

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

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**Розрахунок та конструювання пастеризаційної
установки**

продуктивністю 2000 кг/год для пастеризації соку

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи МОс-41
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Возний Р.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кравець О.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

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

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Возному Ростиславу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок та конструювання пастеризаційної установки продуктивністю 2000 кг/год для пастеризації соку

Керівник роботи Кравець Олег Ігорович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» 01 2022__ року № 4/7-26

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики пастеризаційної установки для соку

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

1. Аналітична частина

1.1. Аналіз завдання

1.2. Характеристика пастеризаційної установки для соку.

1.3. Огляд літератури.

2. Технологічна частина

2.1. Тепловий розрахунок пастеризаційної установки для соку

2.2. Гідралічний розрахунок

3. Конструкторська частина

3.1. Розрахунок числа пластин установки

3.2. Конструктивний розрахунок пастеризаційної установки для соку

3.3. Розрахунок окремих елементів конструкції установки

3.4. Проектування та розрахунок елементів конструкції установки у програмі Solidworks

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.

Висновки.

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

1. Загальний вигляд пастеризаційної установки продуктивністю 2000 кг/год для соку

2. Складальне креслення теплообмінника установки

4. Деталювання

5-7. Моделювання, проектні розрахунки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи хорони праці	доц. Лазарюк В.В./ зав. каф. Окіпний І.Б.		
Нормоконтроль	доц. Ворошук В.Я.		

7. Дата видачі завдання 24.01.2022**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	1. Аналітична частина	24.01.2022- 28.01.2022	
	1.1. Аналіз завдання		
	1.2. Характеристика пастеризаційної установки для соку		
	1.3. Огляд літератури		
	2. Технологічна частина	01.03.2022- 06.03.2022	
	2.1. Тепловий розрахунок пастеризаційної установки для соку		
	2.2. Гідравлічний розрахунок		
	3. Конструкторська частина	07.03.2022- 11.03.2022	
	3.1 Розрахунок числа пластин установки	11.03.2022- 20.03.2022	
	3.2. Конструктивний розрахунок пастеризаційної установки для соку	21.03.2022- 30.03.2022	
	3.3. Розрахунок окремих елементів конструкції установки	1.04.2022- 5.04.2022	
	3.4. Проектування та розрахунок елементів конструкції установки у програмі Solidworks	6.04.2022- 15.04.2022	
	4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.	1.05-15.05	
	Висновки.	6.06.2022- 07.06.2022	
	Графічна частина	24.01.2022- 13.02.2022	
	1. Загальний вигляд пастеризаційної установки продуктивністю 2000 кг/год для соку	24.01.2022- 13.02.2022	
	2. Складальне креслення теплообмінника установки	24.01.2022- 13.02.2022	
	4. Деталювання	24.01.2022- 13.04.2022	
	5-7. Моделювання, проектні розрахунки	24.01.2022- 06.06.2022	

Студент

Возний Ростислав Володимирович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кравець Олег Ігорович

(прізвище та ініціали)

Анотація

Возний Р.В. Розрахунок та конструювання пастеризаційної установки продуктивністю 2000 кг/год для пастеризації соку.

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз сучасних конструкцій пластинчастих теплообмінників, проведено огляд літературних джерел.

Виконано технологічний розрахунок пастеризаційної установки, а саме здійснено тепловий розрахунок та гідравлічний розрахунок.

Представлено результати конструювання пастеризаційної установки та здійснено проектування та розрахунок елементів конструкції установки у програмі Solidworks.

Розроблено заходи з безпеки життєдіяльності та основ охорони праці.

Ключові слова: пастеризація, теплообмінник, сік, регенерація, конструювання

Зміст

Вступ	7
1. Аналітична частина	8
1.1. Огляд існуючих пластинчастих теплообмінних апаратів	8
1.2. Аналіз будови пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки	16
1.3. Мета та основні задачі роботи.....	17
2. Технологічна частина.....	18
2.1. Вихідні дані	18
2.2. Технологічний розрахунок пастеризаційної установки	19
2.2.1. Визначення різниці температур у секціях.....	19
2.2.2. Визначення швидкості руху рідин у секціях.....	23
2.2.3. Визначення теплофізичних властивостей соку, теплоносія та холодоносія.....	24
2.2.4. Визначення теплообмінних коефіцієнтів: теплопередачі, тепловіддачі	28
2.2.5. Визначення площі поверхні теплообміну.....	31
2.2.6. Визначення гідравлічного опору установки.....	34
2.3. Побудова технологічної схеми потоків пластинчастої пастеризаційної установки	35
2.4. Визначення коефіцієнту регенерації установки.....	37
3. Конструкторська частина	40
3.1. Розрахунок числа пластин	41
3.2. Розрахунок конструктивних елементів установки.....	43
3.3. Проектування та розрахунок елементів конструкції установки у програмі Solidworks	47
3.3.1 Розрахунок опори пластинчастого теплообмінника	47

3.3.2. Розрахунок штанги пластинчастого теплообмінника	48
4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.....	51
4.1. Організація та проведення дослідження стійкості роботи підприємств харчової та переробної промисловості в умовах надзвичайних ситуацій	51
4.2. Види та порядок проведення інструктажів з охорони праці.....	55
Висновки.....	58
Перелік посилань.....	59
Специфікації.....	61

Вступ

Теплові процеси є одними із найбільш поширених в харчовій галузі. Важливе місце серед них займає процес пастеризації рідких продуктів. Від якості стерилізації того чи іншого продукту залежить його безпечність для людини. З іншого боку процеси пастеризації є надзвичайно енергоємними: вони передбачають не лише нагрівання продукту до температур 75-90°С, що саме собою є вкрай енергозатратним, а й подальше охолодження продукту до температури його зберігання.

