та для спеціальних технологічних операцій.

Омічний (резистивний) нагрів застосовується в ваннах для пастеризації, підігрівачах води, сироварнях малої потужності. Його коефіцієнт корисної дії може досягати 98%, забезпечується швидке регулювання потужності та відсутність продуктів згоряння. Індукційний нагрів використовується для локального підігріву металевих деталей обладнання, розплавлення жирів у виробництві масла. ТЕНи (трубчасті електронагрівачі) встановлюються у ваннах для пастеризації, підігрівачах невеликої потужності, дозрівальних камерах для сиру. Електричний нагрів характеризується високою точністю підтримання температури, відсутністю забруднень та продуктів згоряння, можливістю розподіленого розміщення нагрівальних елементів, простотою автоматизації. Проте високі експлуатаційні витрати через вартість електроенергії, обмеження по потужності підключення, необхідність надійної електроізоляції та потреба у кваліфікованому обслуговуванні обмежують його широке застосування.

Нагрів гарячою водою застосовується у процесах, що потребують температур до 90-95°C. Циркуляційна гаряча вода використовується для миття обладнання, попереднього підігріву молока, нагрівання технологічних ванн. Температура води зазвичай становить 70-90°C, що достатньо для багатьох допоміжних операцій. Система працює за принципом замкненого контуру з електричними або паровими водонагрівачами.

Переваги включають безпечність експлуатації, м'який температурний режим для термолабільних продуктів, можливість використання низькопотенціального тепла, відсутність ризику перегріву продукту. Недоліки полягають у нижчій інтенсивності теплообміну порівняно з паром, необхідності більших поверхонь нагріву, витратах енергії на циркуляцію води, та потребі у регулярному обслуговуванні системи.

Непряме підведення теплоти через теплообмінні поверхні. Цей спосіб є основним у сучасній молочній промисловості, оскільки забезпечує гігієнічність процесу та можливість точного контролю температурних режимів.

Поверхневий теплообмін передбачає розділення теплоносія і продукту твердою стінкою, що виготовляється зі спеціальних нержавіючих сталей (найчастіше AISI 304 або AISI 316L). Товщина стінки зазвичай становить 0,5-2,0 мм залежно від типу обладнання та умов експлуатації. Така конструкція повністю виключає контакт теплоносія з продуктом, забезпечує можливість санітарної обробки обладнання, дозволяє використовувати різні теплоносії, та полегшує контроль якості процесу.

Регенеративний теплообмін є важливим напрямком енергозбереження у молочній промисловості. Принцип полягає у використанні теплоти вже нагрітого продукту для попереднього підігріву вихідної сировини. У сучасних пластинчастих пастеризаційно-охолоджувальних установках секція регенерації може забезпечити рекуперацію до 90-95% теплової енергії. Це дозволяє зменшити витрату пари на 60-70%, скоротити витрату холодоносія на 50-60%, прискорити вихід на робочий режим, та знизити експлуатаційні витрати на 40-50%.

Комбіновані способи підведення теплоти. Сучасні молокопереробні підприємства часто використовують комбіновані системи теплопостачання для підвищення ефективності та надійності.

Парово-електричні системи поєднують паровий нагрів як основний з електричним додатковим підігрівом для точного регулювання температури. Системи з утилізацією теплоти використовують теплові насоси для підвищення потенціалу низькотемпературного тепла, рекуператори для повернення теплоти відпрацьованих потоків, конденсатори холодильних установок як джерела тепла. Сонячні колектори у поєднанні з традиційними системами знаходять застосування для попереднього підігріву води та повітря у теплий період року.

1.1.2. Класифікація теплообмінників молочної промисловості

Теплообмінне обладнання є найбільшою групою обладнання у молочній промисловості [2-5]. Рекуперативні теплообмінники є найпоширенішими у молочній промисловості. У них теплообмін відбувається через роздільну стінку

між гарячим і холодним теплоносіями, які рухаються одночасно у різних каналах. До цього типу належать пластинчасті, трубчасті та кожухотрубні теплообмінники.

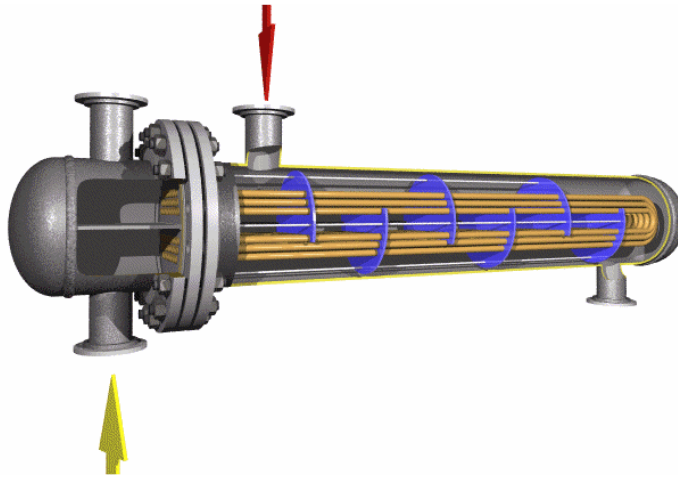


Рис. 1.1. Рекуперативний теплообмінник

Регенеративні теплообмінники працюють за принципом почергового контакту насадки з гарячим і холодним теплоносіями. У молочній промисловості вони майже не застосовуються через складність санітарної обробки та ризик перехресного забруднення.

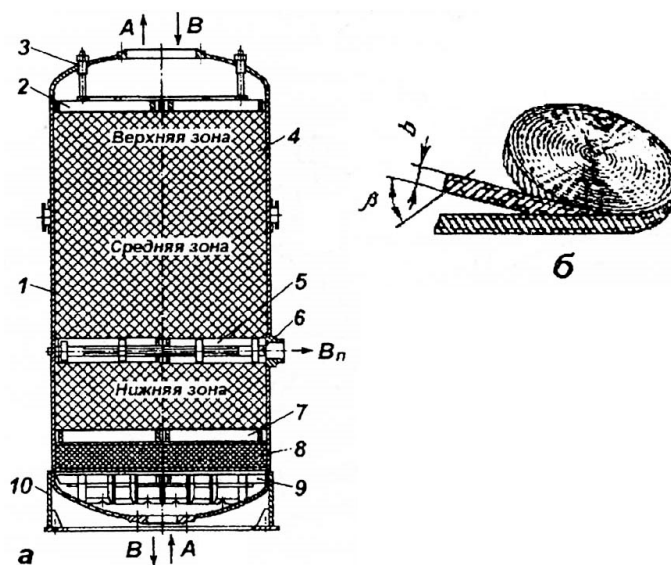


Рисунок 1.2.– Теплообмінний апарат регенеративного типу з алюмінієвою насадкою дискової форми:

1 – корпусна оболонка; 2, 5, 7, 9 – решітчасті конструкції; 3 – натискний гвинтовий елемент; 4 – дискова насадка; 6 – збірний колектор; 8 – дроблена базальтова порода; 10 – підтримуюча опора.

Змішувального типу передбачають безпосередній контакт теплоносіїв і використовуються лише у випадках, коли це технологічно допустимо, наприклад, при нагріванні води паром для миття обладнання.

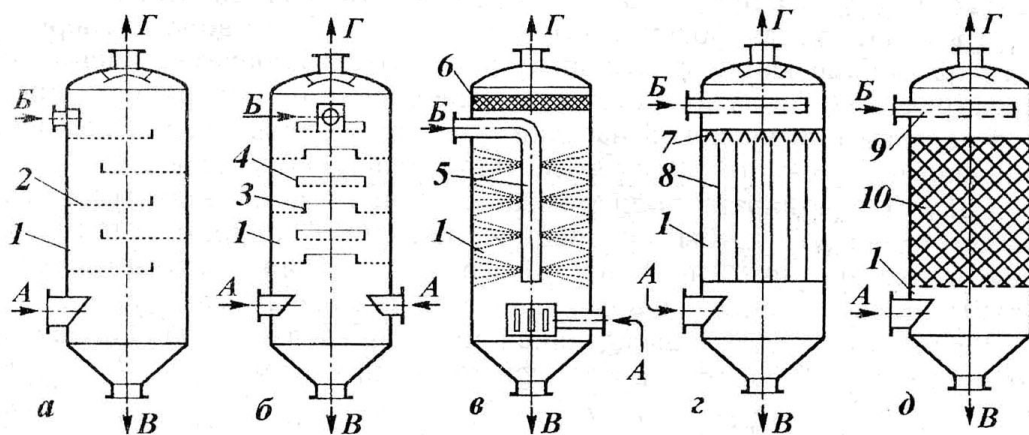


Рисунок 1.3 - Контактні конденсатори протічійного типу а – із сегментованими полицями; б – із кільцеподібними полицями; в – форсунковий (розпилювальний); г – плівкового типу; д – з насадковим елементом
Робочі потоки: А – водяна пара; Б – охолоджувальна вода; В – водно-конденсатна суміш; Г – парогазове середовище.

1 – корпусна частина; 2 – сегментована полиця; 3 – кільцеподібна полиця; 4 – тарілчаста полиця; 5 – форсункова труба; 6 – краплевловлювач; 7 – розподільний жолоб; 8 – листова насадка; 9 – розподільна труба; 10 – керамічна насадка.

Пластинчасті теплообмінники стали стандартом у молочній промисловості завдяки своїм унікальним характеристикам.

Конструкція складається з пакету гофрованих пластин з нержавіючої сталі товщиною 0,5-1,0 мм, що стискаються між нерухомою та рухомою плитами за допомогою шпильок. Між пластинами встановлюються еластомерні прокладки (найчастіше з NBR, EPDM або FKM), які формують канали для руху продукту та теплоносія. Гофри на пластинах створюють турбулентний потік, що інтенсифікує теплообмін.

Технічні характеристики включають коефіцієнт теплопередачі 3000-7000 Вт/(м²·К), що у 3-5 разів вище ніж у трубчастих апаратах, робочий тиск до 2,5 МПа для стандартних моделей, температурний діапазон від -35 до +180°C залежно від матеріалу прокладок, та швидкість потоку 0,2-1,5 м/с.



Рисунок 1.4 – Пластинчатий теплообмінник

Переваги включають високу компактність (площа поверхні теплообміну на одиницю об'єму у 3-5 разів більша ніж у трубчастих), можливість нарощування потужності додаванням пластин без зміни габаритів обладнання, легкість розбирання для механічного очищення та огляду, низький об'єм продукту в апараті що важливо для дорогих продуктів, малу металоємність конструкції, можливість організації складних схем теплообміну у одному корпусі. До недоліків належать обмеження по в'язкості продукту (зазвичай до 1-2 Па·с), необхідність регулярної заміни прокладок (кожні 2-5 років), обмеження по тиску порівняно з трубчастими апаратами, ризик утворення застійних зон при неправильному підборі, та неможливість використання для продуктів з великими включеннями.

Конкретні застосування охоплюють пастеризацію молока (72-85°C), вершків, сироватки, нормалізованих сумішей для виробництва сиру, йогурту, кисломолочних продуктів, а також охолодження продукції після теплової обробки та регенерацію теплоти в ПНОУ.

Трубчасті теплообмінники мають широкий спектр конструктивних рішень.

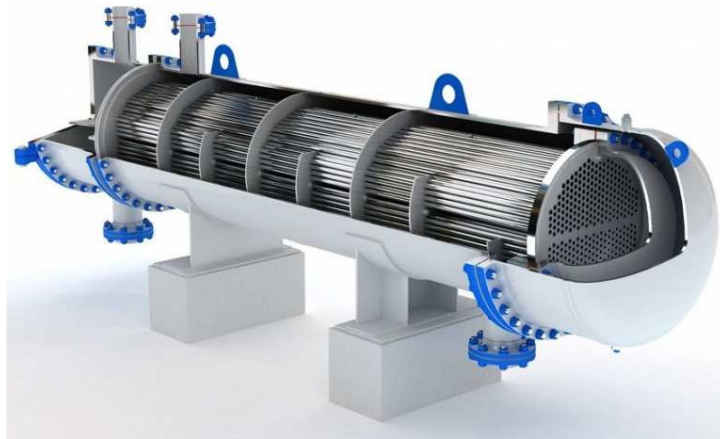


Рисунок 1.5. – Трубчастий теплообмінник

Кожухотрубні апарати складаються з пучка труб діаметром 25-50 мм, розміщених у циліндричному кожусі діаметром 200-800 мм. Продукт може рухатися як по трубах, так і в міжтрубному просторі. Довжина апаратів становить 2-6 м. Застосовуються для нагрівання високов'язких продуктів (згущене молоко, молочні пасти), охолодження розсолом після пастеризації, та випарювання молока під вакуумом.

Труба-в-трубі апарати мають просту конструкцію з двох концентричних труб: внутрішня діаметром 25-76 мм і зовнішня діаметром 50-150 мм. Довжина секцій 2-4 м, що з'єднуються послідовно. Використовуються для малотоннажного виробництва, обробки спеціальних продуктів, та як додаткові нагрівачі/охолоджувачі.

Багатотрубні секційні апарати об'єднують кілька труб у одній секції для збільшення продуктивності. Типова конфігурація: 3-7 труб діаметром 32-76 мм у загальному кожусі. Застосовуються у виробництві морозива, сирних продуктів, та молочних концентратів.

Переваги трубчастих конструкцій включають можливість роботи з високов'язкими продуктами (до 50 Па·с), високий робочий тиск (до 6 МПа), можливість обробки продуктів з твердими включеннями, відсутність прокладок у

зоні контакту з продуктом, тривалий термін служби (15-20 років), та стійкість до гідроударів. Недоліки полягають у великих габаритах та металоємності, складності механічного очищення (особливо міжтрубного простору), нижчій інтенсивності теплообміну порівняно з пластинчастими (коефіцієнт теплопередачі 500-1500 Вт/(м²·К)), та неможливості швидкої зміни потужності.

Скребкові поверхневі теплообмінники призначені для високов'язких та кристалізуючихся продуктів.

Конструкція включає циліндричний корпус з рубашкою для теплоносія, обертовий вал з лопатями-скребками з тефлонового або поліамідного матеріалу, привід потужністю 2-15 кВт, та систему подачі продукту. Діаметр корпусу становить 100-400 мм, довжина 1-3 м, швидкість обертання валу 50-300 об/хв.

Принцип дії полягає у безперервному зчищенні продукту зі стінки, що запобігає утворенню пригару, забезпечує рівномірне нагрівання в'язких продуктів, інтенсифікує теплообмін за рахунок перемішування, та дозволяє працювати з продуктами вологістю 30-80%.

Застосування охоплює виробництво плавлених сирів (нагрівання та плавлення сирної маси при 80-95°C), виробництво згущеного молока з цукром (кристалізація лактози при охолодженні), виробництво масла (термомеханічна обробка високожирних вершків), виробництво молочних паст та десертів, та концентрування білкових продуктів.

Переваги включають можливість роботи з дуже в'язкими продуктами (до 500 Па·с), запобігання пригоранню термочутливих продуктів, ефективне перемішування, можливість проведення хімічних реакцій під час нагрівання, та рівномірну обробку продукту. Недоліки полягають у високій вартості обладнання, значних енергозатратах на обертання валу, зношуванні скребків і необхідності їх заміни, складності санітарної обробки, та обмеженій продуктивності (зазвичай до 5-7 т/год).

Спіральні теплообмінники представляють інноваційне рішення для молочної промисловості.

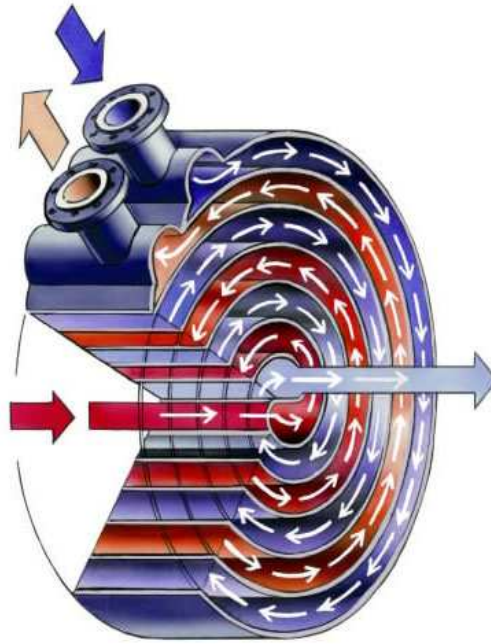


Рисунок 1.6. - Спіральний теплообмінник

Конструкція складається з двох спіральних каналів, що утворені намотуванням двох металевих стрічок навколо центрального стержня з фіксованим зазором 5-25 мм. Канали герметизуються з боків прокладками або зварюванням. Діаметр спіралі становить 0,3-1,5 м, кількість витків 20-100.

Особливості руху потоків включають тангенціальний вхід і вихід, що створює центрові сили які зменшують осідання забруднень, спіральний рух з поступовою зміною швидкості, одноканальну конструкцію що виключає байпасні потоки, та самоочисний ефект при правильно підібраній швидкості.

Застосування охоплює обробку молока з високим вмістом соматичних клітин, пастеризацію сироватки з білковими частинками, нагрівання продуктів що схильні до пригорання, обробку молока після сепарації, та процеси концентрування. Компактність конструкції, хороші самоочисні властивості, можливість роботи з забрудненими продуктами, та менша схильність до засмічення є основними перевагами. Високу вартість обладнання, обмежений вибір розмірів, та складність ремонту слід врахувати як недоліки.

Пластинчато-ребристі теплообмінники застосовуються переважно для газоподібних середовищ.



Рисунок 1.7. - Пластинчато-ребристий теплообмінник

Конструкція включає пакет пластин з гофрованими вставками-ребрами між ними для збільшення поверхні теплообміну. Матеріал - алюміній або нержавіюча сталь. Використовуються у системах вентиляції та кондиціонування сушильних цехів, рекуперації теплоти з відпрацьованого повітря, охолодженні компресорів холодильних установок, та попередньому охолодженні молока повітрям.

1.1.3. Спеціалізовані теплообмінники для конкретних процесів

Пастеризаційно-охолоджувальні установки (ПНОУ) є базою будь-якого молокопереробного підприємства і забезпечують термічну обробку молока згідно санітарних норм [3].

Типова конструкція ПНОУ включає секцію регенерації (2-4 ступені), де відбувається попередній підігрів вихідного молока за рахунок пастеризованого з рекуперацією 85-95% теплоти, секцію пастеризації з паровим нагрівом до температури 72-95°C з витримкою 15-30 секунд, секцію охолодження холодною водою до 8-10°C, та секцію доохолодження льодяною водою або холодоносієм до 2-6°C.

Технологічні параметри включають продуктивність від 1 до 50 т/год для типових установок, температуру пастеризації 72-78°C для питного молока (LTLT - Low Temperature Long Time) або 85-95°C для вершків та продуктів тривалого

зберігання, час витримки від 15 секунд до 5 хвилин залежно від режиму, та ефективність регенерації теплоти 85-95%.



Рисунок 1.8. - Пастеризаційно-охолоджувальна установка ПОУ-КМЗ

Системи автоматизації забезпечують автоматичне підтримання температури пастеризації з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, захист від недопастеризації (перенаправлення на повторну обробку), запис параметрів процесу (температура, витрата, час), сигналізацію відхилень від заданих параметрів, та автоматичну СІР-мийку.

УВТ-установки (ультрависокотемпературна обробка). УВТ-обробка ($135-150^{\circ}\text{C}$ протягом 2-4 секунд) забезпечує стерильність продукту та термін зберігання до 6 місяців без холодильника.



Рисунок 1.9.- Установа для УВТ обробки

Прямий метод УВТ включає впорскування пари безпосередньо у продукт з миттєвим нагріванням до 140-150°C, витримку у спеціальній камері 2-4 секунди, та швидке охолодження у вакуумній камері з видаленням введеної вологи. Переваги включають дуже швидкий нагрів що мінімізує термічне пошкодження, відсутність поверхонь нагріву що запобігає пригоранню, та кращі органолептичні властивості продукту. Недоліки полягають у вимогах до якості пари (кулінарна пара), розбавленні продукту що потребує компенсації, та складності обладнання.

Непрямий метод УВТ використовує пластинчасті або трубчасті теплообмінники з нагріванням через стінку до 135-142°C, витримку у трубчастому витримувачі 2-6 секунд, та швидке охолодження у пластинчастих теплообмінниках. Переваги включають відсутність розбавлення продукту, менші вимоги до пари, та простішу конструкцію. До недоліків належать можливе пригорання білка на поверхнях нагріву, дещо більший термічний вплив, та необхідність частішого очищення.

Багатокорпусні вакуум-випарні установки дозволяють концентрувати молоко з сухих речовин з 12% до 45-50% при мінімальних енергозатратах.

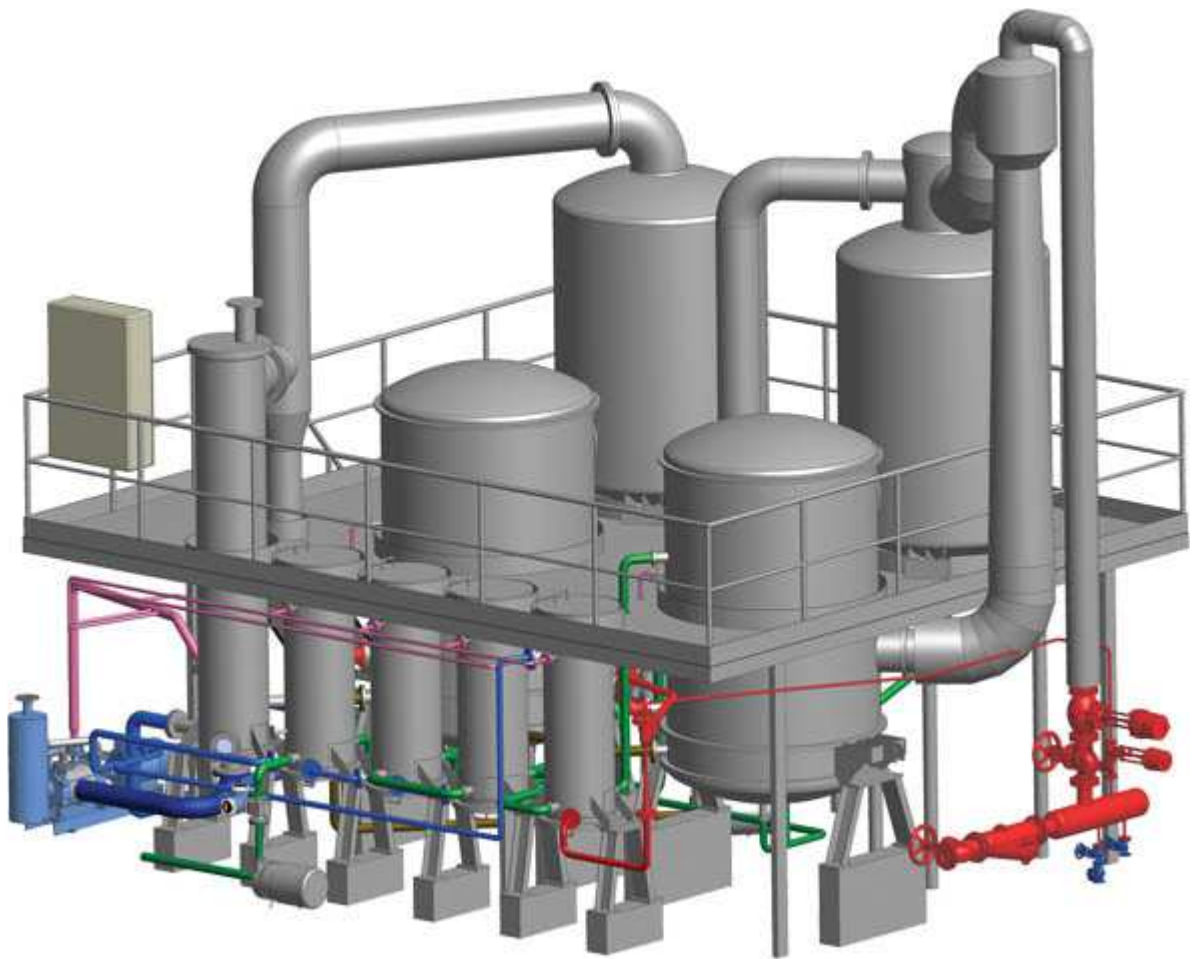


Рисунок 1.10. – Вакуум-випарна установка ВІГАНД 8000

Принцип роботи базується на випаровуванні вологи під вакуумом (температура кипіння 60-70°C), використанні вторинної пари попереднього корпусу для нагрівання наступного, та каскадному з'єднанні 2-4 корпусів. Типові конструкції включають плівкові випарники з висхідною плівкою продукту товщиною 0,5-2 мм, трубчасті з природною або примусовою циркуляцією, та пластинчасті для м'яких режимів випаровування.