Ефективність роботи пастеризаційних установок напряму залежить від якості їх конструктивних елементів. Так, наприклад розгерметизація каналу в процесі пастеризації призведе до значних втрат продукту та затрат на подальші ремонтні роботи. Тому важливо забезпечити якісне конструювання цього обладнання.

Метою кваліфікаційної роботи є розрахунок та пластинчастої пастеризаційної установки для соку

Серед завдань, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети потрібно відмітити:

- виконати технологічний розрахунок пастеризаційної установки: тепловий розрахунок, гідравлічний розрахунок.
- провести конструювання пастеризаційної установки для соку;
- виконати перевірочний розрахунок елементів конструкції пастеризаційної установки у програмі Solidworks.

1. Аналітична частина

1.1. Огляд існуючих пластинчастих теплообмінних апаратів

Пластинчасті апарати є доволі поширеним теплообмінним обладнанням. Зокрема дане обладнання широко використовується для процесів пастеризації різноманітних рідких харчових продуктів.

У пластинчасті теплообмінниках продукт та теплоносій розділені металевими пластинами. Окрім пластин 4-5 (рис. 1.1) теплообмінник складається із нерухомої плити 2, рухомої плити 9, штанги 3, шпильок 1 та патрубків 8.

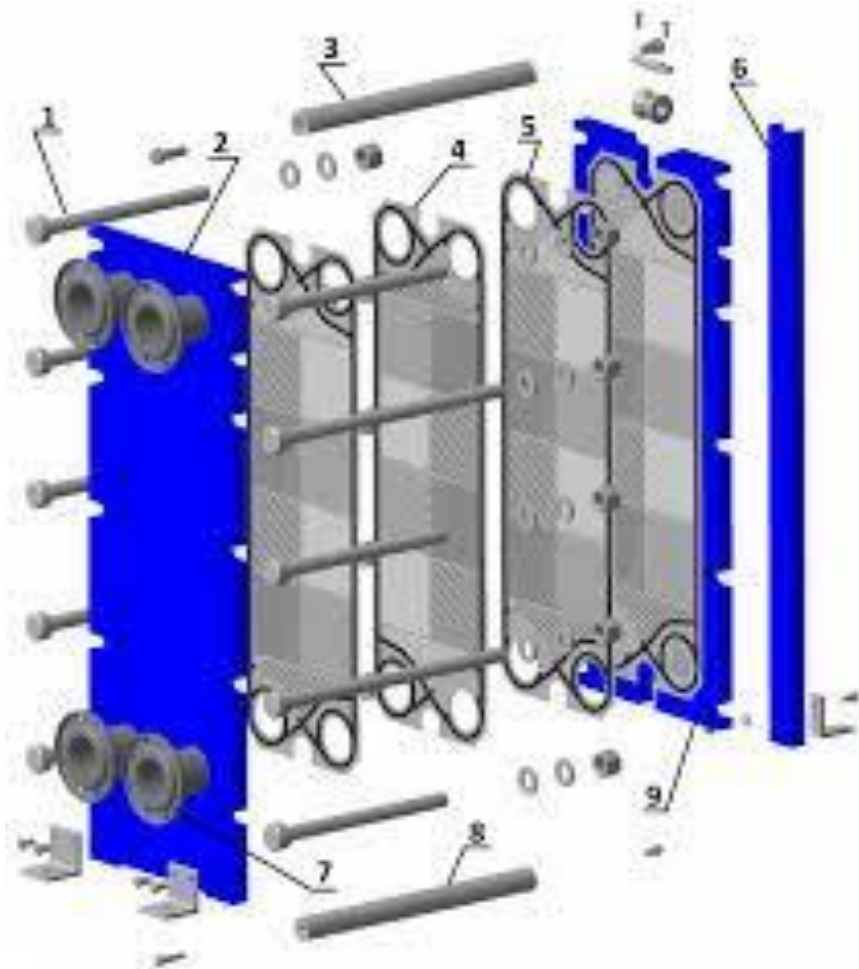


Рисунок 1.1. Схема пластинчастого теплообмінника

Дані теплообмінники складаються з наступних структурних елементів:

канал – зазор між двома сусідніми пластинами теплообмінника, крізь який рухається продукт або теплоносій;

пакет – група пластин, що об'єднані тим, що між ними продукт або теплоносій рухаються в одному напрямку;

секція – сукупність пакетів теплообмінника, що пов'язані тим, що між ними рухається один продукт та один теплоносій.

Умовне позначення компоновки пластин представляється у вигляді дробу, де в знаменнику вказується кількість пакетів для продукту (об'єкту процесу теплообміну) та кількість каналів для продукту а в знаменнику вказується кількість каналів та пакетів для теплоносія (холодоносія). Також на умовному позначенні вказується напрямок пружу рідини: напрямок руху продукту вказується в чисельнику а теплоносія (холодоносія) в знаменнику. Приклад умовного позначення компоновки пластин теплообмінника представлено на рисунку 1.2.

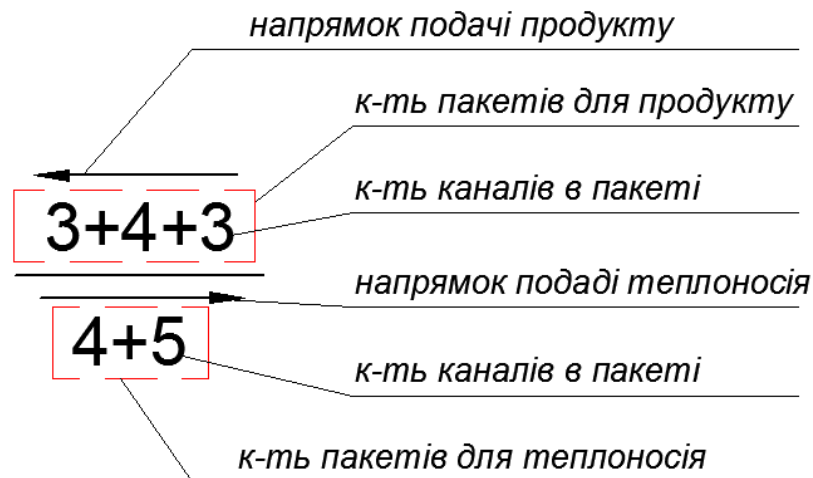


Рисунок 1.2. Приклад умовного позначення компоновки пластин

Наприклад, якщо умовне позначення має вигляд:

$$\frac{\overleftarrow{9}}{\overrightarrow{9}},$$

то це означає, що пластинчастий теплообмінник є однопакетним і містить по 9 каналів відповідно для продукту та теплоносія (холодоносія). Схема руху продукту та теплоносія – протитечійна. Такий теплообмінник можна також представити у вигляді схеми (рис. 1.3).

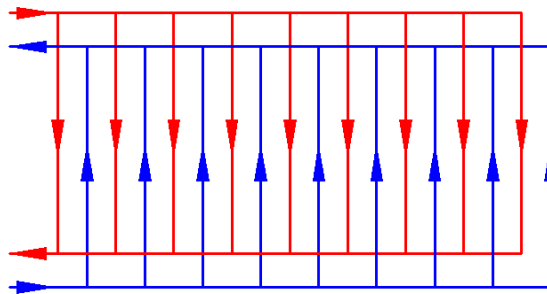


Рисунок 1.3. Схем компонування пластин одно пакетного теплообмінника з кількістю каналів по 9 для продукту та теплоносія

Якщо ж умовне позначення має вигляд:

$$\frac{\overleftarrow{5+5}}{\overrightarrow{5+5}},$$

значить теплообмінник двопакетний і містить по 5 каналів у кожному пакеті як для продукту так і для теплоносія (рис. 1.4). Схема руху рідин – протитечійна.

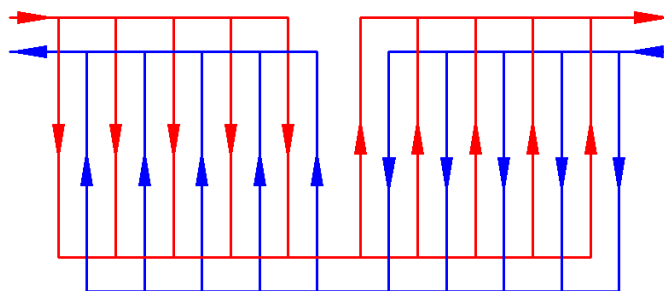


Рисунок 1.4. Схем компонування пластин дво пакетного теплообмінника з кількістю каналів по 5 у кожному пакеті для продукту та теплоносія

І теплообмінник, що позначається як:

$$\frac{\overleftarrow{3+4+3}}{\overrightarrow{4+5}}$$

буде відповідати схем компонування пластин, що зображена на рисунку 1.5.

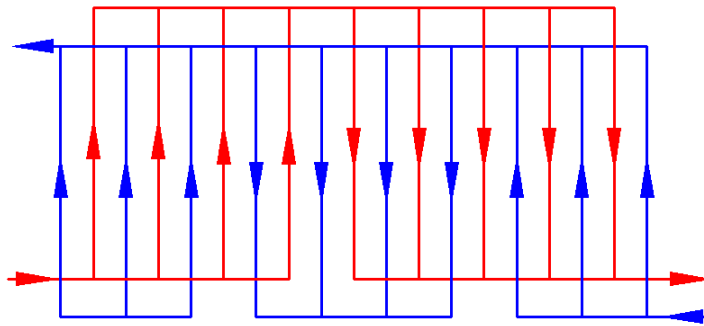


Рисунок 1.5. Схем компонування пластин

Дане обладнання має велику перевагу перед іншими типами теплообмінників яка полягає у великій питомій площі теплообміну.