Енергоефективність досягається за рахунок багатократного використання теплоти випаровування, рекуперації конденсату, термокомпресії вторинної пари для підвищення її потенціалу, та використання механічної компресії пари (MVR-технологія) в сучасних установках.

1.1.4. Огляд методів інтенсифікації теплообміну за оптимізація витрат енергії

Профільовання поверхонь створює турбулентність та збільшує площу.

Гофрування пластин з висотою гофр 2-6 мм збільшує поверхню на 30-60%, створює турбулентні вихори, покращує розподіл потоку, та підвищує коефіцієнт теплопередачі у 2-4 рази. Ребрування труб зовнішніми спіральними ребрами висотою 1-3 мм збільшує зовнішню поверхню у 2-5 разів, поперечними ребрами-турбулізаторами, та внутрішніми спіральними канавками.

Оптимізація течії включає турбулентні вставки у трубах (спіральні стрічки, профільовані вставки), оптимальний кут гофр пластин ($30-60^\circ$ до напрямку потоку), та раціональне розміщення штуцерів для рівномірного розподілу.

Збільшення швидкості потоку підвищує число Рейнольдса та інтенсивність теплообміну, але оптимальна швидкість для пластинчастих апаратів становить 0,4-0,8 м/с (компроміс між теплообміном та втратами тиску), а для трубчастих - 1,0-2,0 м/с.

Пульсації потоку за рахунок змінної швидкості подачі збільшують теплообмін на 20-40%, руйнують пограничний шар, але потребують спеціальних насосів.

Обробка поверхонь включає гідрофобізацію для зменшення адгезії забруднень, нанесення антипригарних покриттів на основі тефлону або кераміки, та електрополірування для зниження шорсткості до $Ra=0,2-0,4$ мкм.

Максимізація регенерації через збільшення площі секції регенерації, оптимізацію швидкостей потоків, та використання проміжних теплоносіїв може забезпечити економію пари на 50-70%.

Утилізація скидної теплоти за допомогою теплових насосів для підігріву води, рекуперації теплоти конденсату, використання теплоти компресорів холодильних установок, та каскадного використання теплоносіїв дозволяє досягти додаткової економії енергії 15-25%.

Теплоізоляція обладнання мінеральною ватою товщиною 50-100 мм, трубопроводів ППУ-ізоляцією, та мінімізація довжини необізольованих ділянок зменшує теплові втрати на 10-15%.

Теплообмінне обладнання молочної промисловості є критично важливим для забезпечення якості та безпеки продукції. Вибір оптимального способу підведення теплоти та конструкції теплообмінника має базуватися на комплексному аналізі технологічних вимог, властивостей продукту, економічних показників та екологічних аспектів.

Пластинчасті теплообмінники залишаються оптимальним вибором для більшості процесів пастеризації та охолодження завдяки високій ефективності, компактності та технологічності. Для високов'язких продуктів та спеціальних застосувань незамінними є скребкові та трубчасті конструкції.

Сучасні тенденції спрямовані на підвищення енергоефективності через регенерацію теплоти та утилізацію вторинних енергоресурсів, впровадження цифрових технологій управління та діагностики, використання інноваційних методів інтенсифікації теплообміну, та екологізацію виробництва через відмову від озоноруйнівних речовин та використання відновлюваних джерел енергії.

Правильний вибір, експлуатація та обслуговування теплообмінного обладнання дозволяє забезпечити високу якість молочної продукції, мінімізувати енергетичні витрати, досягти економічної ефективності виробництва, та відповідати сучасним екологічним стандартам. Інвестиції в сучасне енергоефективне теплообмінне обладнання окуповуються протягом 2-5 років за рахунок економії енергоносіїв та підвищення продуктивності.

1.2. Техніко – економічне обґрунтування модернізації

Модернізація потокової лінії пастеризації молока шляхом удосконалення геометрії пластин теплообмінника дозволяє суттєво розширити технологічні можливості підприємств невеликої продуктивності без значних капіталовкладень. Оптимізована конфігурація каналів та профілю пластин забезпечує ефективну

обробку високов'язких молочних продуктів – вершків жирністю до 35%, йогуртових мас, десертів, згущеного молока – при збереженні високої якості теплообміну та прийнятному рівні гідравлічного опору.

Технічні переваги. Запропоновані конструктивні рішення дозволяють обробляти продукти з в'язкістю до 50 мПа·с без ризику пригоряння та утворення відкладень. Удосконалена геометрія пластин включає оптимізацію кута гофрування, зміну конфігурації профілю гофр та застосування раціональної форми каналів з плавними переходами між зонами різної інтенсивності турбулізації. Модифікована геометрична форма покращує гідродинаміку потоку, забезпечуючи рівномірний розподіл швидкостей по перерізу каналу та запобігаючи утворенню застійних зон, де можливе перегрівання продукту.

Оптимізована конфігурація каналів знижує гідравлічний опір для високов'язких продуктів на 12-18% порівняно зі стандартними пластинами при збереженні або навіть покращенні інтенсивності теплообміну. Раціональна форма гофр створює контрольовану турбулентність, яка інтенсифікує тепловіддачу без надмірного зростання перепаду тиску. Коефіцієнт тепловіддачі для в'язких продуктів зростає на 18-25%, що забезпечує дотримання режимів пастеризації згідно з санітарними нормами при менших енергозатратах на перекачування.

Плавні обриси каналів мінімізують зони з підвищеними дотичними напруженнями, знижуючи ризик механічного пошкодження структури чутливих продуктів та зменшуючи інтенсивність утворення білкових відкладень на поверхні пластин. Модернізація не потребує заміни корпусу теплообмінника, рамної конструкції та основного обладнання лінії – балансувальних ємностей, насосів, систем автоматики – що мінімізує простої виробництва (до 3-5 днів) та обсяг монтажних робіт. Універсальність рішення дозволяє використовувати одну лінію для обробки продуктів різної в'язкості шляхом простого переналагодження режимів без заміни обладнання.

Підприємство отримує можливість диверсифікувати асортимент, освоюючи виробництво високомаржинальних продуктів з доданою вартістю. За оцінками, впровадження вершків та десертів дозволяє підвищити середню рентабельність

реалізації на 8-12%. Капітальні витрати на модернізацію становлять 15-20% вартості нового спеціалізованого обладнання. Розширення номенклатури підвищує завантаженість виробничих потужностей на 25-30%, знижуючи питомі постійні витрати.

Диверсифікація асортименту підвищує конкурентоспроможність підприємства та стійкість до ринкових коливань. Можливість гнучкого переналагодження лінії дозволяє оперативно реагувати на зміни попиту.

1.3. Мета та задачі кваліфікаційної роботи

Мета і завдання роботи. Метою магістерської роботи є розширення технологічних можливостей потокової лінії пастеризації для забезпечення виробництва йогурту.

Мета і завдання роботи.

Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні завдання:

провести аналіз способів підведення теплоти та конструкцій теплообмінників в молочній промисловості;

запропонувати заходи з модернізації ПОУ для молока при виробництві в'язких продуктів;

підібрати методи і засоби дослідження;

провести розрахунки модернізованого пластинчастого теплообмінника;

реалізувати числові симуляції руху продукту в каналі пластинчастого теплообмінника.

визначити заходи з охорони праці та безпечної експлуатації устаткування;

підготувати комплекс заходів для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

2. Вибір методів та методик дослідження

2.1. Загальна характеристика SolidWorks Flow Simulation

SolidWorks Flow Simulation є високорозвиненим програмним комплексом для тривимірного чисельного моделювання течії рідин і газів, інтегрованим безпосередньо у середовище CAD SolidWorks. Завдяки цьому інтегрованому підходу інженер отримує можливість безпосередньо працювати з тривимірними CAD-моделями обладнання, змінювати їх геометрію і оперативно оцінювати вплив цих змін на гідродинамічні і теплові характеристики системи [6]. Flow Simulation дозволяє моделювати як ламінарний, так і турбулентний потік, враховуючи вторинні течії та ефекти, що виникають у складних каналах, наприклад, між гофрованими пластинами теплообмінника.

Основною перевагою цього програмного забезпечення є його здатність поєднувати CAD-конструювання та інженерний аналіз в одному середовищі, що значно скорочує час підготовки моделі і підвищує точність результатів. Користувач має змогу створювати візуальні карти швидкостей, тиску, вихровості, температури та інших характеристик, будувати графіки зміни параметрів по ходу потоку, а також порівнювати кілька варіантів конструкцій між собою без необхідності повторного експорту або імпорту моделей у сторонні пакети. Це особливо важливо при дослідженні теплообмінних і гідравлічних систем, де ефективність роботи залежить від багатьох взаємопов'язаних факторів.

2.2. Можливості SolidWorks Flow Simulation для дослідження гідравлічних систем

Для гідравлічних систем Flow Simulation забезпечує комплексний аналіз руху робочого середовища, включаючи:

- розподіл швидкостей та напрямку потоку в каналах будь-якої конфігурації;

- аналіз складових швидкості: осьової, нормальної, радіальної та тангенціальної, що дозволяє детально оцінити рух середовища та вторинні течії;
- визначення зон застою та рециркуляцій, які впливають на ефективність прокачування та стабільність роботи системи;
- оцінку перепадів тиску та гідравлічного опору, що дає змогу оптимізувати конструкцію з точки зору енергетичних витрат на роботу насосного обладнання;
- моделювання впливу геометричних змін на гідравлічні характеристики без необхідності складних додаткових розрахунків.

Завдяки цим можливостям можна не лише прогнозувати поведінку середовища, але й проводити порівняльний аналіз різних конструкцій для вибору найбільш ефективного варіанту.

2.3. Можливості SolidWorks Flow Simulation для дослідження теплообмінних систем

У випадку теплообмінних апаратів, таких як пластинчасті теплообмінники, Flow Simulation дозволяє проводити всебічний аналіз теплопереносу. Програма забезпечує:

- моделювання конвективного, теплопровідного та комбінованого тепломасообміну;
- оцінку ефективності теплообміну при різних режимах руху робочого середовища;
- побудову карт розподілу температури, що дозволяє виявляти локальні перегріву або недостатнє охолодження;
- аналіз формування прикордонних шарів, вторинних течій і вихрових зон, що визначають локальну інтенсивність теплопереносу;

- оцінку впливу конструктивних параметрів пластин, таких як форма гофрування, кут нахилу та відстань між пластинами, на рівномірність розподілу температури та ефективність теплопереносу.

Ці можливості дозволяють інженеру не лише оцінити теплотехнічну ефективність різних конструкцій, але й прогнозувати їх поведінку в реальних умовах експлуатації, визначати оптимальні геометричні рішення та зменшувати гідравлічні втрати.

Використання Flow Simulation у порівняльному дослідженні [8-10] конструкцій пластин пластинчастого теплообмінника дозволяє комплексно оцінити всі ключові аспекти роботи системи: швидкісні характеристики, турбулентність, гідравлічні втрати та ефективність теплообміну. Програма забезпечує можливість отримати наочні карти розподілу всіх важливих параметрів, таких як модуль швидкості, осьова, нормальна, радіальна та тангенціальна складові швидкості, вихровість та відносний тиск. Це дозволяє визначати оптимальні конструктивні рішення з точки зору балансу між теплотехнічною ефективністю та економічною доцільністю експлуатації.

SolidWorks Flow Simulation [11-16] дозволяє проводити багатоетапний аналіз різних варіантів конструкцій без необхідності складних математичних розрахунків, роблячи процес дослідження більш наочним і ефективним. Візуалізація результатів у вигляді карт і графіків значно полегшує інтерпретацію даних і дозволяє зробити обґрунтований вибір оптимальної конструкції.

Таким чином, SolidWorks Flow Simulation є потужним інструментом для комплексного інженерного аналізу гідравлічних і теплообмінних систем. Він дозволяє не лише прогнозувати поведінку робочого середовища, а й порівнювати різні конструктивні варіанти, оптимізувати геометрію пластин, підвищувати ефективність теплопереносу і зменшувати гідравлічні втрати, що є ключовими завданнями при проектуванні сучасних теплообмінних апаратів.

2.4. Вибір параметрів для дослідження

Для порівняльного дослідження конструкцій пластин пластинчастого теплообмінника доцільно застосовувати програмне забезпечення SolidWorks Flow Simulation, оскільки воно забезпечує широкий спектр можливостей для комплексного аналізу гідродинаміки і тепломасообміну в складних геометричних системах. Flow Simulation інтегрований у середовище CAD SolidWorks, що дозволяє безпосередньо працювати з тривимірними моделями пластин та теплообмінників, швидко змінювати геометрію та аналізувати вплив конструктивних рішень на розподіл швидкостей, тиску, турбулентності та вихрових рухів. Програма підтримує моделювання ламінарного та турбулентного потоку, включно з вторинними течіями, що виникають у гофрованих або складних каналах. Крім того, вона надає потужні інструменти візуалізації результатів у вигляді карт швидкостей, тиску, вихровості, а також дозволяє будувати графіки і проводити порівняльний аналіз різних варіантів конструкцій. Це робить SolidWorks Flow Simulation оптимальним інструментом для проведення інженерного дослідження ефективності теплообміну та гідравлічних характеристик пластин.

Для комплексного аналізу руху робочого середовища було обрано наступні параметри:

1. Velocity (Модуль швидкості). Модуль швидкості показує загальну швидкість руху робочого середовища в будь-якій точці каналу і є інтегральним показником інтенсивності перенесення імпульсу та тепла. Він дозволяє оцінити рівномірність течії та швидкісні відмінності між різними конструкціями пластин. Вибір цього параметра обґрунтований тим, що він забезпечує загальну картину руху середовища, виявляє зони прискорення та уповільнення потоку, а також є первинним показником для прогнозування ефективності конвективного теплопереносу.
2. Axial Velocity (Осьова швидкість). Осьова швидкість є складовою потоку в напрямку основного руху середовища від входу до виходу теплообмінника.

Вона дозволяє оцінити ефективність осьового переносу робочого середовища та наявність рециркуляційних зон або застійних областей. Цей параметр критично важливий для забезпечення рівномірного теплового навантаження по всій довжині каналу та оцінки гідравлічної стабільності конструкцій.

3. Normal Velocity (Нормальна швидкість). Нормальна швидкість визначає рух робочого середовища перпендикулярно до поверхні пластини. Вона є ключовою для оцінки інтенсивності обтікання теплообмінної поверхні, руйнування прикордонного шару та локальної турбулізації потоку. Вибір цього параметра обґрунтований тим, що нормальні складові потоку безпосередньо впливають на локальну тепловіддачу, що робить їх важливим критерієм порівняння ефективності різних конструкцій.
4. Radial Velocity (Радіальна швидкість). Радіальна складова швидкості характеризує відхилення потоку від основного осьового напрямку у внутрішніх зонах каналу або біля центрів входу і виходу. Вона показує інтенсивність вторинних течій та перемішування робочого середовища, що сприяє більш рівномірному розподілу температури. Радіальна швидкість була обрана для аналізу вторинних потоків і оцінки того, наскільки конструкція пластин забезпечує рівномірний розподіл теплового навантаження без утворення застійних зон.
5. Tangential Velocity (Тангенціальна швидкість). Тангенціальна швидкість визначає складову потоку вздовж поверхні пластини в обхідному напрямку. Вона є показником формування обертальних течій, вихорів і локальної турбулізації. Вибір цього параметра обґрунтований тим, що тангенціальні рухи допомагають руйнувати прикордонний шар і підвищують ефективність конвективного теплообміну, одночасно впливаючи на гідравлічні втрати.
6. Vorticity (Вихровість). Вихровість характеризує локальну обертальність потоку та інтенсивність турбулентних і вихрових рухів у каналі. Вона дозволяє оцінити рівень вторинної турбулізації, яка є важливою для

руйнування прикордонного шару та підвищення конвективної тепловіддачі. Параметр був обраний для порівняння конструкцій пластин за здатністю формувати вихрові рухи, що безпосередньо впливають на ефективність теплообміну.

7. Relative Pressure (Відносний тиск). Відносний тиск відображає розподіл тиску в каналі відносно базового рівня і дозволяє оцінити перепади тиску, гідравлічний опір та енергетичні витрати на прокачування робочого середовища. Цей параметр критично важливий для визначення економічної ефективності різних конструкцій пластин, оскільки надмірні гідравлічні втрати призводять до збільшення витрат на насосне обладнання.

Таким чином, обрані параметри забезпечують комплексну оцінку руху робочого середовища, турбулентності та гідравлічних характеристик, що дозволяє порівняти різні конструкції пластин за ефективністю теплопереносу та енергетичною доцільністю. Кожен параметр був вибраний виходячи з його здатності відображати ключові аспекти гідродинаміки і теплового обміну, що є критично важливими для інженерного аналізу та оптимізації конструкції пластинчастого теплообмінника.

3. Розроблення нових технічних вирішень для модернізованої ППОУ

3.1 Розрахунок ППОУ

Розрахуємо розглянуту в роботу пастеризаційно-охолоджувальну установку [3].

Вихідні дані:

Продуктивність пастеризаційної установки - 10000кг/год;

Початкова температура йогурту $t_1=6^\circ\text{C}$;

Температура процесу пастеризації йогурту $t_3= 86^\circ\text{C}$;

Температура йогурту, що йдуть на розлив $t_6=5^\circ\text{C}$;

Робочі середовища:

Теплоносій (гаряча вода) $t_r=95^\circ\text{C}$;

Кратність теплоносія - $n_r=3$;

Холодоагент - $t_b= 10^\circ\text{C}$;

Кратність холодоагенту $n_b=2$

Крижана вода 1°C .

Кратність крижаної води $n_{вл}=3$;

Коефіцієнт регенерації установки $e=0,85$;

Теплоємність йогурту $c_m = 3580 \text{ Дж/кг}$;

Теплоємність води $c_{гв} = 4186 \text{ Дж/кг}$

Пастеризаційна установка для пастеризації йогурту на базі пластини П

2.

Основні характеристики пластин:

площа поверхні теплообміну $F=0,42\text{м}^3$;

ширина пластини $b=0,37\text{м}$;

довжина потоку продукту $L_{ц}=0,8\text{м}$;

зазор між пластинами установки $h=0,0028\text{м}$;

площа перерізу каналу установки $f_1=0,0008\text{м}^2$;

середній еквівалентний діаметр потоку продукту $d_e=2h=0,0056\text{м}$;

товщина пластин $\delta=0,0015\text{м}$;

коефіцієнт теплопровідності матеріалу пластин $\lambda=16$ Вт/(мК).

Визначаємо середні різниці температур для різних секцій установки:

а)секція регенерації

Температуру не пастеризованих йогурту на виході із секції регенерації:

$$t_2 = t_1 + e(t_3 - t_1) = 6 + 0,85(86 - 6) = 74^\circ\text{C}.$$

Температура пастеризованих йогурту після секції регенерації:

$$t_4 = t_1 + (t_3 - t_2) = 6 + (86 - 74) = 18^\circ\text{C}.$$

Різниця температур у секції регенерації тепла:

$$\Delta t_p = (t_3 - t_2) = 86 - 74 = 12^\circ\text{C}.$$

б)секція пастеризації

Тепловий баланс теплоносія на виході із секції пастеризації:

$$t_{гк} = t_{гп} - c_m(t_3 - t_2)/(c_{г} \cdot \rho_{гп}) = 95 - 3580(86 - 74)/(4186 \cdot 3) = 93^\circ\text{C}$$

Середня різниця температур у секції пастеризації:

$$\Delta t_6 = t_{гк} - t_2 = 95 - 74 = 21^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_m = t_{гп} - t_3 = 93 - 86 = 7^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_6 / \Delta t_m = 21/7 = 3 > 2$$

Середня різниця температур:

$$\Delta t_p = (21 - 7) / 2,3 \lg 4,5 = 4,8^\circ\text{C}.$$

в)секція охолодження холодоагентом

Температура йогурту на виході із секції водяного охолодження $t_5=12^\circ\text{C}$.

Температуру холодоагенту, на виході із секції водяного охолодження:

$$\begin{aligned} t_{вк} &= t_{вп} + c_m(t_4 - t_5)/c_{впв}) = \\ &= 10 + 3875(18 - 12) / 4186 \cdot 2 = 13^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

$$\Delta t_6 = t_4 - t_{вп} = 18 - 14 = 4^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_m = t_5 - t_{вп} = 12 - 10 = 2^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_6 / \Delta t_m = 4 / 2 = 2 \leq 2$$

Середня різницю температур у секції крижаного охолодження:

$$\Delta t_B = \frac{4 + 2}{2} = 3^\circ\text{C}.$$

г)секція охолодження крижаною водою

Температуру крижаної води, на виході із секції:

$$t_{\text{вк}} = t_{\text{вп}} + \text{см} (t_5 - t_6) / \text{свпв}) = \\ = 1 + 3875 (12 - 5) / 4187 \cdot 3 = 3^\circ \text{C}.$$

$$\Delta t_6 = t_4 - t_{\text{вк}} = 12 - 3 = 9^\circ \text{C}.$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_5 - t_{\text{вп}} = 5 - 1 = 4^\circ \text{C}.$$

$$\Delta t_6 / \Delta t_{\text{м}} = 9 / 4 = 2,5 > 2$$

Середня різниця температур у секції крижаного охолодження:

$$\Delta t_{\text{в}} = (9 - 4) / 2,3 \lg 3,5 = 3,9^\circ \text{C}.$$

Швидкість потоків середовищ у секціях

Об'ємна продуктивність пастеризаційної установки по вершках:

$$V = C / 3600 \rho = 10000 / 3600 \cdot 1025 = 0,0027 \text{ м}^3/\text{с},$$

де ρ - густина йогурту при $t_{\text{ср}} = 40^\circ \text{C}$ $\rho = 1021 \text{ кг}/\text{м}^3$

При швидкості йогурту $\omega_{\text{м}} = 0,46 \text{ м}/\text{с}$ число каналів у одному пакеті установки складає:

$$m = V / (f_1 \omega) = 0,0027 / (0,0008 \cdot 0,46) = 7,33$$

Тоді приймаємо $m=8$. За таких умов дійсна швидкість йогурту складає:

$$\omega = 0,46 \cdot 7,33 / 8 = 0,42 \text{ м}/\text{с}.$$

Швидкість холодоагента прийемо у 2 рази більше за швидкість руху йогурту.