Ще однією перевагою є те, що рифлена поверхня пластини (рис. 1.6) доволі легко турбулізує потік продукту. При низькому значенні критерію Рейнольдса коефіцієнт теплопередачі від теплоносія до продукту через пластину складає в 2-4 рази більше ніж у трубчастих теплообмінниках.

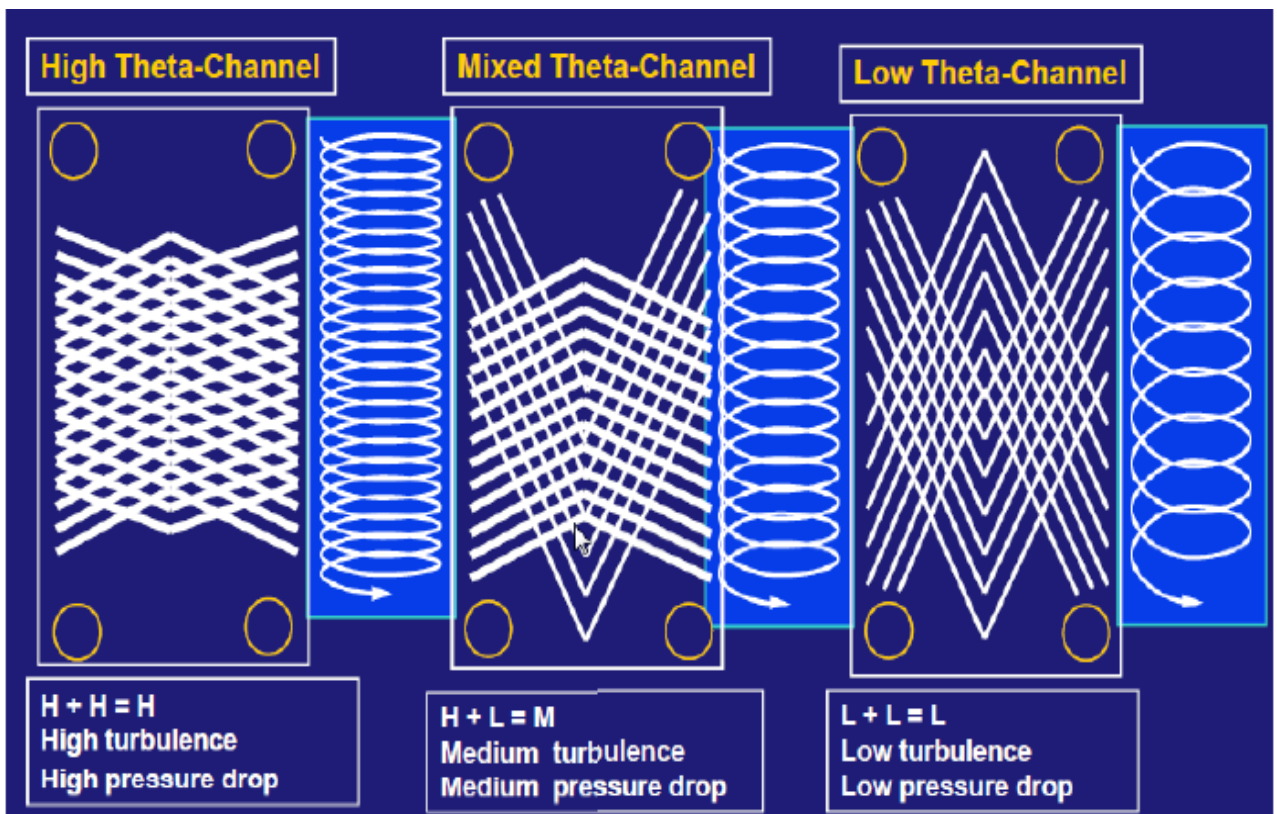


Рисунок 1.6. Вплив висоти нерівностей пластини на турбулізацію потоку

В залежності від величини нерівностей (рифлень) пластини канали, які вони утворюють поділяються на три види (рис. 1.7.):

- м'які;
- середні;
- жорсткі;



Рисунок 1.7. Типи каналів для протікання рідини

Також має місце класифікація самих пластин в залежності від малюнка на їхній поверхні (рис. 1.8.)

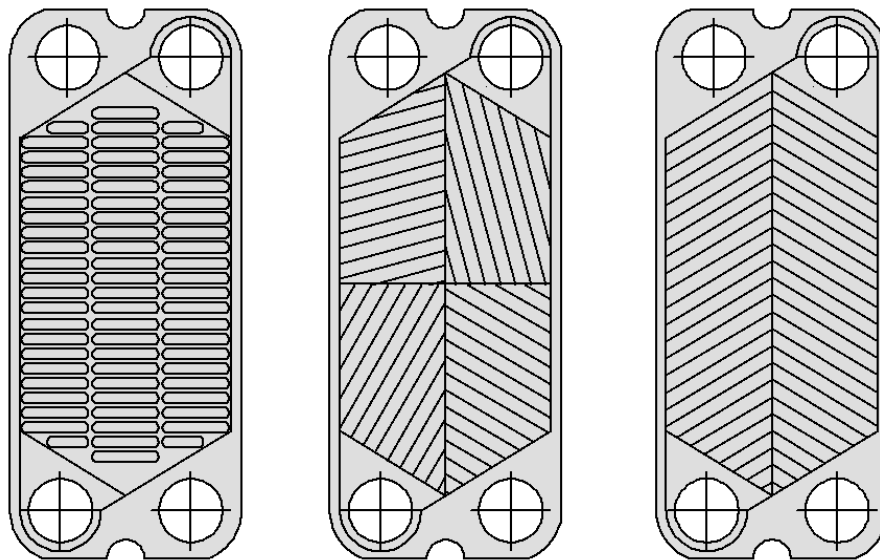


Рисунок 1.8. Типи пластин за малюнком рифлення

В залежності від потреби виробництва та необхідної площі теплообміну апарату останні виготовляються під пластини різних розмірів (рис. 1.9.).



Рисунок 1.9. Пластини різних розмірів та пропорцій

Одночасно із великим різноманіттям розмірів пластин теплообмінників є три найбільш поширених типи пластин за їх площею (рис. 1.10).

П-1	П-2	П-3
0,146 м ²	0,198 м ²	0,42 м ²

Рисунок 1.10. Типи пластин за площею поверхні теплообміну

Для забезпечення максимальної різниці температур пластичасті теплообмінники виготовляють виключно із протитечійною схемою руху теплоносія і продукту (рис 1.11.).

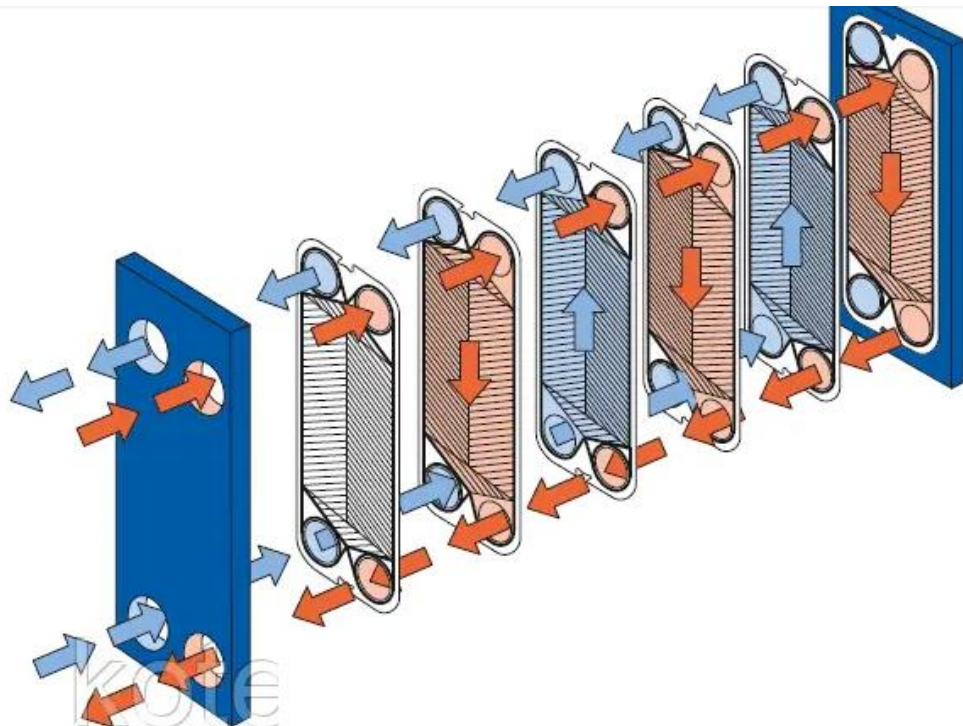


Рисунок 1.11. Протитечійний рух теплоносія та продукту в пластичастому теплообміннику

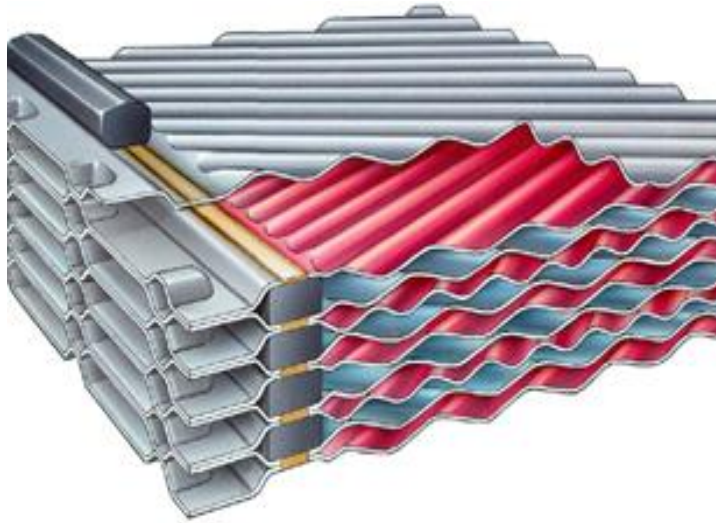


Рисунок 1.12. Пакет пластин теплообмінника із зварними каналами



Рисунок 1.13. Зварні канали пластинчастого теплообмінника

Пластина теплообмінника має комбінацію двох різних за висотою візерунків пластин. Таке рішення робить конструкцію пластини оптимальною для забезпечення низького перепаду тиску на стороні зварювання і в той же час це конструктивне рішення забезпечує високу турбулізацію потоку на середній стороні. За рахунок цього вдається забезпечити високі значення коефіцієнтів тепловіддачі від теплоносія до пластини та від пластини до продукту який обробляється в теплообміннику.