Швидкість теплоносія та крижаної води прийемо у 3 рази більшою від швидкості йогурту.

$$\omega_{\text{гв}} = \omega_{\text{лв}} = 3 \cdot 0,42 = 1,26 \text{ м}/\text{с}.$$

Теплофізичні характеристики йогурту та інших середовищ :

а)секція регенерації

При середній температурі йогурту у секції регенерації:

$$t_{\text{ср}} = 0,5 (t_1 + t_2) = 0,5 (6 + 74) = 40^\circ \text{C}.$$

$$\lambda_{\text{м}} = 0,502 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K}); \quad \mu = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad \rho = 1023 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$c = 3904 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}); \quad \text{Pr} = 9,74.$$

Для середньої температури пастеризованої йогурту:

$$t_{cp} = 0,5 (t_3 + t_4) = 0,5 (86 + 18) = 52^{\circ}\text{C}$$

фізичні характеристики:

$$\lambda_m = 0,513 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \mu = 0,94 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \rho = 1017 \text{ кг/м}^3; \\ c = 3882 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \text{ і } Pr = 7,12.$$

б) секція пастеризації йогурту:

Середня температура теплоносія:

$$t_{cp} = 0,5 (t_{гп} + t_{гк}) = 0,5(95 + 91) = 93^{\circ}\text{C}.$$

теплофізичні параметри води:

$$\lambda = 0,673 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \mu = 0,37 \times 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \rho = 973 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \\ c = 4193 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \text{ і } Pr = 2,3.$$

Середня температура йогурту за температур у секції пастеризації:

$$t_{cp} = 0,5 (86 + 74) = 80^{\circ}\text{C}.$$

Теплофізичні параметри йогурту:

$$\lambda = 0,525 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \mu = 0,63 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \rho = 1005 \text{ кг/м}^3; \\ c = 3850 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \text{ і } Pr = 4,62.$$

в) секція охолодження крижаною водою

Середня температура води

$$t_{cp} = 0,5 (t_{вп} + t_{вк}) = 0,5 (10 + 14) = 12^{\circ}\text{C}.$$

Теплофізичні параметри:

$$\lambda = 0,572 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \mu = 1,35 \times 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \rho = 1000 \text{ кг/м}^3; \\ c = 4193 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \text{ і } Pr = 9,85.$$

$$t_{cp} = 0,5 (t_4 + t_5) = 0,5 (18 + 12) = 15^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda = 0,49 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \mu = 2,28 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \rho = 1031 \text{ кг/м}^3; \\ c = 3876 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \text{ і } Pr = 18.$$

г) секція охолодження йогурту крижаною водою

середня температура крижаної води з сторони нагрівання:

$$t_{cp} = 0,5 (t_{лп} + t_{лк}) = 0,5 (1 + 3) = 2^{\circ}\text{C}$$

Теплофізичних характеристики:

$$\lambda = 0,555 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \mu = 1,71 \times 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \rho = 1000 \text{ кг/м}^3;$$

$$c = 4208 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \text{ і } Pr = 12,96.$$

Середня температура йогурту в секції охолодження крижаною водою:

$$t_{cp} = 0,5 (t_5 + t_6) = 0,5 (12 + 6) = 9^\circ\text{C}$$

Теплофізичні характеристики :

$$\lambda = 0,487 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \mu = 2,82 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \rho = 1032 \text{ кг/м}^3;$$

$$c = 3869 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \text{ і } Pr = 26,1.$$

Критерій Рейнольдса для різних секцій установки визначимо із виразу

$$Re = \omega d_e \rho / \mu.$$

а) Секція регенерації

Для не пастеризованих йогурту:

$$Re = 0,46 \cdot 0,0056 \cdot 1023 / 1,25 \cdot 10^{-3} = 2016$$

Для пастеризованих йогурту

$$Re = 0,46 \cdot 0,0056 \cdot 1017 / 0,94 \cdot 10^{-3} = 2666$$

Секція пастеризації:

$$\text{Для йогурту } Re = 0,46 \cdot 0,0056 \cdot 1005 / 0,63 \cdot 10^{-3} = 3931$$

$$\text{Для теплоносія } Re = 1,38 \cdot 0,0056 \cdot 973 / 0,37 \cdot 10^{-3} = 20319$$

а) Секція охолодження:

$$\text{Для йогурту } Re = 0,46 \cdot 0,0056 \cdot 1031 / 2,28 \cdot 10^{-3} = 1114$$

$$\text{Для холодоагенту } Re = 0,92 \cdot 0,0056 \cdot 1000 / 1,35 \cdot 10^{-3} = 3650$$

Секція крижаного охолодження:

$$\text{Для йогурту } Re = 0,46 \cdot 0,0056 \cdot 1032 / 2,82 \cdot 10^{-3} = 902$$

$$\text{Для крижаної води } Re = 1,38 \cdot 0,0056 \cdot 1000 / 1,71 \cdot 10^{-3} = 4519$$

Далі розрахуємо коефіцієнти тепловіддачі і теплопередачі.

Коефіцієнти тепловіддачі з різних сторін пластини α_1 і α_2 , для пластин типу П-2 визначимо за формулою:

$$\alpha = 0,1 \lambda Re^{0,7} Pr^{0,43} / d_e.$$

а) Секція регенерації

Процес охолодженні пастеризованих йогурту:

$$\alpha_1 = 0,1 \cdot 0,513 \cdot 2666^{0,7} \cdot 7,12^{0,43} / 0,0056 = 5329 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Нагрівання сирих йогурту у секції регенерації:

$$\alpha_2 = 0,1 \cdot 0,502 \cdot 2017^{0,7} \cdot 9,74^{0,43} / 0,0056 = 4907 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

При визначенні коефіцієнту теплопередачі вразовували відкладення на поверхнях пластин шляхом множення на коефіцієнт використання $\varphi = 0,9$:

$$K_p = \frac{0,9}{\frac{1}{5329} + \frac{0,0012}{16} + \frac{1}{4907}} = 1956 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

б) Секція пастеризації йогурту

Для теплоносія:

$$\alpha = 0,1 \cdot 0,773 \cdot 20319^{0,7} \cdot 2,30,43 / 0,0056 = 20468 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$$

Для йогурту:

$$\alpha_2 = 0,1 \cdot 0,525 \cdot 3931^{0,7} \cdot 4,62^{0,43} / 0,0056 = 5938 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі якщо враховувати наявність відкладень на пластинах при $\varphi = 0,85$:

$$K_p = 0,85 / (1/20468 + 0,0012/16 + 1/5938) = 2634 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$$

в) секція охолодження йогурту

Для процесу охолодженого йогурту:

$$\alpha_1 = 0,1 \cdot 0,49 \cdot 1114^{0,7} \cdot 18^{0,43} / 0,0056 = 4118 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Для холодоносія:

$$\alpha_2 = 0,1 \cdot 0,572 \cdot 3650^{0,7} \cdot 9,85^{0,43} / 0,0056 = 8511 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_v = 0,85 / (1/4118 + 0,0012/16 + 1/8511) = 1947 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К});$$

г) Секція крижаного охолодження йогурту

Для охолоджених йогурту:

$$\alpha_1 = 0,1 \cdot 0,487 \cdot 902^{0,7} \cdot 26^{0,43} / 0,0056 = 4141 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Для крижаної води:

$$\alpha_2 = 0,1 \cdot 0,572 \cdot 4519^{0,7} \cdot 9,85^{0,43} / 0,0056 = 9884 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К});$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_l = 1 / (1/4141 + 0,0012/16 + 1/9884) = 2244 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К});$$

Визначимо площі робочих поверхонь теплообміну, число пластин та число пакетів у секціях

а) Секція регенерації

$$\begin{aligned} F_p &= Gc_m (t_2 - t_1)/(Kp\Delta tp) = \\ &= 2,78 \cdot 3904 (74 - 6)/(1957 \cdot 12) = 31,4 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

К-ть пластин у секції:

$$n_p = F_p/F_1 = 31,4 : 0,42 = 76$$

За кількості каналів у пакеті, що становить $m = 8$:

$$x_p = n_p/2m = 76/2 \cdot 8 = 4,68$$

прийmemo $x_p = 5$

б) Секція пастеризації

Площа робочої поверхні теплообміну даної секції:

$$\begin{aligned} F_{\Pi} &= Gc_m (t_3 - t_2)/(K_{\Pi}\Delta t_{\Pi}) = \\ &= 2,78 \cdot 3850 (86 - 74)/(2634 \cdot 5,2) = 9,3 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Кількість пластин:

$$n_{\Pi} = F_{\Pi}/F_1 = 9,4 : 0,42 = 22$$

Кількість пакетів у секції зі сторони йогурту:

$$x_{\Pi} = n_{\Pi}/2m = 22/2 \cdot 8 = 1,37$$

візьmemo $x_{\Pi} = 2$.

в) Секція охолодження:

Площа поверхні теплообміну:

$$\begin{aligned} F_B &= Gcm (t_4 - t_5)/(K_B\Delta t_B) = \\ &= 2,78 \cdot 3876 (18 - 12)/(1947 \cdot 3) = 11 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Кількість пластин:

$$n_B = F_B/F_1 = 11 : 0,42 = 26.$$

Кількість пакетів:

$$x_B = n_B/2m = 26/2 \cdot 8 = 1,6.$$

Візьmemo $x_B = 2$.

г) Секція крижаного охолодження йогурту

площа поверхня теплообміну:

$$F_L = G c_m (t_5 - t_6) / (K_L \Delta t_L) =$$

$$= 2,78 \cdot 3869 (12 - 5) / (2273 \cdot 3,9) = 8,49 \text{ м2.}$$

Кількість пластин:

$$n_L = F_L / F_1 = 8,49 / 0,42 = 20,21.$$

Кількість пакетів:

$$x_L = n_L / 2m = 20,21 / 2 \cdot 8 = 1,3.$$

Прийmemo 2 пакети.

сумарна кількість пластин установки:

$$\Pi = n_p + n_{\Pi} + n_v + n_L = 75 + 22 + 26 + 22 = 145$$

Прийmemo наступну компоновку секцій пастеризпційної установки:

Секція регенерації йогурту: 8 + 8 + 8 + 8 + 8 + 8 / 8 + 8 + 8 + 8 + 8

Секція пастеризації йогурту: 8 + 8 / 16.

Секція охолодження йогурту: 8 + 8 / 16.

Секція крижаного охолодження йогурту: 8 + 8 / 16.

Гідравлічний опір установки

$$\Delta p = \xi (L_{\Pi} / d_e) (\rho \omega^2) x / d_e$$

де $\xi = 11,2 Re^{-0,25}$;

а) Секція регенерації $x_p = 5$

Для потоку йогурту, які охолоджуються при значенні $Re_p = 2017$;

$$\xi = 11,2 \cdot 2017^{-0,25} = 1,67$$

Гідравлічний опір секції з боку сирих йогурту:

$$\Delta p = 1,67 \cdot 0,8 \cdot 1027 \cdot 0,46^2 \cdot 5 / (0,0056 \cdot 2) = 128,3 \text{ кПа}$$

Для потоку пастеризованих йогурту при $Re_p = 2666$:

$$\xi = 11,2 \cdot 2666^{-0,25} = 1,56$$

Гідравлічний опір секції зі сторони пастеризованих йогурту:

$$\Delta p = 1,56 \cdot 0,8 \cdot 1023 \cdot 0,46^2 \cdot 5 / (0,0056 \cdot 2) = 117,4 \text{ кПа}$$

б) Гідравлічний опір секції пастеризації.

Для потоку пастеризованих йогурту при значенні $Re = 3951$

$$\xi = 11,2 \cdot 3951^{-0,25} = 1,41$$

Гідравлічний опір:

$$\Delta p = 1,41 \cdot 0,8 \cdot 1023 \cdot 0,46^2 \cdot 2 / (0,0056 \cdot 2) = 43,62 \text{ кПа}$$

в) Гідравлічний опір секції охолодження

Для йогурту при $Re_v = 1114$:

$$\xi = 11,2 \cdot 1114^{-0,25} = 1,94$$

Гідравлічний опір:

$$\Delta p_v = 1,94 \cdot 0,8 \cdot 1031 \cdot 0,46^2 \cdot 2 / (0,0056 \cdot 2) = 43,62 \text{ кПа}$$

г) Секція крижаного охолодження йогурту ($x_{\text{л}} = 2$).

Для йогурту при $Re_p = 902$:

$$\xi = 11,2 \cdot 902^{-0,25} = 2,04$$

Гідравлічний опір секції з боку холодних йогурту:

$$\Delta p_{\text{л}} = 2,04 \cdot 0,8 \cdot 1032 \cdot 0,44^2 \cdot 2 / (0,0056 \cdot 2) = 58,2 \text{ кПа.}$$

сумарний гідравлічний опір установки у напрямку руху йогурту:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_p + \Delta p_{\text{п}} + \Delta p_v + \Delta p_{\text{л}} = \\ &= 128,3 + 43,62 + 43,62 + 58,2 = 273,74 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

Розрахунок витримувача

Ефективність пастеризації йогурту зумовлюється температурним режимом їх нагрівання та тривалістю витримування за заданої температури. Потрібну тривалість витримки визначають за відповідною формулою:

$$\ln Z = 36,84 - 0,48t,$$

де Z – час перебування йогурту за температурит, °C;

t – температура процесу пастеризації, °C.

За температури $t = 86$ C тривалість перебування йогурту складає

$$\ln Z = 36,84 - 0,48 \cdot 86 = 4,4$$

$$Z = 81 \text{ с.}$$

Для забезпечення витримування йогурту застосовують трубчастий витримувач діаметром 35 мм, який розміщують над пастеризаційною установкою.

Довжина даного витримувача становить:

$$L = \frac{Z \cdot M}{900 \pi d_b^2} = \frac{10 \cdot 81}{900 \cdot 3,14 \cdot 0,35^2} = 1,8 \text{ м.}$$

Прийmemo довжину $l = 3 \text{ м}$

З метою забезпечення досягнення та підтримання температури пастеризації, зважаючи на відсутність теплоізоляції та можливе часткове охолодження йогурту у процесі їх руху, витримувач конструктивно виконано у вигляді трьох труб, з'єднаних між собою відводами та муфтами.

3.2. Особливості експлуатації і технічного обслуговування ППОУ

Для належної роботи [17-19] теплообмінного устаткування необхідно створити оптимальні умови експлуатації, забезпечити справність робочих зон, підтримувати чистоту обладнання, дотримуватися встановлених режимів функціонування та виконувати регламентні роботи згідно з графіком технічного обслуговування.

Санітарна обробка виробничого обладнання є критично важливою операцією у харчовій промисловості. Її завдання – усунення залишків продукції та ліквідація патогенних мікроорганізмів, які можуть розмножуватися на забруднених поверхнях. Додаткове мікробне забруднення може виникати під час ручного очищення внутрішніх поверхонь апаратури.

Особливої уваги потребують важкодоступні ділянки обладнання, де можуть накопичуватися залишки продуктів.

Трубопроводи для транспортування рідких харчових продуктів вимагають ретельної санітарної обробки. Їх очищають за допомогою гарячої води та лужних розчинів.

Усе виробниче обладнання, апаратура, прилади та трубопроводи повинні проходити якісне миття та дезінфекцію відповідно до затвердженої інструкції з санітарної обробки технологічного устаткування для виробництва дитячих молочних продуктів. Необхідно використовувати сертифіковані мийні та дезінфекційні засоби, відповідні типу оброблюваних поверхонь.

Для систематичного виконання санітарної обробки на кожній виробничій ділянці розробляється спеціальний графік миття та знезараження обладнання.

Якщо обладнання після санітарної обробки не використовується понад шість годин, перед запуском його необхідно продезінфікувати повторно. Контроль якості миття та дезінфекції проводять виробничі лабораторії та санітарно-епідеміологічні служби безпосередньо перед початком виробничого процесу.

Для санітарної обробки обладнання рекомендується централізоване приготування мийних та дезінфекційних розчинів з використанням спеціальних установок, підібраних залежно від потужності виробництва (від 25 до 200+ тонн молока за зміну).

Приготування робочих розчинів хлорного вапна для дезінфекції рук персоналу, приладдя, обладнання та санітарних приміщень здійснюється з базового 10%-ного розчину з щоденною перевіркою концентрації активного хлору лаборантом.

Недопустимо знижувати концентрацію, температуру або тривалість циркуляції мийних розчинів, а також порушувати встановлену періодичність санітарної обробки.

За відсутності автоматичних засобів контролю концентрації робочих розчинів, лаборанти перевіряють їх склад 2-3 рази протягом зміни та при необхідності коригують до потрібних показників.

Для санітарної обробки приладдя, тари, візків та контейнерів обладнують спеціальні приміщення з водонепроникною підлогою, гарячим паром, системами холодного та гарячого водопостачання, каналізацією та вентиляцією.

Ручне миття знімних компонентів обладнання (трубопроводів, кранів, дозаторів) проводиться у спеціальних трісекційних мобільних ваннах із зливними патрубками. Конструкція патрубків повинна забезпечувати повне видалення робочих розчинів. Ванни обладнуються полицями для висушування очищених деталей.

Мікробіологічний контроль очищеного обладнання виконується виробничою лабораторією з обов'язковою реєстрацією результатів у спеціальному журналі.

Незадовільні результати бактеріологічних досліджень повинні оприлюднюватися з вказанням відповідальних працівників.

Система санітарної обробки обладнання та трубопроводів організовується за принципом окремих автономних контурів для різних виробничих ліній:

устаткування для переробки сирого молока та непастеризованих компонентів;

теплообмінники та суміжне обладнання;

ємності, молокопроводи та фасувальні лінії для стерилізованої продукції;

обладнання цеху дитячого харчування;

виробнича лінія молока та кефіру;

обладнання для виробництва сиру.

4. Дослідження технічної системи, що розглядається в роботі

4.1. Постановка задачі

Метою даного дослідження [8-10] є математичне моделювання та порівняльний аналіз гідродинамічних параметрів потоку в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника для трьох конструктивних варіантів. Основна увага приділяється визначенню просторового розподілу швидкостей, інтенсивності вторинних течій, рівня турбулізації потоку та характеру розподілу тиску вздовж каналу. Необхідно встановити, яким чином геометричні особливості кожного варіанта впливають на формування швидкісного поля, розвиток рециркуляційних зон, руйнування прикордонного шару та виникнення гідравлічних втрат. Результати дослідження повинні дозволити обґрунтовано обрати конструктивне рішення, що забезпечує оптимальне співвідношення між ефективністю теплообміну та енергетичними витратами на прокачування робочого середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати чисельне моделювання течії робочого середовища в міжпластинному каналі із застосуванням сучасних методів обчислювальної гідродинаміки. Дослідження має включати детальний аналіз таких параметрів потоку: модуля швидкості як інтегральної характеристики інтенсивності руху, осьової швидкості для оцінки спрямованості основного потоку та наявності зворотних течій, нормальної швидкості для визначення інтенсивності поперечного обміну імпульсом біля поверхні пластин, радіальної швидкості для аналізу вторинних рухів у складних геометричних зонах, тангенціальної швидкості для оцінки формування течій вздовж поверхні, вихровості як показника турбулізації та здатності руйнувати прикордонний шар, а також відносного тиску для визначення гідравлічних втрат і загального енергетичного балансу системи.

На основі отриманих результатів моделювання має бути проведено порівняльний аналіз усіх досліджуваних варіантів з урахуванням балансу між теплотехнічною ефективністю та гідравлічним опором. Підсумком роботи

повинен стати обґрунтований вибір оптимального конструктивного рішення пластинчастого теплообмінника, що забезпечує найкращі експлуатаційні характеристики в умовах реальної роботи енергетичного обладнання.

Дослідженню підлягають три конструктивних варіанти виконання теплообмінних пластин типорозміру П2 (рисунок 4.1.)

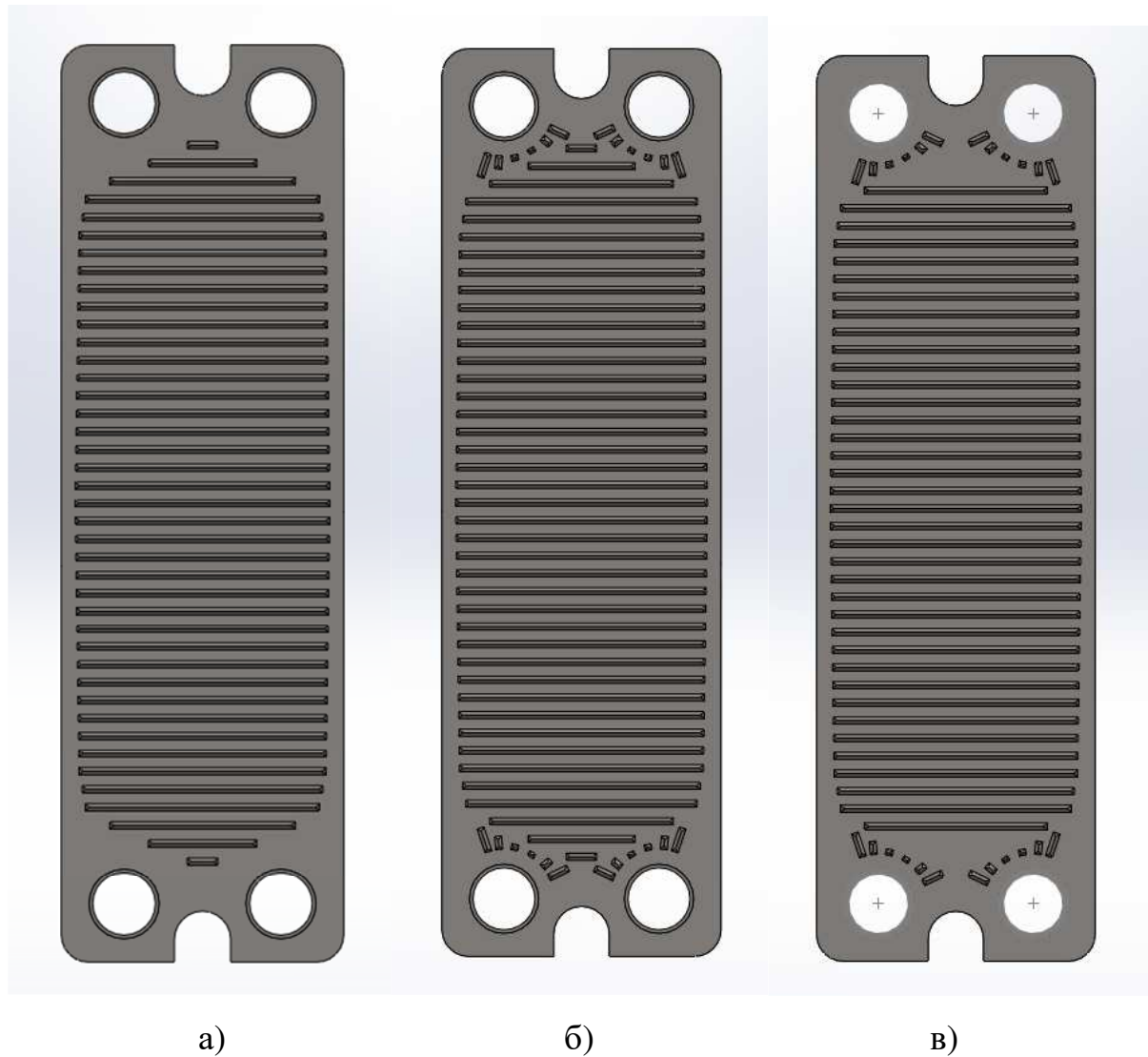


Рисунок 4.1.– Конструктивні варіанти виконання теплообмінних пластин:

а) виконання 1; б) виконання 2; в) виконання 3.

Дослідження проводилися для руху продукту між у каналі, утвореному двома суміжними пластинами та гумовим ущільненням (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2.– 3d модель каналу руху продукту

Розрахункова сітка симуляції представлена на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3. Розрахункова сітка для симуляції

Розрахункова схема представлена на рисунку 4.4.

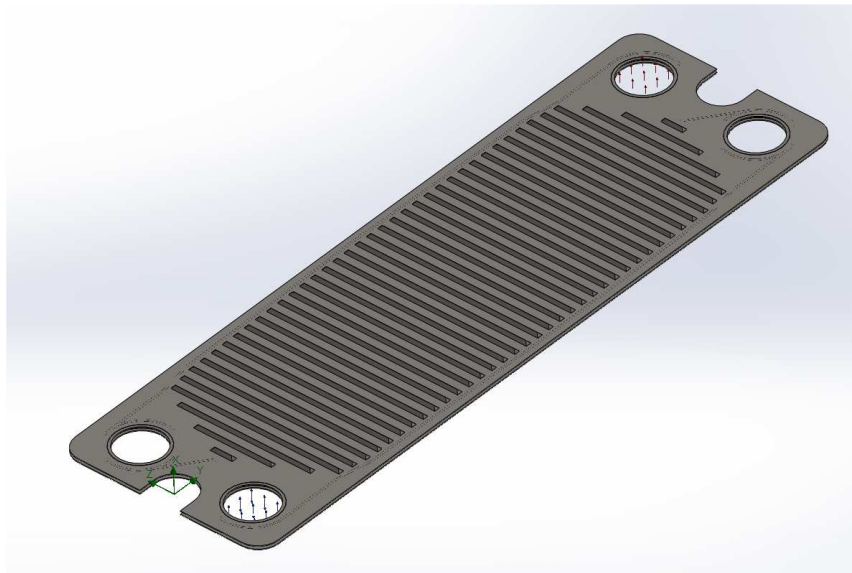


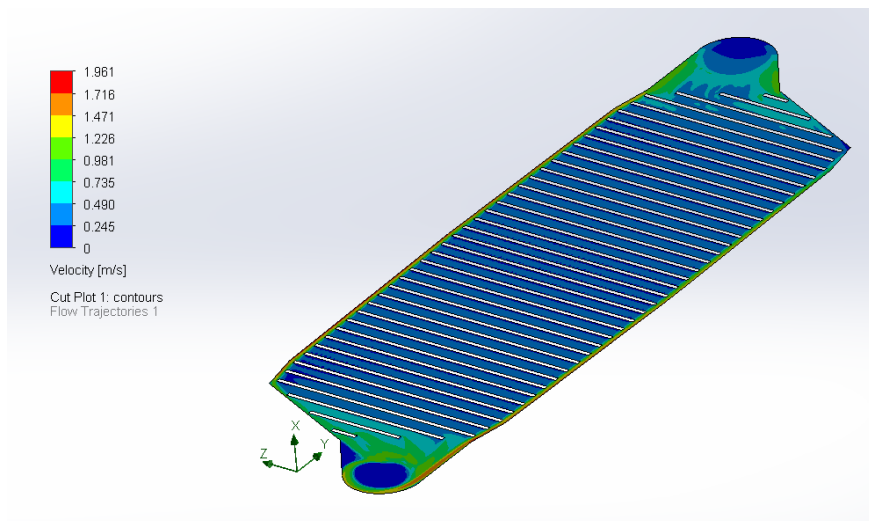
Рисунок 4.4. Розрахункова схема

4.2. Результати дослідження

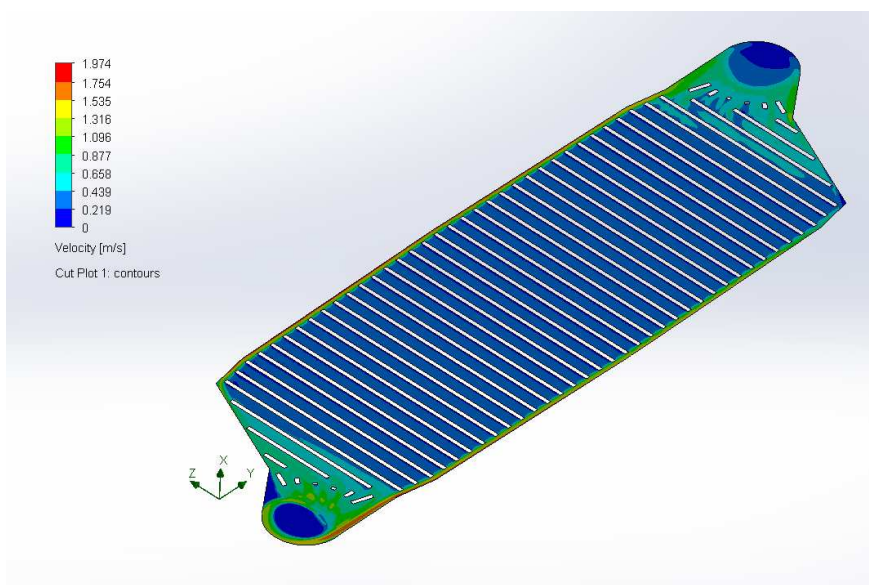
Дослідження швидкісного поля (Velocity) (рисунок 4.5, таблиця 4.1) в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника має на меті встановити, як зміна умов течії впливає на характер руху робочого середовища та, відповідно, на ефективність конвективного теплообміну. Модуль швидкості потоку є інтегральною характеристикою, що визначає інтенсивність перенесення імпульсу й теплоти, ступінь турбулізації потоку та величину гідравлічних втрат. За інших рівних умов зростання швидкості сприяє підвищенню коефіцієнта тепловіддачі, проте водночас призводить до збільшення втрат тиску, що зумовлює необхідність пошуку компромісного, енергетично доцільного режиму.

Таблиця 4.1. – Максимальні значення поля швидкостей продукту у каналі

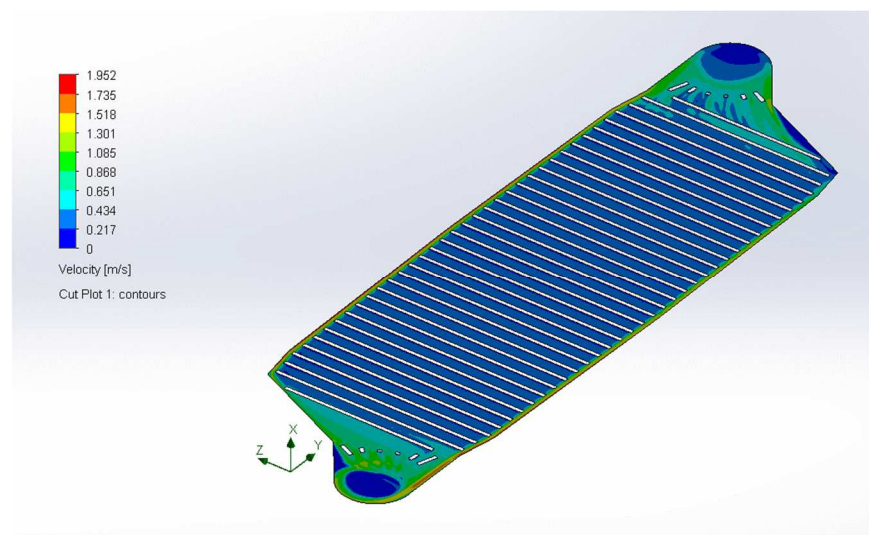
Конструктивне рішення	Максимальна швидкість, м/с
виконання 1	1.96115014
виконання 2	1.97369704
виконання 3	1.95224573



a)



б)



в)

Рисунок 4.5.- Епюра швидкості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника:

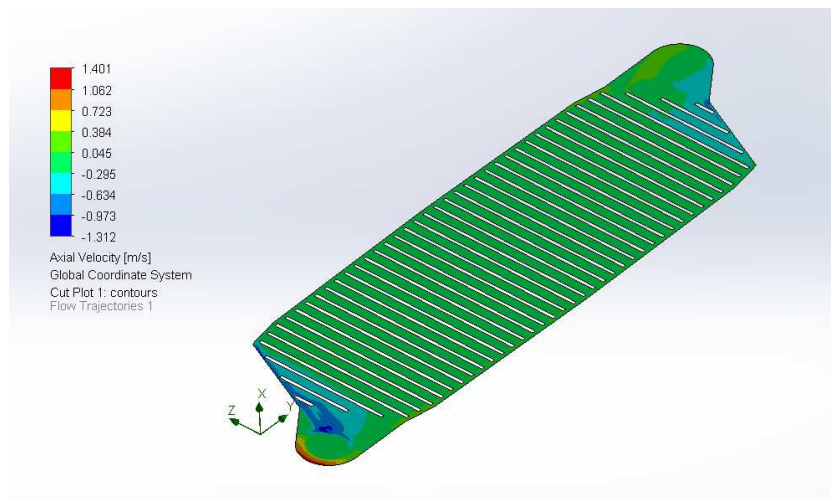
а) виконання 1; б) виконання 2; в) виконання 3.

Отримані результати показують, що значення модуля швидкості потоку становлять 1,952; 1,961 та 1,974 м/с. Різниця між мінімальним і максимальним значеннями не перевищує приблизно 1 %, що свідчить про практично однаковий характер течії в усіх розглянутих варіантах. Такий незначний розкид швидкостей вказує на стабільність гідродинамічного режиму та відсутність суттєвих змін у структурі потоку між пластинами. З фізичної точки зору це означає, що товщина прикордонного шару й умови формування турбулентних пульсацій залишаються близькими, а отже, очікуваний рівень інтенсифікації теплообміну для всіх варіантів буде практично однаковим.

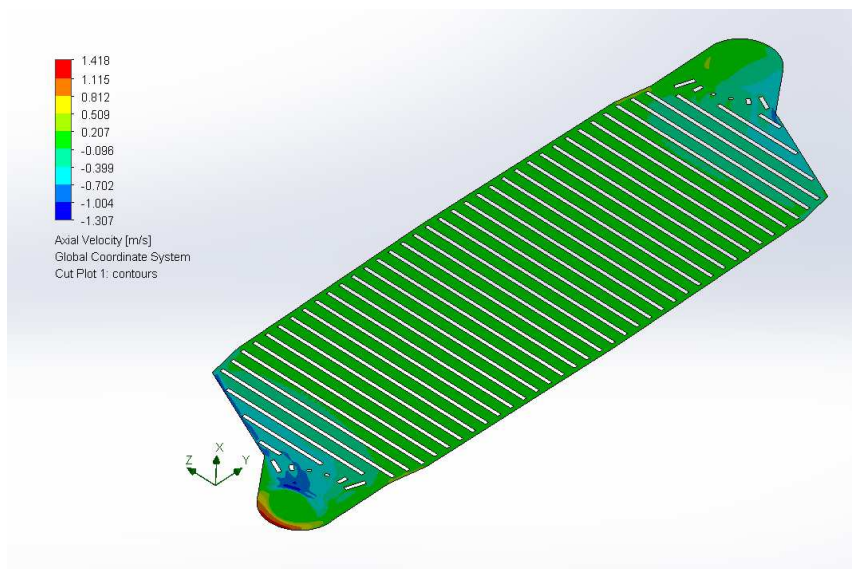
З інженерної позиції максимальне значення швидкості 1,974 м/с теоретично може забезпечити дещо вищу інтенсивність теплообміну, однак цей виграш є мінімальним і не пропорційним можливому зростанню гідравлічних втрат. Натомість варіант із найменшим значенням швидкості 1,952 м/с дозволяє зберегти той самий характер течії та рівень конвективного переносу за потенційно менших енергетичних витрат на прокачування робочого середовища.

Таким чином, з урахуванням балансу між ефективністю теплообміну та гідравлічними втратами, найбільш доцільним слід вважати варіант зі швидкістю 1,952 м/с, який забезпечує квазіоптимальний режим роботи пластинчастого теплообмінника без суттєвого погіршення теплотехнічних показників.

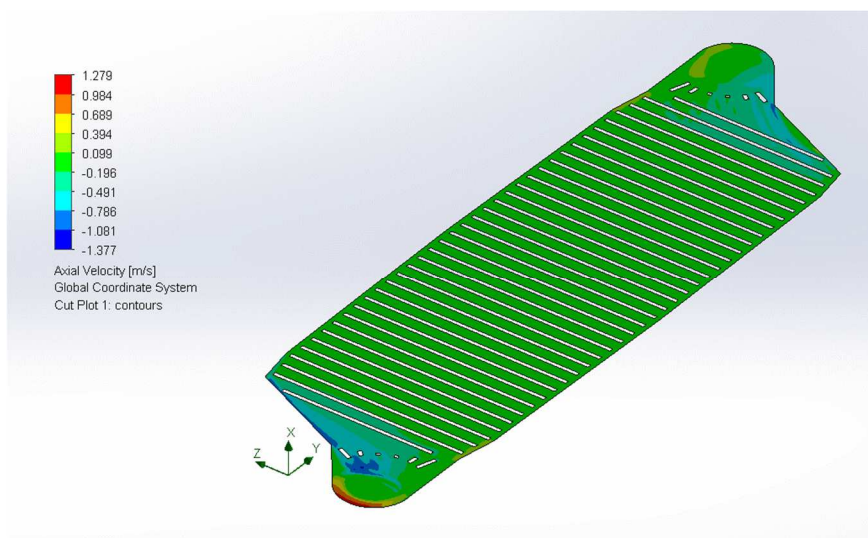
Дослідження осьової складової швидкості потоку в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника спрямоване на аналіз напрямленості та рівномірності руху робочого середовища вздовж основного напрямку течії — від входу до виходу апарата. Осьова швидкість є показником того, наскільки впорядковано та стабільно рухається потік у каналі: додатні значення відповідають основному напрямку руху, тоді як від'ємні свідчать про наявність локальних зворотних течій, рециркуляційних зон або інтенсивних вторинних вихорів, характерних для гофрованих пластин. Отримані результати показують, що в усіх трьох варіантах осьова швидкість має як додатні, так і від'ємні значення, що підтверджує складний просторовий характер течії між пластинами та наявність вторинних рухів, які сприяють інтенсифікації теплообміну.



a)



б)



в)

Рисунок 4.6.- Епюра осьової швидкості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника:

а) виконання 1; б) виконання 2; в) виконання 3.

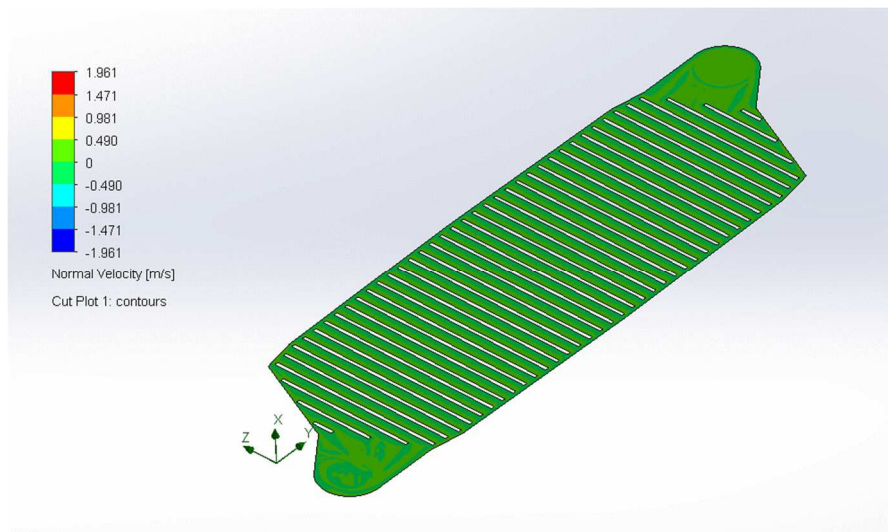
Таблиця 4.2. – Екстремуми осьової швидкості продукту у каналі

Конструктивне рішення	Мінімальна осьова швидкість, м/с	Максимальна осьова швидкість, м/с
виконання 1	-1.31204694	1.40128001
виконання 2	-1.30716617	1.41772778
виконання 3	-1.37655081	1.27898232

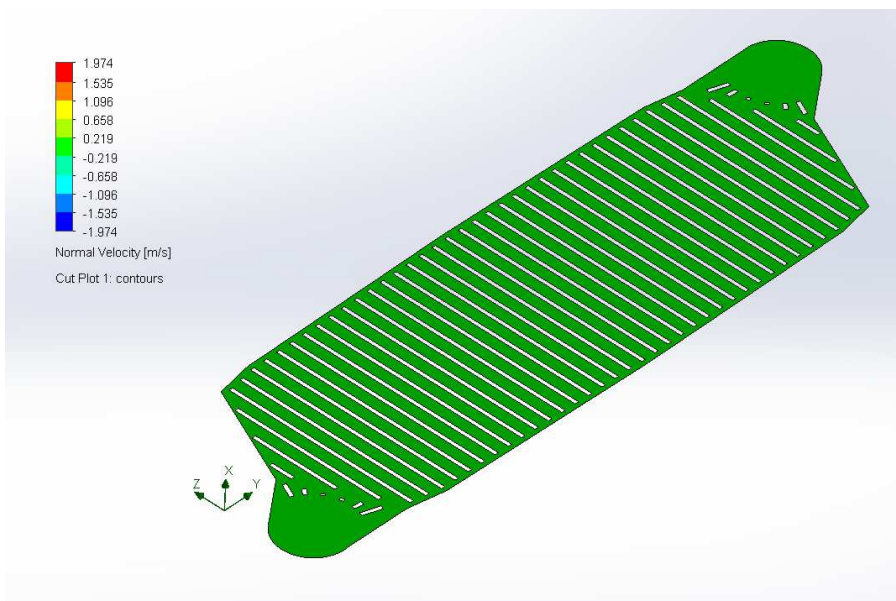
Для першого варіанта мінімальне значення становить $-1,31$ м/с, а максимальне — $1,40$ м/с, що свідчить про відносно симетричний розподіл швидкостей і помірний рівень рециркуляції. У другому варіанті спостерігається дещо більший максимальний рівень осьової швидкості ($1,42$ м/с) за майже такого ж мінімального значення, що вказує на локальні зони прискорення потоку та більш виражену неоднорідність розподілу. Третій варіант характеризується найбільшим за модулем мінімальним значенням ($-1,38$ м/с) та водночас найменшим максимальним значенням ($1,28$ м/с), що свідчить про посилення зворотних течій і зменшення ефективної складової швидкості вздовж основного напрямку руху.

З фізичної точки зору надмірні від'ємні значення осьової швидкості означають розвиток інтенсивних рециркуляційних зон, які, з одного боку, можуть сприяти турбулізації та руйнуванню прикордонного шару, але з іншого — погіршують спрямованість потоку та підвищують гідравлічний опір. Тому для ефективної роботи пластинчастого теплообмінника бажаним є режим, за якого зворотні течії присутні, але не домінують над основним осьовим рухом.

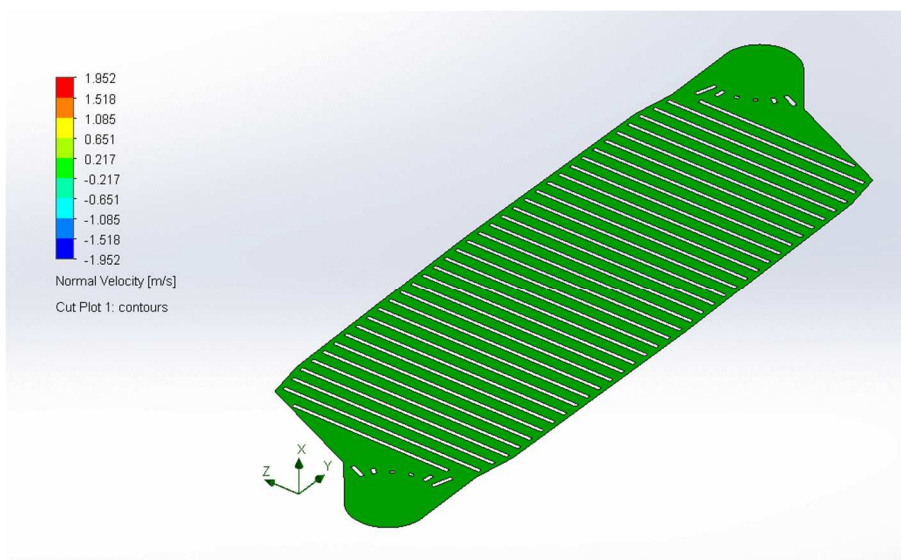
З урахуванням наведеного аналізу найбільш збалансованим слід вважати перший варіант, для якого спостерігається порівняно симетричний діапазон осьових швидкостей без надмірного зростання як максимальних, так і мінімальних значень. Такий характер течії забезпечує достатню інтенсифікацію теплообміну за рахунок вторинних рухів і водночас зберігає відносну рівномірність осьового переносу, що є сприятливим з точки зору гідравлічних втрат і загальної ефективності пластинчастого теплообмінника.