В деяких випадках пластинчасті теплообмінники виготовляють повністю паяними (рис. 1.14.).



Рисунок. 1.14. Паяний пластинчастий теплообмінник

Це рішення дозволяє спростити конструкцію та зменшити кількість деталей у порівнянні із розбірним теплообмінником (рис. 1.15).

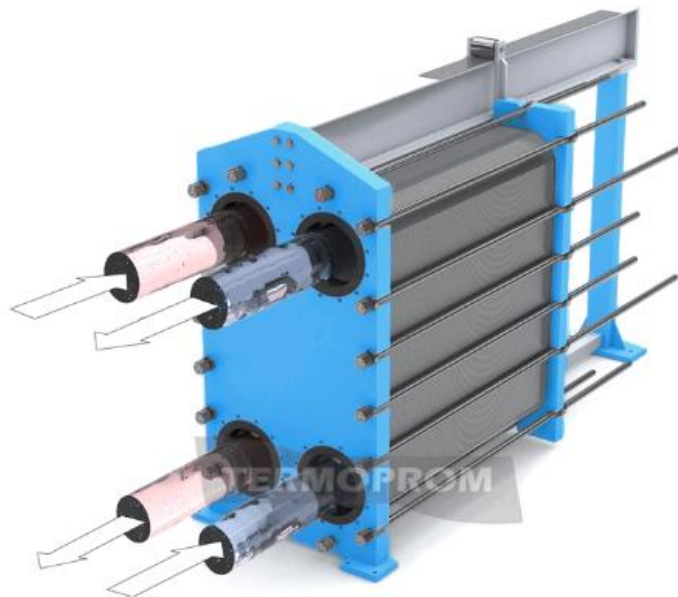


Рисунок 1.15. Складність конструкції розбірного пластинчастого теплообмінника

Проте паяні теплообмінники наділені також серйозним недоліком – в таких апаратах не можливо здійснювати регулювання поверхні теплообміну в залежності до потреб виробництва.

1.2. Аналіз будови пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки

Пастеризаційно-охолоджувана установка для соку (рис. 1.16) складається з наступних елементів: пластинчастого теплообмінного апарату; насоса для соку; зрівняльного бака з поплавковим регулятором, зворотного клапана, насосів для теплоносія і холодоносія та манометрів.

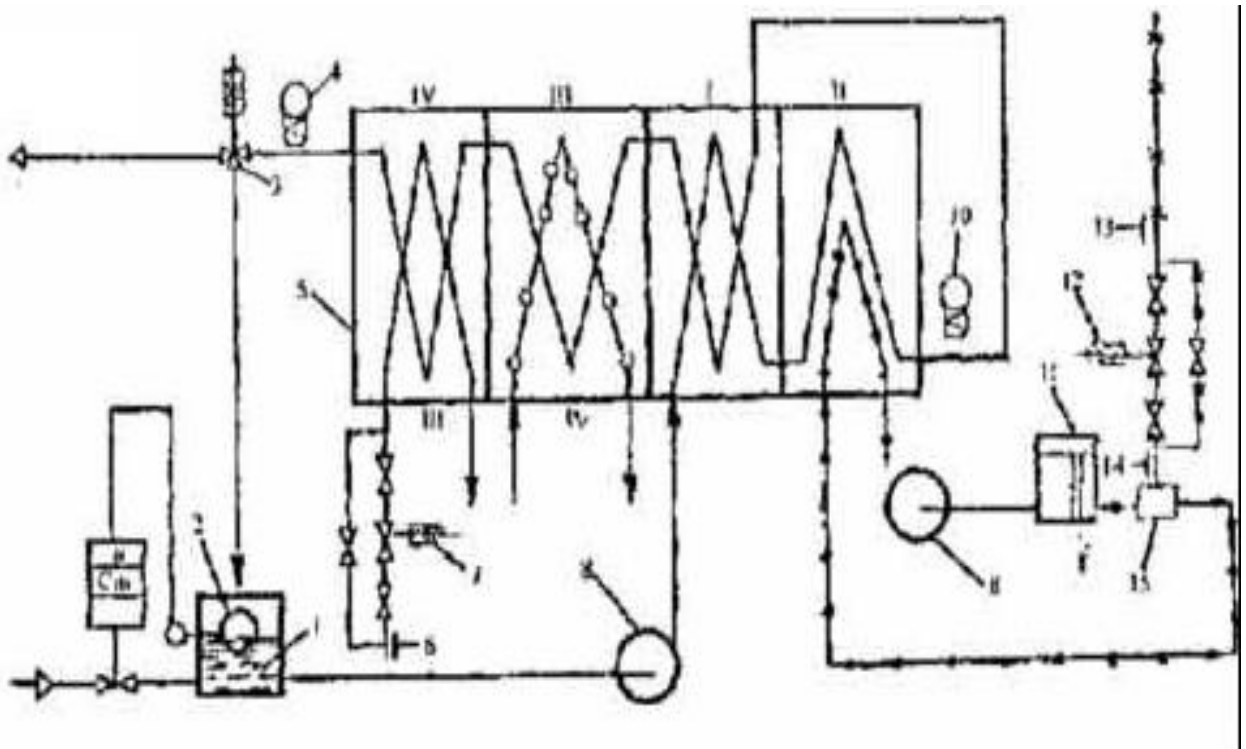


Рисунок 1.16 Схема пастеризаційно-охолоджувальної установки для питних вершків

1-зрівноважувальний бак; 2- регулятор рівня; 3-зворотній клапан; 4,10-давачі температури рідин; 5-пластинчастий теплообмінний апарат; 6,13,14-манометри; 7-регулятор подачі розсолу; 8-насос для соку; 9-насос для теплоносія; 11 — бачок-накопичувач.

Сік на пастеризацію подається із ємності для зберігання у зрівнювальний бак і далі насосом у секцію регенерації теплоти. Після цього підігрітий сік гапрямляється у секцію пастеризації. Пастеризований сік крізь секцію регенерації, де він частково охолоджується йде у секцію охолодження. Охолодження вершків відбувається до температури 6°C .

1.3. Мета та задачі роботи

Метою кваліфікаційної роботи є розрахунок та пластинчастої пастеризаційної установки для соку

Серед завдань, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети потрібно відмітити:

- виконати технологічний розрахунок пастеризаційної установки: тепловий розрахунок, гідравлічний розрахунок.
- провести конструювання пастеризаційної установки для соку;
- виконати перевірочний розрахунок елементів конструкції пастеризаційної установки у програмі Solidworks.

2. Технологічна частина

2.1. Вихідні дані

При виконанні технологічного розрахунку пастеризаційної установки необхідно відштовхуватися від вихідних даних. До них найперше відносяться такі параметри як геометричні розміри (обумовлюють площу теплообміну), необхідна продуктивність по продукту та температури продукту (соку) та теплоносія.

До геометричних розмірів відносяться як розміри самої установки так і розміри пластин та їх кількість.

Конструкція установки для пастеризації соку передбачає наявність трьох видів пластин, в залежності від розміщення на них отворів, що об'єднуються у канали для руху соку та теплоносія: пластини А (рис. 2.1), пластини Б, та пластини С.

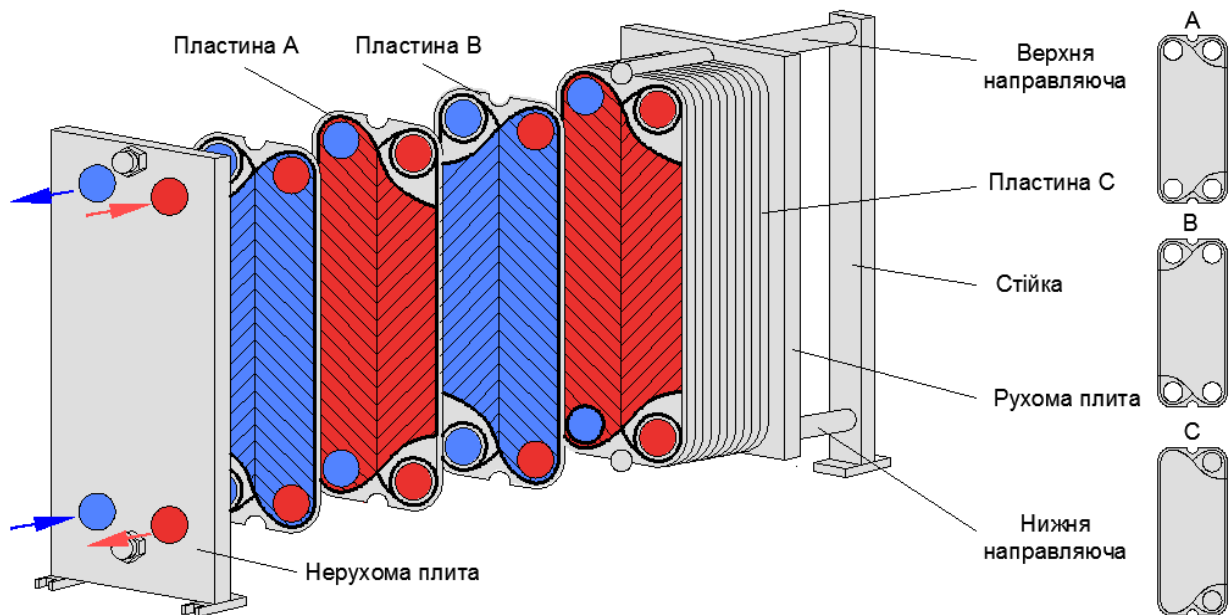


Рисунок 2.1. Типи пластин установки в залежності від розміщення на них отворів, що об'єднуються у канали для руху продукту та теплоносія

Пластини А та Б відрізняється розміщенням отворів – вони утворюють канали для теплоносія або продукту. Пластини С є глухими і використовуються по краях відповідних секцій.