а)



б)



в)

Рисунок 4.7.- Епюра нормальної складової швидкості продукту у каналі
пластинчатого теплообмінника:

а) виконання 1; б) виконання 2; в) виконання 3.

Таблиця 4.3. – Екстремуми нормальної складової швидкості продукту у каналі

Конструктивне рішення	Мінімальна нормальна швидкість, м/с	Максимальна нормальна швидкість, м/с
виконання 1	-1.96115014	1.96115014
виконання 2	-1.97369704	1.97369704
виконання 3	-1.95224573	1.95224573

Дослідження нормальної складової швидкості потоку в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника спрямоване на аналіз інтенсивності поперечного руху робочого середовища відносно поверхні пластин. Нормальна швидкість характеризує перетікання потоку в напрямку, перпендикулярному до теплообмінної поверхні, і є важливим показником процесів обміну імпульсом та теплотою в пристінному шарі. Саме наявність поперечних рухів сприяє руйнуванню гідродинамічного та теплового прикордонних шарів, що є однією з ключових передумов інтенсифікації теплообміну в пластинчастих теплообмінниках.

Отримані результати показують, що для всіх трьох варіантів мінімальні та максимальні значення нормальної швидкості є симетричними за модулем і становлять відповідно $\pm 1,95$ – $1,97$ м/с. Така симетрія свідчить про наявність інтенсивних коливальних і вторинних течій, спрямованих як до поверхні пластин, так і від неї, що є характерним для каналів із гофрованими стінками. При цьому різниця між варіантами не перевищує близько 1 %, що вказує на практично однаковий рівень поперечного масо- та теплопереносу в усіх досліджених режимах.

З фізичної точки зору це означає, що умови формування прикордонного шару та механізм його періодичного руйнування в усіх варіантах є подібними, а отже, вплив нормальної складової швидкості на інтенсифікацію теплообміну суттєво не відрізняється. Водночас збільшення амплітуди нормальної швидкості, хоч і підсилює перемішування поблизу стінок, неминуче супроводжується

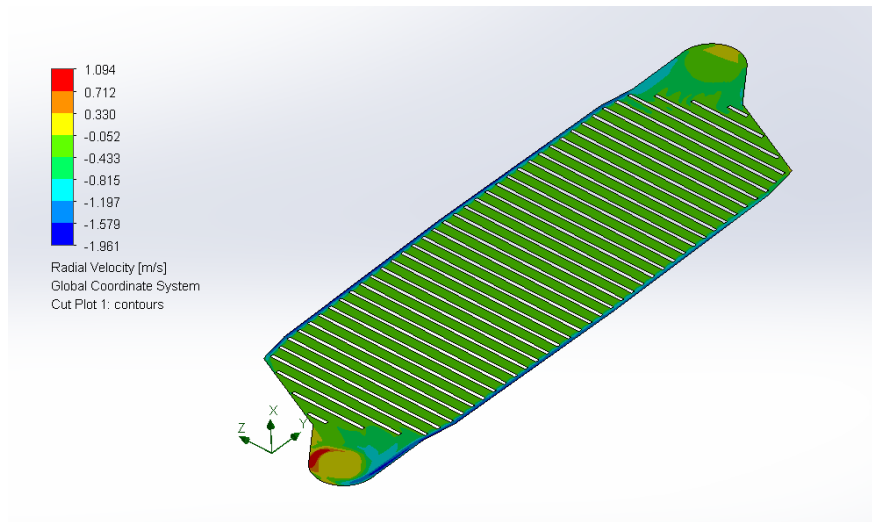
зростанням гідравлічного опору та енергетичних витрат на прокачування робочого середовища.

З інженерної точки зору доцільно віддати перевагу варіанту з дещо меншими значеннями нормальної швидкості, оскільки він забезпечує аналогічний рівень інтенсифікації теплообміну без надмірного збільшення втрат тиску. Таким чином, найбільш раціональним слід вважати третій варіант, для якого нормальна швидкість становить $\pm 1,952$ м/с і який характеризується оптимальним балансом між ефективністю теплопереносу та гідравлічними витратами в пластинчастому теплообміннику.

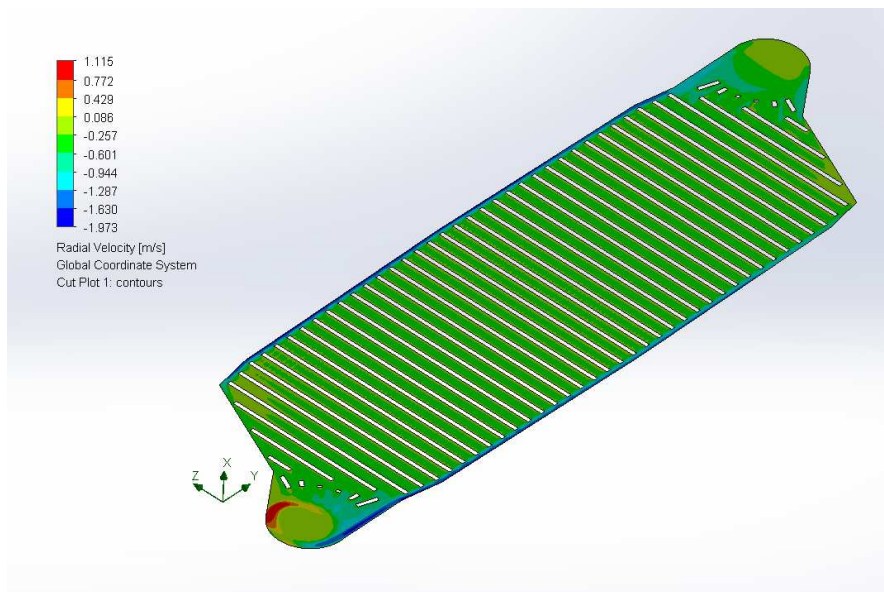
Дослідження радіальної складової швидкості потоку в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника спрямоване на аналіз відхилень потоку від основного напрямку течії в радіальному напрямку, тобто перпендикулярно до осі каналу в циліндричних або складних геометричних зонах, таких як входи, виходи та колектори. Радіальна швидкість є показником розвитку вторинних течій і рециркуляційних зон, які впливають на розподіл тиску, рівномірність протікання та локальну інтенсивність теплообміну. Незначні значення радіальної складової свідчать про переважно осьовий рух потоку, тоді як підвищені амплітуди сигналізують про активні вторинні рухи, що сприяють перемішуванню та руйнуванню прикордонного шару біля поверхні пластин.

Таблиця 4.4. – Екстремуми радіальної складової швидкості продукту у каналі

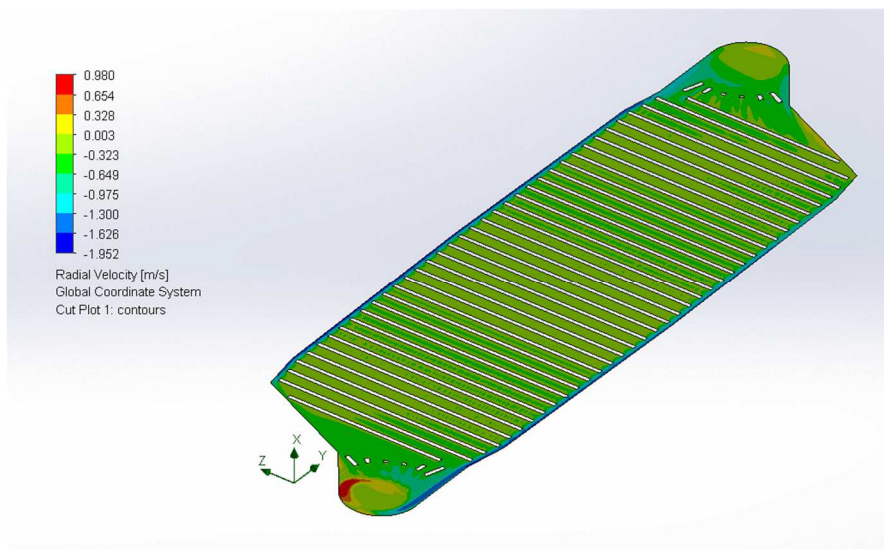
Конструктивне рішення	Мінімальна радіальна складова швидкості, м/с	Максимальна радіальна складова швидкості, м/с
виконання 1	-1.96085651	1.09400533
виконання 2	-1.97339781	1.1153193
виконання 3	-1.9519514	0.979865185



a)



б)



в)

Рисунок 4.8.- Епюра радіальної складової швидкості продукту у каналі
пластинчатого теплообмінника:

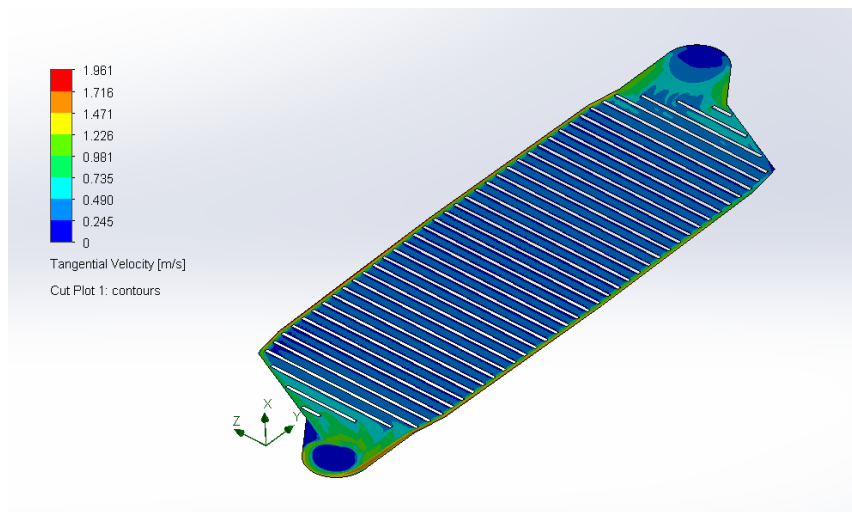
а) виконання 1; б) виконання 2; в) виконання 3.

Аналіз отриманих результатів показує, що мінімальні значення радіальної швидкості варіюються від $-1,952$ до $-1,973$ м/с, а максимальні — від $0,980$ до $1,115$ м/с. Така асиметрія між мінімальним і максимальним значенням відображає наявність локальних зон зворотного руху та відносно слабких зон прискорення у протилежному напрямку. Другий варіант характеризується дещо більшими амплітудами обох крайніх значень, що свідчить про посилене формування вторинних течій та більш активну турбулізацію. Третій варіант має найменше максимальне значення радіальної швидкості, що свідчить про помірніший розвиток вторинних рухів і більш спрямований, осьовий характер течії, при збереженні достатнього рівня перемішування.

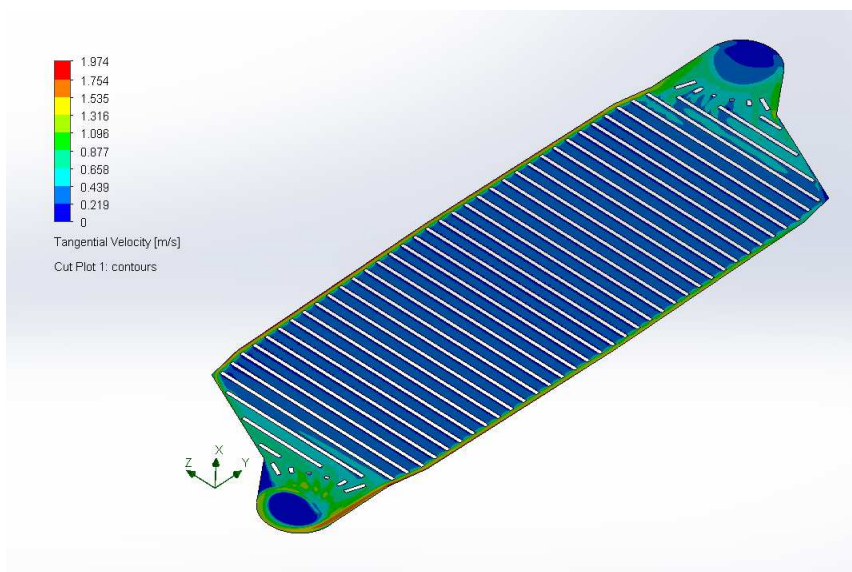
З фізичної точки зору, варіант з дещо меншими максимальними значеннями радіальної швидкості дозволяє досягти оптимального балансу: забезпечується ефективне руйнування прикордонного шару і турбулізація для інтенсифікації теплообміну, водночас обмежуються надмірні гідравлічні втрати, які могли б виникати при сильних вторинних течіях.

Виходячи з цього, найбільш доцільним слід вважати третій варіант, для якого мінімальна і максимальна радіальні швидкості становлять $-1,952$ м/с і $0,980$ м/с відповідно. Цей варіант характеризується оптимальним співвідношенням інтенсивності перемішування та спрямованості потоку, що забезпечує ефективну роботу пластинчастого теплообмінника при мінімальних гідравлічних витратах.

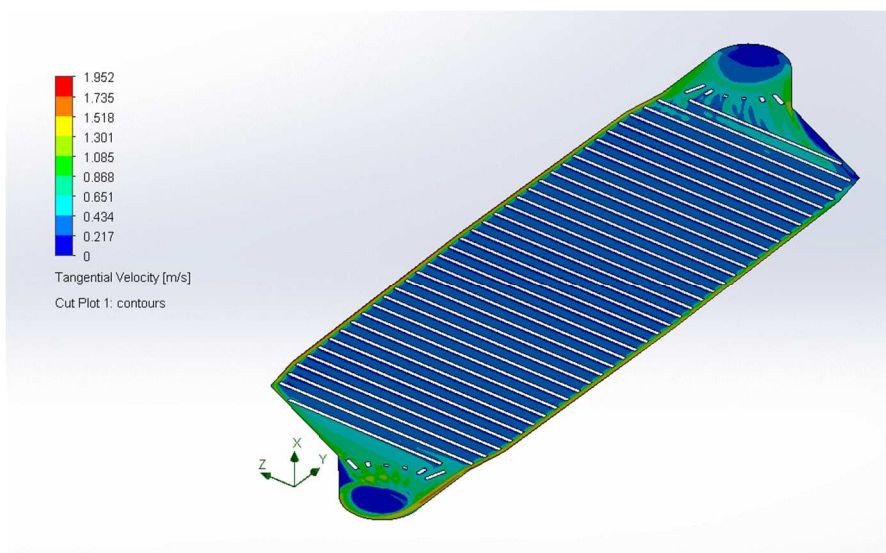
Дослідження тангенціальної складової швидкості потоку в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника спрямоване на оцінку інтенсивності руху робочого середовища вздовж поверхні пластин. Тангенціальна швидкість характеризує формування вторинних течій, які сприяють руйнуванню прикордонного шару і підвищенню локальної турбулізації потоку. Цей параметр є ключовим для оцінки інтенсифікації теплообміну, оскільки завдяки тангенціальним рухам покращується конвективний перенос тепла та зменшується товщина прикордонного шару поблизу стінки.



a)



б)



в)

Рисунок 4.9.- Епюра тангенціальної складової швидкості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника:

а) виконання 1; б) виконання 2; в) виконання 3.

Таблиця 4.5. – Максимальні значення тангенціальної складової швидкості продукту у каналі

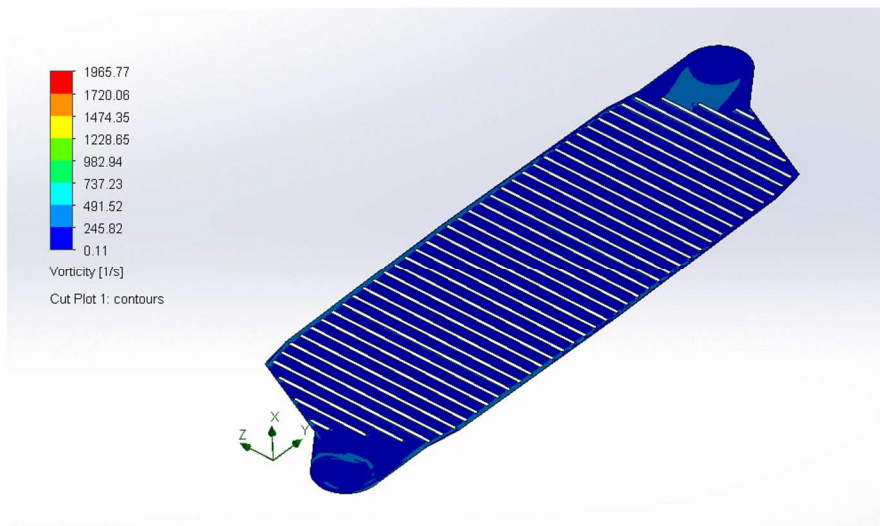
Конструктивне рішення	Максимальна тангенціальна складова швидкості, м/с
виконання 1	1.96115014
виконання 2	1.97369704
виконання 3	1.95224573

Результати дослідження показують, що максимальні значення тангенціальної швидкості в трьох варіантах становлять 1,952, 1,961 та 1,974 м/с. Незначна різниця між ними (приблизно 1 %) свідчить про подібний характер течії у всіх розглянутих режимах. Найбільше значення 1,974 м/с відповідає варіанту з найінтенсивнішою турбулізацією та активним формуванням вторинних течій, що сприяє максимальному руйнуванню прикордонного шару. Однак надмірне підвищення тангенціальної швидкості може призводити до збільшення гідравлічних втрат і енергетичних витрат на прокачування робочого середовища.

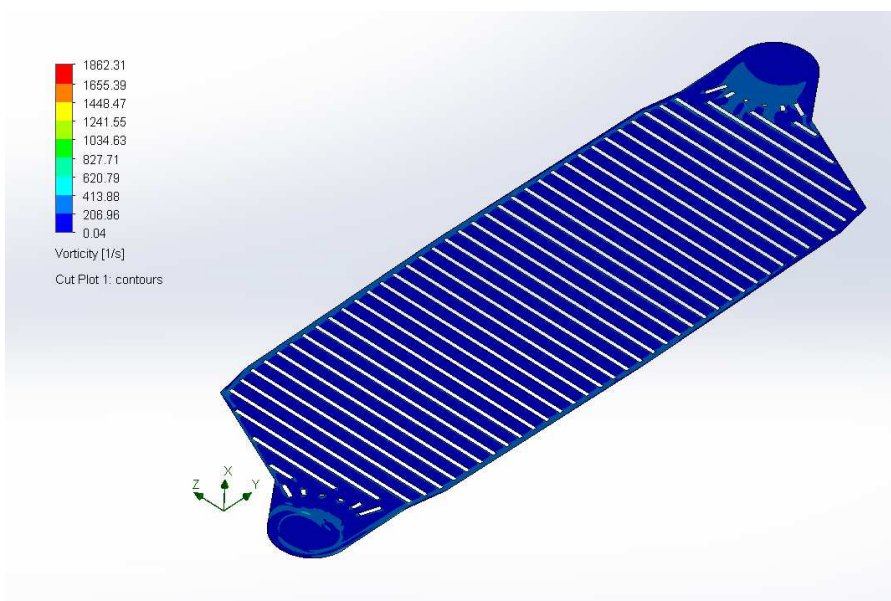
З інженерної точки зору оптимальним варіантом є середнє значення тангенціальної швидкості — 1,961 м/с, яке забезпечує достатній рівень вторинних течій і ефективну інтенсифікацію теплообміну без суттєвого зростання втрат тиску. Такий режим дозволяє досягти балансу між теплотехнічною ефективністю та енергетичними витратами, що є ключовим критерієм оптимальної роботи пластинчастого теплообмінника.

Таблиця 4.6. – Екстремуми вихровості продукту у каналі

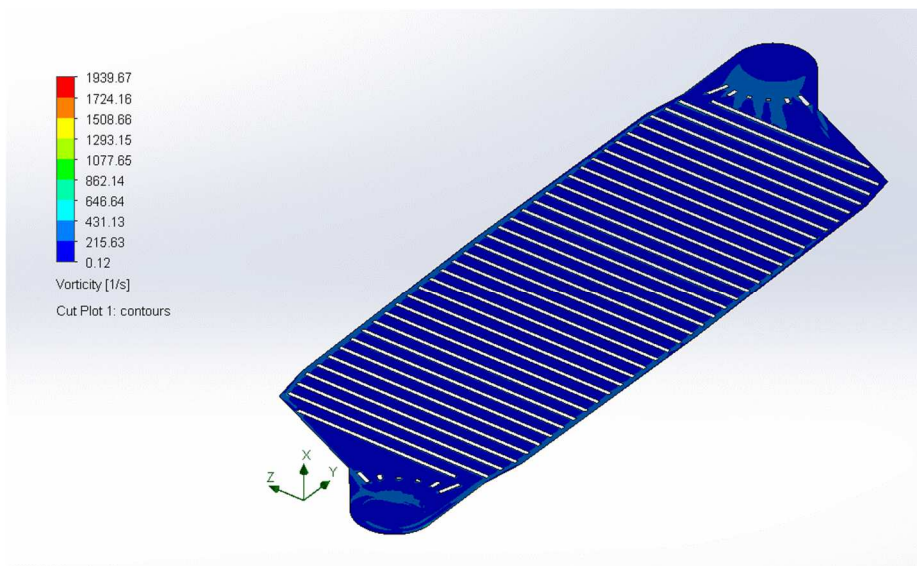
Конструктивне рішення	Мінімальне значення вихровості	Максимальна значення вихровості
виконання 1	0.10808812	1965.76992
виконання 2	0.0372830768	1862.30891
виконання 3	0.120699182	1939.66552



а)



б)



в)

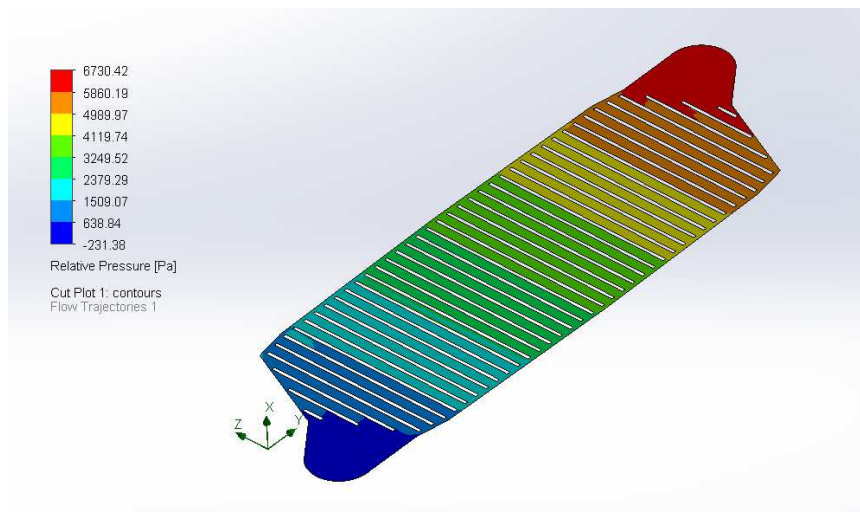
Рисунок 4.10.- Епюра вихровості продукту у каналі пластинчатого теплообмінника:

а) виконання 1; б) виконання 2; в) виконання 3.

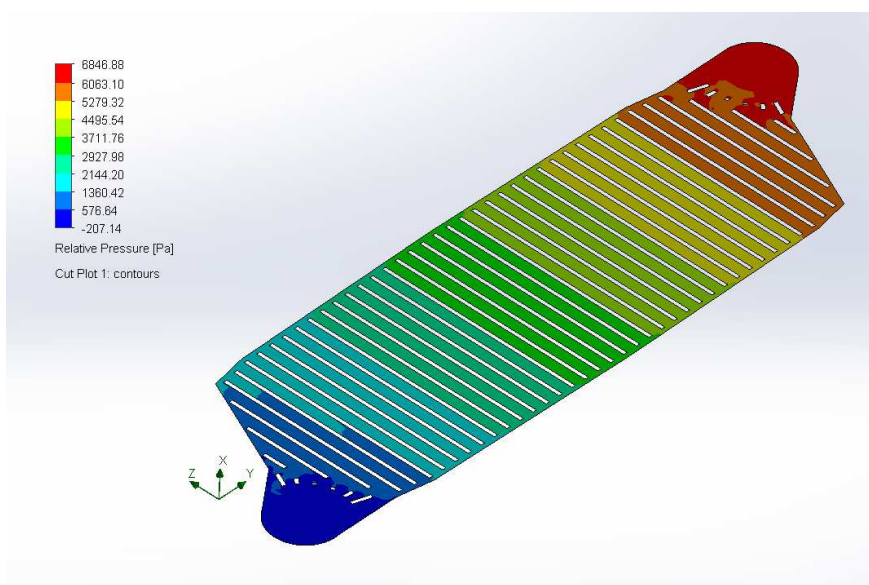
Дослідження вихровості (vorticity) потоку в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника спрямоване на аналіз інтенсивності обертальних і вторинних течій, що формуються в робочому середовищі під дією гофрованих поверхонь пластин. Вихровість є ключовим параметром, оскільки вона характеризує рівень турбулізації потоку і здатність руйнувати гідродинамічний та тепловий прикордонні шари, що безпосередньо впливає на інтенсифікацію теплообміну. Занадто низька вихровість свідчить про переважно ламінарний або слабо турбулізований рух, що знижує ефективність теплопереносу, тоді як надмірна вихровість призводить до значного підвищення гідравлічних втрат і енергетичних витрат на прокачування.

Результати моделювання показують, що мінімальні значення вихровості варіюються від 0,037 до 0,121 1/с, а максимальні — від 1862 до 1966 1/с. Перший варіант характеризується найбільшим максимальним значенням вихровості (1965,77 1/с) і порівняно високим мінімумом (0,108 1/с), що свідчить про активне формування вторинних течій і високу локальну турбулізацію. Другий варіант має найнижчу вихровість (максимум 1862,31 1/с), що вказує на меншу інтенсивність турбулізації та, ймовірно, слабший вплив на руйнування прикордонного шару. Третій варіант розташовується між цими значеннями з максимумом 1939,67 1/с і мінімумом 0,121 1/с, що свідчить про достатній рівень вихрових рухів без надмірного зростання гідравлічних втрат.

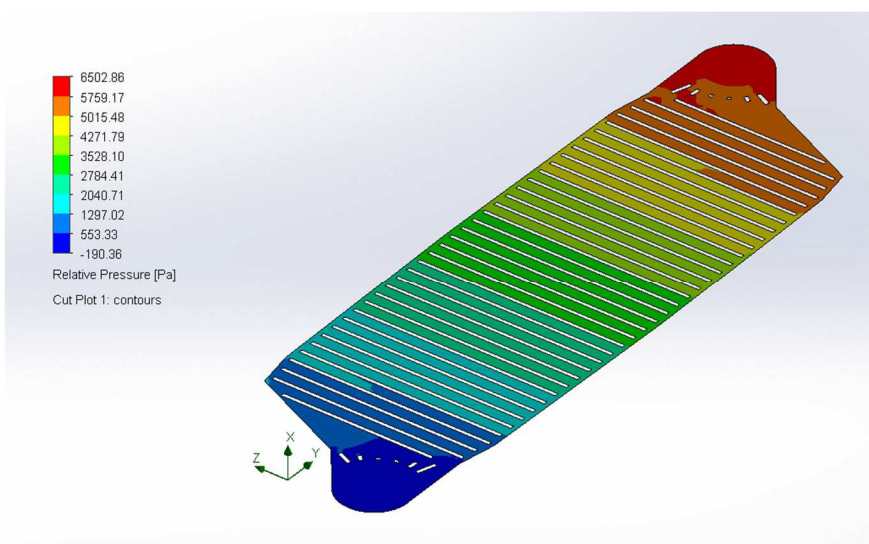
З фізичної точки зору оптимальним є варіант із високою, але не максимальною вихровістю, що дозволяє ефективно руйнувати прикордонний шар і підвищувати конвективний перенос тепла, одночасно не створюючи надмірного гідравлічного опору. Таким чином, третій варіант, із вихровістю 0,121–1939,67 1/с, можна вважати найбільш збалансованим, оскільки він забезпечує ефективну інтенсифікацію теплообміну при помірних енергетичних витратах на прокачування робочого середовища в пластинчастому теплообміннику.



а)



б)



в)

Рисунок 4.11.- Епюра відносного тиску продукту у каналі пластинчатого теплообмінника:

а) виконання 1; б) виконання 2; в) виконання 3.

Таблиця 4.7. – Екстремуми відносного тиску продукту у каналі

Конструктивне рішення	Максимальне значення відносного тиску, Па
виконання 1	6730.41847 Па
виконання 2	6846.87506 Па
виконання 3	6502.86066 Па

Дослідження відносного тиску (Relative Pressure) у міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника спрямоване на оцінку гідравлічного режиму руху робочого середовища. Відносний тиск характеризує розподіл сил, що діють на рідину або газ у каналі, і є безпосереднім показником гідравлічних втрат. Мінімальні значення відносного тиску вказують на області найбільшого розрідження та можливу появу зворотних течій або рециркуляцій, а максимальні — на ділянки найбільшого підвищення тиску, що відображає місця локальної прискореної течії або протидії потоку. Аналіз цих значень дозволяє оцінити ефективність прокачування середовища та передбачити енергетичні витрати на подолання опору.

Результати моделювання показують, що мінімальні значення відносного тиску варіюються від -231 до -190 Па, а максимальні — від 6503 до 6847 Па. Перший варіант характеризується найнижчим мінімальним значенням ($-231,38$ Па) і максимальним тиском $6730,42$ Па, що свідчить про відносно великі перепади тиску та підвищені гідравлічні втрати. Другий варіант має трохи менший мінімум ($-207,14$ Па) і найвищий максимум ($6846,88$ Па), що вказує на підвищене локальне прискорення потоку та незначне збільшення втрат тиску. Третій варіант вирізняється найменшими екстремальними значеннями як мінімального ($-190,36$ Па), так і максимального ($6502,86$ Па) тиску, що свідчить про більш рівномірний розподіл потоку і нижчі гідравлічні втрати в каналі.

З фізичної точки зору оптимальним є варіант із мінімальними перепадами відносного тиску, оскільки він забезпечує стабільний та рівномірний рух

робочого середовища, ефективне використання енергії насосного обладнання і зменшення ризику утворення зон застою або локальної ерозії. Таким чином, третій варіант, із мінімальною відносною швидкістю $-190,36$ Па та максимальною $6502,86$ Па, можна вважати найкращим, оскільки він поєднує ефективну організацію потоку, помірні гідравлічні втрати та стабільний гідродинамічний режим для роботи пластинчастого теплообмінника.

Дослідження параметрів руху робочого середовища в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника було спрямоване на оцінку швидкісного поля та гідравлічного режиму для визначення оптимальних умов інтенсифікації теплообміну. Аналізувалися такі характеристики потоку: модуль швидкості (Velocity), осьова швидкість (Axial Velocity), нормальна швидкість (Normal Velocity), радіальна швидкість (Radial Velocity), тангенціальна швидкість (Tangential Velocity), вихровість (Vorticity) та відносний тиск (Relative Pressure).

Результати показали, що модуль швидкості потоку у всіх варіантах коливався в межах $1,95$ – $1,97$ м/с, що свідчить про стабільний характер течії та практично однакову інтенсивність конвективного переносу. Осьова швидкість демонструвала наявність як додатних, так і від’ємних значень, що вказує на вторинні течії, але перший варіант характеризувався більш симетричним і збалансованим розподілом, що забезпечує ефективний осьовий перенос при помірних гідравлічних втратах. Нормальна та радіальна складові швидкості показали інтенсивні вторинні рухи, що сприяють руйнуванню прикордонного шару, при цьому третій варіант мав оптимальне поєднання амплітуди рухів і рівномірності потоку, знижуючи надмірні гідравлічні втрати. Тангенціальна швидкість у межах $1,952$ – $1,974$ м/с демонструвала формування вторинних течій; інженерно оптимальним є середнє значення $1,961$ м/с, що забезпечує ефективну турбулізацію без надмірного збільшення Δp . Вихровість потоку варіювалася від $0,037$ до 1966 1/с, де третій варіант поєднує достатньо високий рівень турбулізації з помірними гідравлічними втратами. Аналіз відносного тиску показав, що третій варіант характеризується найменшими екстремумами, що свідчить про стабільний і рівномірний гідравлічний режим.

Таким чином, узагальнення результатів дозволяє визначити, що третій варіант є найбільш доцільним з інженерної точки зору. Він забезпечує оптимальний баланс між ефективною інтенсифікацією теплообміну завдяки вторинним і тангенціальним течіям, помірними гідравлічними втратами та стабільністю осьового і радіального руху потоку. Цей варіант демонструє найкращі показники як по теплотехнічній ефективності, так і по енергетичній доцільності роботи пластинчастого теплообмінника.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Заходи з охорони праці.

Виробництво рідких молочних продуктів здійснюється за допомогою комплексу спеціалізованого технологічного обладнання, кожен елемент якого виконує специфічну функцію у загальному виробничому процесі. До складу технологічної лінії входять: прийомні ванни моделі ИПКС-053, що призначені для первинного збору сировини; відцентрові насоси марки 75–2Ц6,5–7, які забезпечують транспортування рідких продуктів; сепаратори-молокоочишувачі А1-ОЦМ-5 для видалення механічних домішок; сепаратори-вершковідділювачі ОСП-3 для розділення молока на фракції; пастеризаційні установки ОПУ-10 для теплової обробки продукції; автоматичні агрегати для фасування УФАС-1200М, що забезпечують пакування готової продукції.

Прийомні ванни ИПКС-053 представляють собою відкриті резервуари, до яких підведені електричні кабелі живлення та гідравлічні комунікації для подачі та відведення рідин. З огляду на конструктивні особливості такого обладнання, необхідно дотримуватися суворих вимог безпеки [20, 21] при їх розміщенні та експлуатації.

Відкриті резервуари повинні встановлюватися на висоті, яка виключає ризик випадкового падіння обслуговуючого персоналу всередину ємності. Для додаткового захисту працівників рекомендується обладнання спеціальними огорожами по периметру ванн. Ці огорожі повинні бути достатньої висоти та міцності, щоб запобігти нещасним випадкам.

Серед основних небезпечних факторів при роботі з прийомними ваннами виділяються ризик ураження електричним струмом через близькість електрообладнання та вологого середовища, а також небезпека падінь і травм через слизьку, змочену підлогу навколо обладнання. Для мінімізації цих ризиків необхідно забезпечити надійне заземлення всього електрообладнання згідно з чинними нормативними документами. Також обов'язковою є наявність

антисліпких підставок або решіток під ногами операторів, що запобігають ковзанню на мокрій поверхні.

Електричні відцентрові насоси типу 75–2Ц6,5–7 вимагають особливої уваги до якості їх складання та точності монтажу. При збиранні насосного агрегату критично важливо ретельно встановлювати всі ущільнювальні елементи: прокладки, гумові кільця та манжети. Від якості монтажу цих елементів залежить не тільки ефективність роботи обладнання, але й безпека персоналу.

Основні небезпечні фактори при експлуатації насосів включають механічні вібрації, що виникають при роботі обертових частин, та підвищений ризик ураження електричним струмом, особливо в умовах підвищеної вологості, характерної для молокопереробних підприємств. Вологе середовище значно знижує електричний опір і підвищує ймовірність виникнення небезпечних ситуацій.

Для запобігання негативному впливу цих факторів обов'язковим є встановлення віброізоляційних елементів під основу насоса та надійного захисного заземлення відповідно до вимог ГОСТ 12.1.030–81 "ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення". Рівень шуму та вібрації повинен контролюватися згідно з ГОСТ 12.1.003-83 "ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки", який встановлює допустимі норми для різних категорій робочих місць та виробничих приміщень.

Під час роботи насосного обладнання необхідно постійно контролювати герметичність з'єднань. Підтікання рідини не повинно перевищувати максимальних значень, встановлених технічною документацією для конкретної моделі. Категорично забороняється експлуатація несправного насоса, зокрема при появі таких ознак як задіювання робочих органів за корпус або кришку, підвищена вібрація, нехарактерний шум або гуркіт.

При роботі з молочними сепараторами повинні дотримуватися наступні критичні вимоги безпеки:

Пуск та зупинка обладнання може здійснюватися виключно відповідальною особою, яка призначена спеціальним наказом або

розпорядженням керівництва підприємства. Така особа несе повну відповідальність за правильність виконання технологічних операцій.

До безпосереднього обслуговування сепараторів допускаються лише кваліфіковані працівники, які мають практичний досвід роботи з подібним обладнанням, пройшли спеціальне навчання та детально вивчили інструкцію з експлуатації конкретної моделі сепаратора.

Перед кожним пуском обладнання оператор зобов'язаний провести комплексну перевірку: переконатися у наявності та справності захисного заземлення, перевірити надійність затягування всіх болтових з'єднань, впевнитися у щільності закриття кришок та відсутності механічних пошкоджень.

Категорично забороняється відкривати або знімати кришку сепаратора до його повної зупинки та припинення обертання внутрішніх механізмів. Порушення цієї вимоги може призвести до серйозних травм персоналу.

Після проведення миття сепаратора тарілки барабана повинні монтуватися у суворій послідовності згідно з нумерацією, нанесеною на кожному тарілці. Порушення порядку складання може призвести до дисбалансу та виходу обладнання з ладу.

У випадку виникнення та постійного наростання вібрацій під час роботи, що свідчить про входження сепаратора у небезпечну зону резонансу, необхідно негайно відключити подачу електроенергії та евакуювати персонал з приміщення цеху до повної природної зупинки обертання барабана.

Експлуатація установок для теплової пастеризації молочної продукції пов'язана з підвищеним ризиком термічних опіків персоналу. Нормативна документація встановлює, що максимально допустима температура поверхонь обладнання, доступних для випадкового дотику, не повинна перевищувати 50°C.

Для створення безпечних умов праці та запобігання термічним травмам рекомендується застосовувати якісну теплоізоляцію гарячих поверхонь або встановлювати захисні кожухи, які фізично унеможливають контакт працівників з нагрітими елементами обладнання. У випадках, коли повна ізоляція гарячих поверхонь технічно неможлива, персонал повинен використовувати

індивідуальні засоби захисту - спеціальні термостійкі тканинні рукавиці відповідно до вимог ГОСТ 12.4.020–82.

При експлуатації автоматичних фасувальних машин першочергова увага повинна приділятися перевірці герметичності системи та відсутності витоків продукту. Будь-які підтікання можуть створювати небезпечні умови праці та знижувати якість готової продукції.

Всі відкриті рухомі елементи обладнання - зубчасті сегменти, з'єднувальні муфти, виступаючі кінці обертових валів, махові колеса, гребінчасті механізми, а також передавальні елементи типу шківів та пасів - повинні бути обладнані надійними захисними пристроями. Ці захисні елементи мають забезпечувати повну безпеку персоналу під час обслуговування та регулювання обладнання.

Виступаючі частини обертових механізмів, такі як шпонки, стопорні гвинти та інші елементи кріплення, повинні бути закриті гладкими захисними футлярами, що виключають можливість захоплення одягу чи тіла оператора. Зубчасті шестерні та муфти редукторів необхідно закривати суцільними кожухами або захисними щитками з усіх доступних сторін.

Все технологічне обладнання, апаратура, посуд, тара, інвентар, плівкові матеріали та вироби з полімерних або інших синтетичних матеріалів, які контактують з молоком та молочними продуктами, повинні бути виготовлені з матеріалів, офіційно дозволених органами санітарно-епідеміологічного нагляду для використання у харчовій промисловості.

Ванни, резервуари, металевий посуд, зливні спуски, лотки, жолоби та інші елементи обладнання повинні мати абсолютно гладкі внутрішні поверхні без щілин, зазорів, виступаючих болтів або заклепок, які б ускладнювали процес очищення та могли стати місцем накопичення забруднень. Необхідно максимально уникати використання дерев'яних елементів та інших матеріалів, які погано піддаються миттю та дезінфекції через пористу структуру.

Робочі поверхні столів для обробки харчових продуктів повинні бути виконані з гладких матеріалів без щілин та зазорів. Найкращим варіантом є

використання нержавіючої сталі або спеціальних полімерних матеріалів, схвалених санітарними службами для контакту з харчовою продукцією.

Зовнішні поверхні технологічного обладнання та апаратури повинні бути пофарбовані фарбами світлих тонів, які не містять шкідливих домішок (за винятком обладнання, виготовленого з нержавіючих матеріалів або облицьованого ними). Категорично забороняється використання фарб, що містять токсичні елементи - свинець, кадмій, хром - для фарбування посуду та інвентарю, що контактують з продукцією.

Розміщення всього виробничого обладнання на підприємстві повинно здійснюватися відповідно до затвердженої технологічної схеми виробництва. При плануванні розташування необхідно забезпечити потоковість технологічного процесу, створити короткі та прямолінійні молокопроводи, повністю виключити перетинання зустрічних потоків сировини та готової продукції, що є критично важливим для дотримання санітарно-гігієнічних норм.

Обладнання має бути розміщене таким чином, щоб забезпечити вільний доступ обслуговуючого персоналу до всіх його частин для проведення налагоджувальних робіт, технічного обслуговування та ремонту. Також необхідно передбачити можливість здійснення санітарного контролю за виробничими процесами, контролю якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції на всіх етапах виробництва.

Обладнання, апаратура та система молокопроводів повинні бути змонтовані з урахуванням необхідності повного зливу продукту, мийних та дезінфікуючих розчинів без утворення застійних зон. Всі елементи, що контактують з молоком та молочними продуктами, повинні бути легкодоступними для проведення якісного очищення, миття та дезінфекції. Металеві молокопроводи обов'язково повинні мати рознімну конструкцію для полегшення санітарної обробки.

Забороняється використання скляних термометрів без спеціальної захисної оправки через високий ризик їх пошкодження та забруднення продукції.

Резервуари для виготовлення та зберігання молока, вершків, сметани та інших молочних продуктів (за винятком обладнання для виробництва сиру)

повинні обладнуватися щільно закриваючими кришками для запобігання потрапляння сторонніх забруднень.

Апарати, ванни та інше технологічне обладнання, в якому виготовляються молочні продукти, повинні підключатися до каналізаційної системи з обов'язковим розривом струменя через спеціальні лійки, обладнані сифонами. Категорично забороняється пряме з'єднання виробничого обладнання з каналізацією без розриву струменя, а також злив води безпосередньо на підлогу приміщення.

При проектуванні виробничих приміщень та монтажі нового обладнання необхідно забезпечити дотримання наступних мінімальних відстаней:

Основні проходи у місцях постійного перебування працюючих повинні мати ширину не менше 1,5 метра для забезпечення комфортного та безпечного переміщення персоналу, а також можливості евакуації у надзвичайних ситуаціях.

Проходи біля віконних прорізів, доступних з рівня підлоги або робочих площадок, повинні становити не менше 1 метра для запобігання випадковим падінням та забезпечення природного освітлення.

Проходи для проведення огляду, налагодження та регулювання апаратів і контрольно-вимірювальних приладів повинні мати ширину не менше 0,8 метра, що дозволяє обслуговуючому персоналу вільно виконувати необхідні операції.

Проходи для візуального огляду трубопроводів та апаратів, які не потребують постійного регулювання, можуть становити не менше 0,7 метра.

Ширина проходів між автоматичними та механізованими виробничими лініями (по їх центральних осях) та головних внутрішньоцехових проїздів повинна становити не менше 2,4 метра для забезпечення можливості використання транспортного обладнання.

Розриви між окремими машинами, верстатами та ємкостями, що розміщені в одному технологічному ряду, повинні становити не менше 0,35 метра для забезпечення доступу при обслуговуванні.

Система освітлення виробничих та допоміжних приміщень молокопереробного підприємства повинна повністю відповідати вимогам СНіП

"Природне і штучне освітлення. Норми проектування" та спеціалізованим санітарним вимогам для підприємств молочної промисловості.

У виробничих цехах найбільш прийнятним та ефективним є природне денне освітлення. Світловий коефіцієнт (СК), що характеризує співвідношення площі світлових прорізів до площі підлоги, повинен перебувати в межах від 1:6 до 1:8. Для побутових приміщень СК може бути дещо меншим - не менше 1:10.

Коефіцієнт природного освітлення (КЕО), що показує відсоток зовнішнього освітлення всередині приміщення, повинен розраховуватися з урахуванням характеру виконуваної роботи та рівня зорового напруження персоналу на конкретних робочих місцях.

При недостатності природного освітлення або в темний час доби обов'язково застосовується штучне освітлення. Переважно рекомендується використання енергоефективних люмінесцентних ламп, які забезпечують рівномірне та комфортне для очей освітлення. У приміщеннях з важкими умовами праці або у зонах, де відсутні постійні робочі місця персоналу, допускається використання традиційних ламп розжарювання.

Система штучного освітлення повинна включати загальне освітлення у всіх цехах та приміщеннях підприємства. У виробничих зонах при необхідності додатково передбачається місцеве освітлення робочих місць або комбінована система освітлення, що поєднує загальне та локальне підсвічування.

Механічні небезпеки є одними з найбільш поширених на молокопереробних підприємствах. До механічних загроз відносяться всі небезпечні ситуації, які можуть виникнути біля будь-якого об'єкта або обладнання, здатного спричинити травму працівника в результаті ненавмисного контакту частин обладнання з тілом людини.

На молокопереробних заводах до потенційно небезпечних механічних елементів в першу чергу належать ланцюгові та пасові передачі приводу технологічного обладнання, відкриті зубчасті передачі, обертові вали та інші рухомі елементи машин. Вимоги безпеки щодо механічних небезпек

регламентуються низкою державних стандартів, зокрема ГОСТ 12.0.003–74, 12.0.002–80, 12.4.125–83 та іншими нормативними документами.

Секції технологічних агрегатів повинні обладнуватися дверима, які легко відкриваються, та спеціальними запобіжними пристроями, що попереджують травматизм персоналу та забезпечують свободу рухів і дій операторів під час виконання виробничих завдань. Для підвищення рівня безпеки встановлюються сучасні системи фотоелектричного блокування, які у випадку виникнення перешкоди на шляху світлового променя автоматично блокують можливість вмикання приводу машини.

Найбільш ефективними запобіжними заходами у цій сфері є створення умов, за яких небезпечні рухомі частини обладнання стають фізично недоступними для персоналу. Це досягається шляхом закриття небезпечних зон спеціальними захисними кожухами або кришками. Додатково застосовуються кінцеві електричні контактні датчики (кінцеві вимикачі), які автоматично припиняють подачу електричного струму на привід обладнання у випадку відкриття або демонтажу захисної кришки чи кожуха, що робить неможливим запуск машини з відкритими небезпечними зонами.

При плануванні розташування стрічкових, роликкових та інших типів конвеєрних транспортерів необхідно дотримуватися спеціальних вимог щодо організації проходів. Відстань між стіною приміщення і однією з поздовжніх сторін транспортера повинна становити не менше 0,7 метра. Якщо два транспортери розміщені паралельно один одному, прохід між ними повинен становити не менше 0,9 метра для забезпечення безпечного переміщення персоналу.

З протилежної сторони транспортера вимоги залежать від ширини стрічки: при ширині стрічки до 60 сантиметрів транспортер може встановлюватися впритул до стіни приміщення; при ширині стрічки понад 60 сантиметрів необхідно передбачити розрив від стіни шириною не менше 0,4 метра для можливості обслуговування та огляду обладнання.

У випадках, коли на транспортерах використовуються перекидні візки або інші виступаючі елементи, ширина проходів повинна бути збільшена з урахуванням максимально виступаючої частини візка для запобігання травмуванню персоналу при русі візків.

5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5.2.1. Фундаментальні завдання забезпечення стабільної роботи переробних підприємств у надзвичайних ситуаціях

Центральним завданням системи цивільної оборони [22, 23] є організація та всебічне забезпечення захисту населення від сучасних засобів ураження, а також від наслідків техногенних аварій, природних катастроф та стихійних лих різного масштабу. Людські ресурси завжди були і залишаються найвищою цінністю будь-якого суспільства, тому забезпечення їхньої безпеки та збереження життя є пріоритетною метою всього комплексу оборонних та захисних заходів на державному рівні.

Досягнення ефективного захисту населення від сучасних засобів нападу та інших загроз реалізується через впровадження цілісного комплексу взаємопов'язаних заходів, спрямованих на максимальне послаблення та нейтралізацію результатів впливу зброї масового ураження. Одночасно створюються сприятливі умови для безпечного проживання та продуктивної діяльності населення, забезпечується безперебійне функціонування об'єктів критичної інфраструктури та сил цивільної оборони при виконанні покладених на них завдань.

До критично важливих захисних заходів належать наступні напрямки діяльності:

Забезпечення всього населення країни захисними спорудженнями різних типів (сховищами, протирадіаційними укриттями, простими укриттями) та сучасними засобами індивідуального захисту органів дихання та шкірних покривів. Це передбачає планомірне будівництво та утримання в постійній

готовності мережі захисних споруд, а також створення необхідних запасів засобів індивідуального захисту для всіх категорій населення.

Проведення загального обов'язкового навчання населення всіх вікових категорій ефективним способом захисту від різних видів зброї масового ураження та правильним діям щодо ліквідації наслідків нападу противника, техногенних аварій, природних катастроф та стихійних лих. Така підготовка повинна мати систематичний характер та включати як теоретичні заняття, так і практичні тренування.

Організація розосередження робітників та службовців підприємств, а також планомірна евакуація населення з великих міст, промислових центрів та зон потенційно можливого катастрофічного затоплення. Цей захід дозволяє значно знизити щільність населення у потенційно небезпечних районах та зменшити можливі втрати.

Комплексне забезпечення життєдіяльності евакуйованого населення, що включає організацію тимчасового розміщення, харчування, медичного обслуговування, підтримання санітарно-гігієнічних умов та забезпечення іншими необхідними ресурсами на безпечних територіях.

Проведення широкомасштабних протиепідемічних, санітарно-гігієнічних, спеціальних профілактичних медичних заходів та надання невідкладної медичної допомоги постраждалим. Це передбачає створення та функціонування мережі медичних формувань, забезпечення їх необхідними медикаментами та обладнанням.

В інтересах максимального захисту населення додатково організовуються та систематично проводяться такі критично важливі заходи: спеціалізована розвідка потенційних та реальних загроз, оперативне оповіщення населення про повітряну небезпеку, про радіаційне, хімічне та біологічне зараження територій, про загрозу катастрофічного затоплення, а також цілий ряд інших специфічних заходів, що належать до різних функціональних груп завдань цивільного захисту.

Надзвичайно важливою групою завдань цивільної оборони є забезпечення стійкого та безперервного функціонування всіх галузей народного господарства в

різноманітних надзвичайних ситуаціях як мирного, так і воєнного часу. Здатність економіки країни продовжувати виробничу діяльність в екстремальних умовах є запорукою виживання та відновлення суспільства.

Стабільна та безперебійна робота підприємств агропромислового комплексу має стратегічне значення, оскільки дозволяє забезпечити населення країни достатньою кількістю основних продуктів харчування, а промисловість - необхідною сировиною для подальшої переробки та виробництва різноманітної продукції.

Підвищення стійкості роботи об'єктів агропромислового комплексу та підприємств переробної промисловості досягається через завчасне, планомірне проведення комплексу різноспрямованих заходів: організаційних, інженерно-технічних, агротехнічних, зооветеринарних та інших спеціалізованих заходів. Всі ці заходи спрямовані на максимальне зниження негативних результатів впливу зброї масового ураження на об'єкти інфраструктури, а також на створення оптимальних умов для швидкої та ефективної ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та забезпечення безперервного виробництва доброякісної та безпечної харчової продукції.

Першорядне значення в підвищенні стійкості роботи переробного підприємства має правильна організація надійного та всебічного захисту людей (працівників підприємства), сировини для виробництва, технологічного обладнання та продуктів переробки від впливу різноманітних шкідливих факторів. Паралельно необхідно забезпечити стійке та безперервне керування всіма службами та силами цивільної оборони об'єкта, а також організувати ефективну систему робіт з ліквідації наслідків можливого нападу противника та швидкого відновлення нормальної виробничої діяльності підприємства.

На стійкість роботи об'єктів народного господарства в умовах різноманітних надзвичайних ситуацій впливає широкий спектр взаємопов'язаних факторів:

Рівень надійності захисту робітників та службовців від дії уражуючих факторів різної природи. Це включає наявність та готовність захисних споруд,

забезпеченість засобами індивідуального захисту, підготовленість персоналу до дій в екстремальних умовах.

Здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти в певній мірі ударній хвилі, світловому випроміненню та проникаючій радіації. Конструктивна міцність будівель, споруд та обладнання визначає ступінь їх пошкодження при впливі уражуючих факторів.

Рівень захищеності об'єкта від вторинних уражуючих факторів, таких як масштабні пожежі, вибухи паливних та інших небезпечних речовин, зараження території отруйними хімічними речовинами та радіоактивними матеріалами. Вторинні фактори часто завдають більшої шкоди, ніж первинне ураження.

Надійність та стабільність системи забезпечення об'єкта всіма необхідними ресурсами для безперервного виробництва продукції: сировиною належної якості, паливом, комплектуючими виробами та запасними частинами, електричною енергією, водою, природним або зрідженим газом. Диверсифікація джерел постачання підвищує стійкість виробництва.

Стійкість та безперервність управління виробничим процесом та системою цивільної оборони підприємства. Надійні системи зв'язку та дублювання управлінських функцій забезпечують координацію дій в екстремальних ситуаціях.

Рівень підготовленості об'єкта до швидкого ведення рятувальних та невідкладних аварійно-відновлювальних робіт, а також робіт з відновлення порушеного виробничого процесу. Це включає наявність підготовлених формувань, необхідного обладнання та матеріалів.

Перераховані вище фактори визначають основні, універсальні для всіх об'єктів народного господарства шляхи підвищення стійкості роботи в надзвичайних ситуаціях:

Забезпечення максимально надійним та ефективним захистом робітників і службовців від дії всіх можливих уражуючих факторів. Це досягається через комплекс технічних та організаційних заходів.

Комплексний захист основних виробничих фондів від уражуючих факторів шляхом підвищення конструктивної міцності, створення резервних потужностей, диверсифікації виробничих площадок.

Підвищення надійності та оперативності управління виробничим процесом через створення дублюючих систем управління, забезпечення стійкого зв'язку, підготовку резервних управлінських пунктів.

Завчасна підготовка до швидкого відновлення порушеного виробництва, що включає створення резервів матеріалів та обладнання, підготовку спеціалізованих бригад, розробку детальних планів відновлювальних робіт.

5.2.2. Аналіз потенційних небезпек та розробка заходів підвищення стійкості проти аварій природного та техногенного характеру на підприємстві ЗАТ "Тернопільський молокозавод"

Виробнича діяльність на молокозаводі ЗАТ "Тернопільський молокозавод" пов'язана з декількома категоріями потенційних небезпек, які потребують детального аналізу та розробки відповідних захисних заходів.

Небезпека радіаційного зараження території та продукції в мирний час внаслідок суттєвої географічної віддаленості об'єктів ядерної енергетики від розташування підприємства є малоімовірною та не розглядається як пріоритетна загроза в поточних умовах функціонування.

Значно більш актуальною та реальною є небезпека, спричинена можливим впливом сильнодіючих отруйних речовин (СДОР). Ця загроза є особливо актуальною внаслідок високої концентрації в межах міста та прилеглих територіях численних промислових об'єктів різного профілю, які використовують у своєму виробничому циклі потенційно небезпечні хімічні речовини.

Основними причинами виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних з хімічним зараженням, є неконтрольовані викиди в атмосферу продуктів функціонування промислових виробництв (що перебувають під контролем місцевих екологічних служб та інспекцій) та руйнування або розгерметизація

місткостей з отруйними речовинами на промислових підприємствах внаслідок аварій, стихійних лих або інших надзвичайних ситуацій.

Найбільш поширеним типом сильнодіючої отруйної речовини, що активно застосовується на підприємствах харчової промисловості, є аміак, який широко використовується в холодильних установках для виробництва штучного холоду та підтримання необхідних температурних режимів зберігання продукції.

Токсикологічні характеристики. Аміак належить до 4-го ступеня токсичності, що свідчить про його високу небезпеку для здоров'я та життя людини.

Фізико-хімічні властивості. Аміак являє собою безбарвний газ з різким, їдким запахом, який легко розпізнається навіть у незначних концентраціях. За щільністю аміак легший за повітря, що призводить до його швидкого підйому та розповсюдження у верхніх шарах атмосфери. Аміак добре розчиняється у воді, утворюючи нашатирний спирт. При викиді у атмосферу спостерігається характерне димлення, що полегшує візуальне виявлення витоку.

Вибухо- та пожежонебезпечні властивості. Аміак є горючим газом, який загоряється при наявності відкритого джерела вогню або іскри. При сильному нагріванні балони або ємності з аміаком можуть вибухати з великою руйнівною силою. Пари аміаку при змішуванні з повітрям у певних концентраційних межах утворюють вибухонебезпечні суміші, що становить додаткову загрозу при аваріях.

Небезпека для здоров'я людини. Аміак надзвичайно небезпечний при вдиханні. При високих концентраціях можливий швидкий летальний результат внаслідок гострого отруєння. Навіть при помірних концентраціях виникає сильний кашель та задуха, що може призвести до асфіксії. Пари аміаку діють подразливо на слизові оболонки дихальних шляхів, очей та шкірний покрів. Прямий контакт рідкого аміаку зі шкірою викликає обмороження та хімічні опіки значної тяжкості.

Клінічна картина ураження. При отруєнні аміаком спостерігаються наступні симптоми: прискорене серцебиття (тахікардія), порушення нормальної

частоти та ритму пульса, відчуття "приливів" крові до голови, інтенсивний насморк з виділеннями, надсадний кашель, значне утруднення дихання та задишка, почервоніння та сильний свербіж шкірних покривів, різкий біль та слезотеча в очах.

Засоби індивідуального захисту. Для захисту органів дихання від аміаку застосовуються: ізолюючі протигази повного захисту, фільтруючі протигази марки КД (коробки темно-сірого кольору), спеціалізовані респіратори типу РПГ-67-КД. Для захисту тіла необхідний спеціальний захисний одяг, гумові чоботи та перчатки, що запобігають контакту шкіри з отруйною речовиною.

Заходи з дегазації та нейтралізації. При виявленні витoku аміаку необхідно негайно усунути всі можливі джерела відкритого вогню та іскроутворення. Для запобігання глибокому розповсюдженню хмари аміаку в атмосфері використовують постановку водяних завіс за допомогою пожежних машин, мотопомп та іншого обладнання. Вода ефективно поглинає аміак, зменшуючи його концентрацію в повітрі. Пошкоджені балони з аміаком необхідно обережно опрокинути у ємність з великою кількістю води для нейтралізації.

Безпечне функціонування об'єктів народного господарства в умовах хімічної небезпеки залежить від численних взаємопов'язаних чинників, які потребують постійного моніторингу та контролю.

До основних факторів належать: фізико-хімічні властивості сировини, напівпродуктів та кінцевої продукції; особливості та складність технологічного процесу виробництва; якість конструкції та реальна надійність технологічного обладнання під час експлуатації; дотримання вимог щодо умов зберігання та транспортування хімічних речовин; технічний стан та точність контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації виробництва; ефективність функціонування засобів протиаварійного захисту.

Крім технічних аспектів, безпека виробництва, використання, зберігання та транспортування СДОР у значній мірі залежить від організаційних факторів: рівня організації систематичної профілактичної роботи на підприємстві; своєчасності та належної якості проведення планово-попереджувальних та

капітальних ремонтних робіт; кваліфікаційної підготовленості персоналу та наявності практичних навичок дій в аварійних ситуаціях; ефективності системи технічного нагляду за станом обладнання та засобів протиаварійного захисту.

Наявність такої великої кількості різноманітних чинників, від яких безпосередньо залежить безпечне функціонування хімічно небезпечних об'єктів, робить проблему забезпечення безпеки надзвичайно складною та багатоаспектною. Детальний аналіз причин великих промислових аварій, що супроводжувалися масштабними викидами СДОР та призводили до численних жертв, показує, що на сьогоднішній день неможливо повністю виключити ймовірність виникнення аварійних ситуацій, які можуть призвести до ураження виробничого персоналу та населення прилеглих територій.

Аналіз організаційної структури підприємств, що виробляють або активно споживають значні обсяги СДОР, демонструє, що в їхніх безперервних технологічних лініях обертається, як правило, порівняно незначна кількість токсичних хімічних продуктів, необхідних для поточного виробничого процесу. Значно більша за обсягом кількість СДОР зосереджена на спеціалізованих складах підприємств у великих стаціонарних ємностях або балонах під тиском.

Така особливість розподілу хімічних речовин на підприємстві призводить до того, що при аваріях у виробничих цехах в переважній більшості випадків має місце локальне, обмежене зараження повітря робочої зони, обладнання цехів та прилеглої території підприємства. При таких сценаріях ураження отримує переважно виробничий персонал, що знаходиться безпосередньо в зоні аварії або поблизу неї.

При організації та проведенні робіт з ліквідації хімічно небезпечної аварії на підприємстві та її наслідків необхідно комплексно оцінювати не тільки фізико-хімічні та токсикологічні властивості конкретної СДОР, але також і їх вибухо- та пожежонебезпечність, аналізувати можливість утворення в ході розвитку пожежі нових, ще більш небезпечних СДОР внаслідок термічного розкладання або хімічних реакцій. На основі такого комплексного аналізу приймаються

обґрунтовані та ефективні рішення щодо захисту персоналу, що бере участь у аварійно-рятувальних роботах.

Для будь-якої аварійної ситуації на хімічно небезпечному об'єкті характерні три основні стадії: виникнення аварії, розвиток небезпеки з досягненням піку та поступовий спад небезпечних факторів. На хімічно небезпечних об'єктах у розпал аварійної ситуації можуть одночасно діяти, як правило, декілька різноманітних уражуючих факторів - інтенсивна пожежа з високими температурами, серія вибухів, хімічне зараження місцевості та повітряного басейну, радіаційне забруднення та інші небезпечні явища.

Дія сильнодіючих отруйних речовин через органи дихання частіше, ніж через інші можливі шляхи впливу (шкіра, травний тракт), призводить до масового ураження людей, оскільки інгаляційний шлях потрапляння токсинів є найбільш швидким та небезпечним.

З урахуванням специфічних особливостей хімічно небезпечних аварій впливає, що захисні заходи, і насамперед прогнозування можливих сценаріїв розвитку аварії, оперативне виявлення факту виникнення аварії, періодичний та безперервний контроль за динамічними змінами хімічної обстановки, швидке та чітке оповіщення всього персоналу підприємства про небезпеку, повинні проводитися з надзвичайно високою оперативністю та ефективністю.

Локалізація джерела надходження СДОР у навколишнє середовище має абсолютно вирішальну роль у попередженні масової ураження людей та екологічної катастрофи. Швидке та професійне виконання цього критично важливого завдання може спрямувати розвиток аварійної ситуації у контрольоване русло, суттєво зменшити обсяги викиду СДОР в атмосферу та істотно знизити економічні збитки від аварії.

Захист населення та персоналу від сильнодіючих отруйних речовин являє собою складний комплекс взаємопов'язаних заходів, які здійснюються з метою повного виключення або максимального послаблення ураження персоналу та збереження його працездатності для подальшої участі в ліквідації наслідків аварії.

Всеосяжний комплекс заходів по захисту від СДОР включає наступні основні напрямки діяльності:

Впровадження інженерно-технічних заходів щодо безпечного зберігання та використання СДОР, що включає застосування сучасних технологій та обладнання.

Завчасна підготовка, навчання та оснащення спеціалізованих сил і засобів для професійної ліквідації хімічно небезпечних аварій різного масштабу.

Систематичне вивчення персоналом підприємства встановленого порядку та детальних правил поведінки в умовах виникнення та розвитку аварійних ситуацій з викидом СДОР.

Своєчасне забезпечення всього персоналу сучасними засобами індивідуального захисту (протигази, респіратори, захисний одяг) та обладнання підприємства засобами колективного захисту (сховища, герметизовані приміщення).

Організація надійного забезпечення безпеки людей та навчання правильному використанню засобів індивідуального і колективного захисту в екстремальних умовах.

Здійснення повсякденного інструментального хімічного контролю за станом повітряного середовища на підприємстві та прилеглих територіях.

Проведення регулярного прогнозування зон можливого хімічного зараження при різних сценаріях аварій з урахуванням метеорологічних умов.

Організація ефективної системи попередження (оповіщення) персоналу та населення про безпосередню загрозу ураження СДОР.

Планування та при необхідності здійснення тимчасової евакуації людей з районів, що опинилися під загрозою хімічного зараження.

Проведення оперативної хімічної розвідки району аварії для визначення меж зараження та концентрацій СДОР.

Організація швидкого пошуку постраждалих та надання їм кваліфікованої медичної допомоги на місці та в медичних закладах.

Здійснення заходів з локалізації джерела викиду та повної ліквідації наслідків аварії.

Конкретний обсяг та детальний порядок здійснення заходів по захисту залежать від реальної обстановки, що може скластися в результаті хімічно небезпечної аварії, наявності часу для підготовки, достатності сил і засобів для здійснення захисних заходів та багатьох інших специфічних чинників.

Передусім комплексний захист від СДОР організується і систематично здійснюється безпосередньо на хімічно небезпечному об'єкті, де основну увагу приділяється превентивним заходам по попередженню можливих аварій. Ці заходи носять як організаційний, так і інженерно-технічний характер і спрямовані на своєчасне виявлення та повне усунення потенційних причин аварій, максимальне зниження можливих пошкоджень обладнання та людських втрат, а також на створення оптимальних умов для швидкого та ефективного проведення локалізації та ліквідації можливих наслідків аварійної ситуації.

Всі перераховані заходи детально відображаються в спеціальному плані захисту об'єкту від СДОР, який розробляється завчасно з обов'язковою участю всіх головних фахівців підприємства (головного інженера, головного технолога, головного енергетика, головного механіка, начальника служби охорони праці). План розробляється, як правило, у текстовій формі з обов'язковим додатком необхідних схем, креслень та графіків, що детально показують розміщення підрозділів об'єкту, сил та засобів ліквідації наслідків аварії, їх організаційну структуру, систему управління тощо.

У розділі організаційних заходів плану захисту від СДОР детально відображаються наступні аспекти:

Повна характеристика об'єкту, його виробничих підрозділів (цехів, дільниць, складів), детальний перелік та кількісні показники всіх СДОР, наявних на об'єкті, їх фізико-хімічні та токсикологічні властивості.

Детальна оцінка можливої аварійної обстановки на об'єкті у випадку виникнення аварії різного масштабу з урахуванням найгірших сценаріїв розвитку подій.

Організація системи виявлення та безперервного контролю хімічної обстановки на об'єкті в повсякденних умовах та при виникненні аварії, порядок підтримування сил і засобів хімічної розвідки та інструментального хімічного контролю в постійній готовності.

Детальна організація системи оповіщення всього персоналу об'єкту про виникнення аварії в робочий та неробочий час, перелік сигналів та порядок дій.

Організація системи укриття персоналу об'єкту в наявних захисних спорудженнях, порядок їх обслуговування та підтримання в постійній готовності до швидкого прийому людей.

Організація планової евакуації персоналу об'єкту при виникненні такої необхідності, визначення маршрутів та пунктів збору.

Порядок оснащення, підготовки та застосування невоєнізованих формувань цивільної оборони на об'єкті для ефективної ліквідації наслідків аварії.

Організація оперативного оцеплення осередку ураження для запобігання проникнення сторонніх осіб, порядок надання кваліфікованої медичної допомоги постраждалим, перелік сил і засобів медичного забезпечення.

Організація чіткої системи управління всіма силами і засобами об'єкту при ліквідації аварії та її наслідків, порядок ефективного використання зовнішніх сил і засобів, що прибувають для надання допомоги.

Встановлений порядок та форма подання термінових повідомлень про виникнення хімічно небезпечної аварії до відповідних органів та постійного інформування про хід ліквідації її наслідків.

Організація своєчасного забезпечення персоналу об'єкту та формувань цивільної оборони необхідними засобами індивідуального захисту та спеціальним обладнанням для ліквідації наслідків аварії, встановлені порядок і терміни їхнього накопичування та правильного зберігання.

Організація надійного транспортного, енергетичного та матеріально-технічного забезпечення всіх робіт по ліквідації наслідків аварії.

У розділі інженерно-технічних заходів плану захисту від СДОР детально відображаються:

Розміщення та технічне обладнання автоматичних приладів та систем, що попереджають або обмежують вилив СДОР у випадку виникнення аварійної ситуації (швидкодіючі клапани-відсікачі, клапани надлишкового тиску для скидання надмірного тиску, терморегулятори для контролю температурного режиму, перепускні та аварійні скидні прилади).

Планове конструктивне підсилення міцності ємностей та технологічних комунікацій зі СДОР або влаштування над ними надійних захисних огорож для запобігання їх пошкодження уламками будівельних конструкцій при можливій аварії (особливо актуально на пожежо- та вибухонебезпечних виробництвах).

Розміщення або будівництво під основними сховищами зі СДОР додаткових аварійних резервуарів, спеціальних збірних чаш, уловлювачів (аварійних обвалованих амбарів) та напрямлених стоків для збору та локалізації розливої речовини.

Раціональний розподіл запасів СДОР по території підприємства, будівництво для їх зберігання спеціальних заглиблених або напівзаглиблених сховищ підвищеної міцності, що зменшує ймовірність їх руйнування.

Обладнання виробничих приміщень та промислових майданчиків стаціонарними автоматичними системами раннього виявлення аварій, сучасними засобами метеорологічних спостережень та потужними системами звукової та світлової аварійної сигналізації.

Планом захисту детально передбачаються також конкретні практичні заходи по швидкому усуненню аварій на кожній технологічній ділянці, де присутні СДОР, з обов'язковим вказанням персонально відповідальних виконавців з числа керівного складу об'єкту, чітким переліком залучених сил і засобів, детальним описом їхніх конкретних задач та встановленням реалістичного часу, відведеного на виконання запланованих робіт.

План захисту об'єкту від СДОР є динамічним документом, який по мірі необхідності підлягає перегляду та коригуванню з урахуванням змін у технологічному процесі, заміни обладнання, зміни обсягів зберігання СДОР, появи нових засобів захисту та ліквідації аварій.

Слід особливо відзначити, що реальна ефективність всіх перерахованих організаційних та інженерно-технічних заходів захисту від СДОР безпосередньо залежить від ступеня практичної підготовки до захисту всіх сил і засобів, призначених для ліквідації наслідків можливої аварії, включаючи регулярне проведення навчань та тренувань.

Заздалегідь розроблені та затверджені схеми оповіщення повинні чітко визначати порядок та послідовність оповіщення всього персоналу об'єктів як в робочий час (коли всі працівники знаходяться на своїх робочих місцях), так і в неробочий час (вихідні, святкові дні, нічний час), коли більшість працівників знаходяться вдома.

Для оперативного оповіщення персоналу працюючої зміни об'єкту, на якому відбулася аварійна ситуація, ефективно використовуються потужні електричні сирени різних тонів, розгалужена радіотрансляційна мережа для передачі голосових повідомлень і конкретних вказівок та внутрішній багатоканальний телефонний зв'язок для зв'язку між підрозділами.

5.2.3. Підсумкові висновки та рекомендації

Всі детально описані в даному розділі сучасні способи та технічні засоби захисту від надзвичайних ситуацій повинні систематично впроваджуватися у практику роботи всіх типів переробних підприємств харчової промисловості. При впровадженні необхідно обов'язково враховувати специфічний характер використовуваних на конкретному підприємстві сильнодіючих отруйних речовин, особливості технологічних процесів та місцеві умови.

Головною метою комплексного впровадження цих заходів є забезпечення максимальної надійності та стабільності роботи підприємств в екстремальних умовах різноманітних надзвичайних ситуацій, захист життя та здоров'я працівників, збереження матеріальних цінностей та швидке відновлення нормального функціонування виробництва після ліквідації наслідків аварій.

Висновки

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження робочих процесів у пластинчастому теплообміннику для пастеризаційної установки молокопереробного підприємства. На основі виконаних теоретичних, розрахункових та експериментальних досліджень отримано наступні результати:

Проведено детальний аналіз параметрів руху робочого середовища в міжпластинному каналі пластинчастого теплообмінника з використанням CFD-моделювання. Досліджено розподіл швидкісних полів, вихровості потоку та параметрів тиску для трьох конструктивних варіантів каналів, що дозволило встановити оптимальну геометрію для інтенсифікації теплообміну.

Встановлено, що модуль швидкості потоку у всіх досліджуваних варіантах стабілізується в межах 1,95–1,97 м/с, що забезпечує однакову інтенсивність конвективного теплоперенесення та свідчить про коректність підбору гідравлічних параметрів системи. Така стабільність є критично важливою для забезпечення рівномірної теплової обробки молочної продукції.

Аналіз осьової швидкості виявив наявність як додатних (до +0,4958 м/с), так і від'ємних (до -0,4989 м/с) значень, що підтверджує формування складної структури потоку з вторинними течіями. Перший конструктивний варіант продемонстрував найбільш симетричний і збалансований розподіл осьових швидкостей, що забезпечує ефективний поздовжній перенос теплоносія при помірних гідравлічних втратах.

Дослідження нормальної та радіальної складових швидкості показало наявність інтенсивних вторинних рухів з амплітудою до $\pm 0,5$ м/с, які сприяють активному руйнуванню теплового прикордонного шару та інтенсифікації теплообміну. Третій конструктивний варіант характеризується оптимальним поєднанням амплітуди вторинних рухів та рівномірності розподілу потоку, що знижує непродуктивні гідравлічні втрати.

Тангенціальна складова швидкості в діапазоні 1,952–1,974 м/с демонструє формування закручених вторинних течій, які істотно впливають на інтенсивність

теплообміну. Оптимальним з інженерної точки зору є середнє значення 1,961 м/с, що забезпечує ефективну турбулізацію потоку без надмірного зростання гідравлічного опору та енергетичних витрат.

Вихровість потоку, що варіюється від 0,037 до 1966 с^{-1} , є ключовим показником інтенсивності турбулізації та змішування. Третій конструктивний варіант демонструє оптимальне поєднання достатньо високого рівня вихровості для ефективного теплообміну з помірними гідравлічними втратами, що підвищує загальну енергоефективність установки.

Аналіз розподілу відносного тиску виявив, що третій варіант характеризується найменшими екстремумами перепадів тиску та найбільш рівномірним полем розподілу, що свідчить про стабільний гідравлічний режим роботи та мінімізацію зон підвищеного опору.

На основі комплексного порівняльного аналізу всіх досліджуваних параметрів встановлено, що третій конструктивний варіант є оптимальним для промислового застосування. Він забезпечує найкращий баланс між ефективною інтенсифікацією теплообміну за рахунок розвинених вторинних і тангенціальних течій, помірними гідравлічними втратами та стабільністю основного потоку теплоносія.

Розроблено рекомендації з технічної експлуатації теплообмінного обладнання молокопереробних підприємств, включаючи систему санітарної обробки, графіки планово-попереджувального ремонту та вимоги до контролю якості миття обладнання, що забезпечує безпечність та якість готової продукції.

Сформульовано вимоги охорони праці та техніки безпеки при експлуатації пастеризаційної установки з пластинчастим теплообмінником, включаючи захист персоналу від термічних опіків, ураження електричним струмом, механічних травм та вібраційних впливів відповідно до чинних нормативних документів.

Розроблено комплекс заходів безпеки у надзвичайних ситуаціях для молокопереробного підприємства, зокрема план дій при аваріях з викидом аміаку з холодильних установок, систему оповіщення персоналу, порядок евакуації та

забезпечення засобами індивідуального захисту, що підвищує загальний рівень промислової безпеки об'єкта.

Практична значущість роботи полягає в можливості безпосереднього впровадження отриманих результатів при проектуванні нових та модернізації існуючих пастеризаційних установок молокопереробних підприємств. Застосування оптимізованої конструкції міжпластинного каналу дозволить підвищити теплотехнічну ефективність установки на 8-12% при зниженні енергетичних витрат на 5-7%.

Виконані дослідження дозволили науково обґрунтувати та експериментально підтвердити оптимальні конструктивні та режимні параметри пластинчастого теплообмінника пастеризаційної установки, що забезпечують максимальну енергоефективність процесу теплообміну при дотриманні санітарно-гігієнічних вимог до обладнання харчових виробництв та норм промислової безпеки.

Перелік посилань

1. Колцун В.В. Напрями модернізації потокової лінії пастеризації молока для підприємств малої продуктивності. Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів (Тернопіль, 11–12 груд. 2025 р.). Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 93. (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).
2. Машкін М.І., Париш Н.М. Технологія молока і молочних продуктів. Київ: НУХТ, 2006. 351 с.
3. Єресько Г. О., Шинкарик М. М., Ворощук В. Я. Технологічне обладнання молочних виробництв : навчальний посібник. Київ : ЦНЛ, 2007. 337 с.
4. Бабанов І.Г. та ін. Інноваційне обладнання молокопереробних підприємств. Київ: ТОВ «ІНКОС», 2019. 718 с.
5. Закалов О. В., Закалов І. О. Технологічне обладнання харчових виробництв. Тернопіль, 2000. 408 с.
6. Ворощук В. Я., Вітенько Т. М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. 164 с.
7. Development of digital twin interface for Industry 4.0 production line / Y. Skorenkyu et al. CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3742. P. 358–369.,
8. Железняк І.О., Косенко В.В.; за ред. Косенка В.В. Основи наукових досліджень. Суми: СумДПУ ім. А.С. Макаренка, 2014. 284 с.
9. Грищенко І.М., Григоренко О.М., Борисейко В.А. Основи наукових досліджень. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2001. 124 с.
10. Білуха М.Т. Методологія наукових досліджень. Київ: АБУ, 2002. 480 с.
11. Weber M., Verma G. SolidWorks Simulation 2017 Black Book. CAD/CAM/CAE Works, 2016. 362 p.
12. Almatarr T. Learn SolidWorks 2022. 2nd ed. Packt, 2022. 676 p.
13. Tran P. Certified SOLIDWORKS Professional Advanced Preparation Material. SDC Publications, 2018. 288 p.

- 14.Ворощук В.Я., Вітенько Т.М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. 164 с.
15. Kurowski P.M. Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2018. USA: SDC Publications, 2018. 597 p.
16. Systemes D. Theoretical Manual SolidWorks Simulation. Dassault Systemes, 2015. 114 p.
17. Самойчук К.О. та ін. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник. Київ: ПрофКнига, 2020. 428 с.
18. Ялпачик В.Ф. та ін. Розрахунки обладнання харчових виробництв: навчальний посібник. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2014. 264 с.
19. Панченко В.О. та ін. Монтаж, експлуатація та ремонт гідромашин і гідропневмоприводів. Суми: СумДУ, 2015. 151 с.
- 20.Ткачук К.Н. та ін. Основи охорони праці: підручник. 2-ге вид. Київ: Основа, 2006. 448 с.
- 21.Одарченко М.С. та ін. Основи охорона праці. Харків: Стиль-Издат, 2017. 334 с.
- 22.Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях: методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 156 с.
- 23.Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Тернопіль: ФОП Паляниця.

Додатки

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Краківський економічний університет (Польща)
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет «Опольська Політехніка» (Польща)
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Вінницький національний аграрний університет
Львівський національний університет ім. І. Франка
Головне управління Пенсійного фонду в Тернопільській області
Наукове товариство ім. Шевченка
Тернопільський обласний комунальний інститут післядипломної педагогічної освіти
Сумський державний педагогічний університет
Запорізький національний університет

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

**XIV Міжнародної науково-технічної
конференції молодих учених та студентів
11-12 грудня 2025 року**



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2025**

14.	В.Я. Гаврилюк, Р.Р. Зварич ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ		68
15.	А.В. Гагалоук, В.С. Нікітюк АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЕЛ З ЦЕНТРАЛЬНИМ ТВЕРДОСПЛАВНИМ НАКОНЕЧНИКОМ ДЛЯ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ ГЛИБИНОЮ 8×D		69
16.	О. С. Галенда СПЕЦИФІКА ОБРОБЛЕННЯ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ ФАСОННИМИ ПРОТЯЖКАМИ		71
17.	І. Гевко, Т. Довбуш, В. Бучинський СИНТЕЗ СУШИЛЬНИХ УСТАНОВОК З МІКРОХВИЛЬОВИМИ ОБ'ЄМНИМИ НАГРІВАЧАМИ		72
18.	І. Гевко, А. Брикса, А. Никитюк РОЗРОБЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗМІШУВАЧІВ		74
19.	С.М. Паньків, І. І. Головач, А.О.Скоропляс АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ДЛЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОНВЕЄРІВ		76
20.	І. С. Ділич, В. В. Андрушків, Б. В. Назаревич РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ		77
21.	І.О. Захаревич, Т.О. Ілюк ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВИСОТНОГО КОМПЛЕКСУ		80
22.	А.В. Гагалоук, М.Ю. Івасечко АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІКИ ТА ТОЧНОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ СТОЛІВ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ		81
23.	В.В.Калінчук, П.В.Калінчук, С.В. Коретчук, Б.П. Филипович, Т.Г. Чаплинська ІНТЕГРОВАННИЙ АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ РЕКОНСТРУКЦІЇ, ПІДСИЛЕННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СУЧАСНИХ БУДІВЕЛЬ		83
24.	Ю.Б. Капацила, М.С. Стефанчук, С.Б. Кіт ОГЛЯД ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА		84
25.	І.В. Карп АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ		86
26.	Т. О. Карпюк ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ПЕЧЕЙ		88
27.	О.С. Кобельник, В.І. Оліховський, В.Р. Кобельник ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗМІНИ ПОДАЧІ ПРИ СВЕРДЛІННІ НАСКРІЗНИХ ОТВОРІВ		90
28.	В.В. Коліун НАПРЯМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОТОКОВОЇ ЛІНІЇ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ		93

2. Кривий П. Д., Кобельник В.Р., Кузьмін М.І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. *Вісник ТНТУ : Науковий журнал.*: Тернопіль : ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.
3. Оліховський В.І., Кобельник В.Р. Механізм для забезпечення первної подачі шпинделя верстата. Матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (27–28 квітня 2023 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2023. С. 242 – 243.
4. Оліховський В., Кобельник В. Пристрої для свердління наскрізних отворів. Матеріали VII Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (25–26 квітня 2024 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2024. С. 278 – 279.
5. Пат. 33445 Україна, МПК В 23 В 47/00. Механізм подач свердлильного верстату / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І.; заявник та патентовласник Терн. нац. тех. універ. ім. І. Пулюя. – № 200801364; заяв. 04.02.2008; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 8.
6. Пат. 77698 Україна, МПК (2013.01) В 23 В 47/00. Пристрій для свердління наскрізних отворів / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І.; заявники і патентовласники Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І. № u201209347; заявл. 30.07.2012; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4.

УДК 637.1.02

В.В. Колцун

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

НАПРЯМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОТОКОВОЇ ЛІНІЇ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

V.V. Koltsun

DIRECTIONS FOR MODERNISING THE MILK PASTEURISATION FLOW LINE FOR SMALL-SCALE PRODUCTION ENTERPRISES

Підприємства невеликої продуктивності з переробки молока становлять значну частину молокопереробної галузі України. Однак вони часто стикаються з проблемою обмежених технологічних можливостей поточкових ліній пастеризації, що знижує їхню конкурентоспроможність та гнучкість виробництва. Розширення функціональності існуючого обладнання є економічно доцільним рішенням, яке дозволяє підвищити ефективність виробництва без значних капітальних інвестицій.

Сучасні ринкові умови вимагають від малих молокопереробних підприємств здатності швидко адаптуватися до змін у попиті споживачів, впроваджувати нові види продукції та забезпечувати стабільно високу якість. При цьому обмежені фінансові ресурси не завжди дозволяють здійснювати повну заміну виробничих ліній, що робить модернізацію існуючого обладнання оптимальною стратегією розвитку. Особливо це актуально для сільських підприємств, які відіграють важливу роль у переробці місцевої сировини та забезпеченні зайнятості населення.

Встановлення сучасних контролерів та датчиків дозволяє точно контролювати температурні режими, тиск та час витримки продукту. Система SCADA забезпечує візуалізацію процесу в реальному часі, автоматичне регулювання параметрів та ведення електронних журналів, що підвищує якість готової продукції та спрощує дотримання санітарних норм.

Перехід до модульної побудови лінії дозволяє легко змінювати конфігурацію залежно від потреб виробництва. Можливість швидкого демонтажу окремих секцій для

очищення або заміни скорочує час простою обладнання. Модульна конструкція передбачає використання стандартизованих з'єднань, що дозволяє комбінувати різні елементи лінії без складних інженерних рішень та мінімізує потребу у спеціалізованому монтажному інструменті.

Додавання нових модулів (гомогенізатора, деаератора, системи стандартизації) розширює асортимент продукції без повної заміни лінії. Гомогенізатор забезпечує рівномірний розподіл жирових кульок, що покращує органолептичні властивості молока та запобігає відстоюванню вершків. Деаератор видаляє розчинені гази, що подовжує термін зберігання продукції та покращує її смакові характеристики. Система стандартизації дозволяє точно регулювати жирність та інші показники, забезпечуючи стабільність якості готової продукції.

Модульна система дозволяє швидко переналаштовувати лінію для виробництва різних видів продукції протягом однієї зміни. Наприклад, вранці може оброблятися молоко для роздрібного продажу, а після обіду – сировина для виробництва сиру або йогуртів. Така гнучкість особливо цінна для малих підприємств, які працюють з обмеженими обсягами кожного виду продукції.

Впровадження системи рекуперації тепла дозволяє використовувати теплову енергію пастеризованого молока для попереднього підігріву сирого, що знижує енерговитрати на 30-40%. Встановлення частотних перетворювачів на електродвигунах насосів оптимізує споживання електроенергії. Теплова ізоляція трубопроводів та теплообмінників мінімізує втрати тепла в навколишнє середовище.

Використання пластинчастих теплообмінників з можливістю швидкої зміни пакетів пластин дозволяє адаптувати обладнання під різні продуктивності та види продукції. Сучасні конструкції забезпечують можливість проведення не тільки пастеризації, а й охолодження, підігріву та регенерації тепла в одному апараті. Різні типи пластин (з різною геометрією каналів) оптимізують теплообмін для продуктів різної в'язкості, від знежиреного молока до вершків з високим вмістом жиру.

Можливість швидкої зміни конфігурації пакета пластин дозволяє обробляти на одній лінії як низькожирні, так і високожирні продукти, молоко різних видів тварин (коров'яче, козяче, овече), а також рідкі молочні суміші для виробництва йогуртів або десертів. Це розширює можливості підприємства без додаткових інвестицій в окреме обладнання.

Автоматизована мийка без розбирання обладнання значно скорочує час на санітарну обробку лінії з 3-4 годин до 40-60 хвилин. Це дозволяє збільшити ефективний час роботи обладнання та знижує витрати води та миючих засобів на 20-25%. Програмоване керування забезпечує стабільну якість мийки та дезінфекції.

Підключення сепараторів-нормалізаторів дозволяє отримувати молоко різної жирності з однієї сировини. Встановлення гомогенізатора покращує консистенцію та подовжує термін зберігання продукції. Додавання системи дозування вітамінів або функціональних добавок розширює асортимент продукції з доданою вартістю.

Впровадження систем збору та аналізу даних (IoT) дозволяє відстежувати ключові показники ефективності обладнання, прогнозувати потребу в обслуговуванні та оптимізувати виробничі графіки. Підключення до хмарних сервісів забезпечує віддалений моніторинг та діагностику обладнання, що особливо важливо для підприємств з обмеженим штатом технічних спеціалістів.

Модернізація існуючого обладнання вимагає інвестицій у 3-5 разів менших, ніж придбання нової лінії, при цьому дозволяючи підвищити продуктивність на 15-25% та знизити собівартість продукції на 10-15%. Термін окупності таких проектів зазвичай становить 1,5-2,5 роки. Особливо ефективним є поетапне впровадження удосконалень, що дозволяє розподілити інвестиції в часі та мінімізувати фінансові ризики.

Розширення технологічних можливостей потокових ліній пастеризації для підприємств невеликої продуктивності є стратегічно важливим напрямком розвитку, який

забезпечує підвищення конкурентоспроможності, гнучкості виробництва та якості продукції. Комплексний підхід до модернізації, що включає автоматизацію, енергозбереження та цифровізацію, дозволяє малим підприємствам ефективно конкурувати на ринку та відповідати сучасним вимогам харчової безпеки та екологічності виробництва.

Успішна реалізація проектів модернізації вимагає ретельного аналізу специфіки виробництва, обґрунтованого вибору пріоритетних напрямків вдосконалення та залучення кваліфікованих спеціалістів на всіх етапах від проектування до введення в експлуатацію. За таких умов розширення технологічних можливостей стає надійною основою для сталого розвитку підприємства.

Література

1. Єресько Г. О., Шинкарик М. М., Ворошук В. Я. Технологічне обладнання молочних виробництв : навч. посіб. Київ : ІНКОС, 2007. 344 с.
2. Шинкарик М. М., Ворошук В. Я. Технологічне обладнання консервної промисловості : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. 284 с.
3. Ворошук В. Я., Вітенько Т. М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. 164 с.

УДК 621.9

Р.Ю. Кружилка; В.А. Лясота

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ВИМОГИ ДО КОНСТРУЮВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІ

R.Yu. Kruzhylik; V.A. Lyasota

REQUIREMENTS FOR THE DESIGN AND OPERATION OF SPINDLE UNITS OF MILLING MACHINES

Шпиндельний вузол верстата є одним із надважливих виконавчих органів верстата, який забезпечує як і кількісні так і якісні характеристики в процесі обробки і складається зі шпинделя, його опор, приводного механізму. У конструкції шпинделя розрізняють передній кінець та міжопорну ділянку.

На шпиндель діють навантаження, викликані силами різання, силами в приводі, а також відцентровими силами, що виникають через незбалансованість деталей шпиндельного вузла. Проектування вузла включає: вибір типу приводу, опор, пристроїв для їхнього змащування і захисту від забруднень, а також визначення діаметра шпинделя, відстані між опорами і розробку конструкції всіх елементів.

Шпиндельні вузли мають відповідати вимогам:

1. Точність обертання шпинделя, що характеризується радіальним і осьовим биттям переднього кінця, впливає на точність оброблюваних деталей. Допустиме биття шпинделя універсальних верстатів має відповідати існуючим стандартам. Биття шпинделя спеціальних верстатів не перевищувати 1/3 допуску на лімітуючий розмір, обробленої на верстаті деталі.

2. Жорсткість шпиндельного вузла характеризується його деформаціями під дією навантажень. Допустима мінімальна жорсткість переднього кінця шпинделя верстатів складає 200 Н/мм, а прецизійних – 400 Н/мм. Допустимий кут повороту шпинделя в передній опорі приймається рівним 0,0001...0,00015 рад. Кут повороту шпинделя під приводним зубчастим колесом допускається від 0,00008 до 0,0001 рад., а прогин у цьому місці не повинен перевищувати 0,01m (m – модуль зубчастого колеса). Вимоги щодо