Основні характеристики роботи пастеризаційної установки, які використовувалися в технологічному розрахунку представлені у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Вихідні дані технологічного розрахунку

Характеристики	Значення
Продуктивність по соку	2000 кг/год
Температура пастеризації соку	76 °С
Температура соку, що подається на пастеризаційну установку	5 °С
Початкова температура теплоносія	90 °С
Початкова температура холодоагенту в секції охолодження	1 °С
Коефіцієнт регенерації	0,82
Кількість секцій	3

Технологічний розрахунок пастеризаційної установки включає тепловий та гідравлічний розрахунок.

2.2. Технологічний розрахунок пастеризаційної установки

2.2.1. Визначення різниці температур у секціях

Технологічний розрахунок пастеризаційної установки розпочнемо із визначення середньої різниці температур в секціях.

Усьо конструкція установки включає три секції:

- секція регенерації;
- секція пастеризації;
- секція охолодження.

Визначимо різниці температур у секції регенерації.

Температуру соку на виході із секції регенерації визначимо із виразу:

$$t_2 = t_1 + \varepsilon(t_3 - t_1),$$

де ε – коефіцієнт регенерації (таблиця 2.1);

t_1 – температура соку на вході в установку (таблиця 2.1),

$$t_1 = 5^\circ\text{C};$$

t_3 – температура соку на виході із секції пастеризації (таблиця 2.1),

$$t_3 = 76^\circ\text{C}.$$

Після підстановки у вираз для визначення температури соку на виході із секції регенерації даних із таблиці 2.1 отримаємо:

$$t_2 = 5 + 0,82(76 - 5) = 63,2^\circ\text{C}.$$

Також визначимо температуру пастеризованого соку (теплоносія в даному випадку) на виході із секції регенерації:

$$t_4 = t_1 + (t_3 - t_2),$$

отримаємо:

$$t_4 = 5 + (76 - 63,2) = 17,8^\circ\text{C}.$$

Тепер маємо усі необхідні дані для визначення різниці температур в секції регенерації соку за формулою:

$$\Delta t_p = t_3 - t_2.$$

Таким чином:

$$\Delta t_p = 76 - 63,2 = 12,8^\circ\text{C}.$$

Далі розрахуємо різницю температур в секції пастеризації. Для цього скористаємося рівнянням теплового балансу для теплоносія (гаряча вода) при виході із секції пастеризації:

$$t_{\text{ГК}} = t_{\text{ГН}} - c_{\text{М}}(t_3 - t_2) / (c_{\text{Г}} \cdot n_{\text{Г}}) :$$

де $c_{\text{М}}$ – теплоємність соку при температурі $t_{\text{ср}} = 70^\circ\text{C}$;

Отримаємо:

$$= 79 - 3850 (76 - 63,2) / (4187 \cdot 4) = 76^\circ\text{C}$$

Визначимо більшу різницю температур в секції пастеризації:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_{\text{ГК}} - t_2 = 76 - 63,2 = 12,8^\circ\text{C}.$$

Менша різниця відповідно становитиме:

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{ГН}} - t_3 = 79 - 76 = 3^\circ\text{C},$$

Оскільки відношення більшої різниці до меншої перевищує 2:

$$\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} = 12,8 / 3 = 4,27 > 2.$$

то середню різницю температур потрібно визначати із виразу:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{max}} - \Delta t_{\text{min}}}{Ln \frac{\Delta t_{\text{max}}}{\Delta t_{\text{min}}}}$$

Отримаємо:

$$\Delta t_{\text{п}} = (12,2 - 3) / (2,31g \cdot 4,27) = 6,75^\circ\text{C}.$$

Наступну середню різницю температур визначимо для секції охолодження.

Для цього спочатку визначимо температуру холодоносія на виході із секції охолодження. Для цього використаємо вираз:

$$t_{\text{ВК}} = t_{\text{ВН}} + \frac{c_{\text{м}}(t_4 - t_5)}{c_{\text{в}}n_{\text{в}}}$$

Отримаємо:

$$8 + \frac{3875(17,8 - 10)}{4187 \cdot 3} = 10,4^\circ\text{C}$$

Таким чином температура холодоносія на виході із секції охолодження становить $10,4^\circ\text{C}$. Викорисаємо це значення для визначення більшої та меншої різниці температур:

- більша:

$$\Delta t_{\delta} = t_4 - t_{BK} = 17,8 - 10,4 = 7,4^{\circ}\text{C}.$$

- менша:

$$\Delta t_{\text{м}} = t_5 - t_{BH} = 10 - 8 = 2^{\circ}\text{C}.$$

Оскільки відношення більшої різниці температур до меншої перевищує 2:

$$\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}} = 7,4 / 2 = 3,8^{\circ}\text{C} > 2.$$

то середню різницю температур секції охолодження потрібно визначати із виразу:

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

Секція охолодження соку крижаною водою.

Температура крижаної після охолодження нею соку:

$$t_{\text{лк}} = t_{\text{лн}} + c_{\text{м}}(t_5 - t_6) / (c_{\text{л}} n_{\text{л}}) = 1 + 3869(10 - 4) / (4200 \cdot 4) = 2,4^{\circ}\text{C}.$$

Визначимо більшу різницю температур:

$$\Delta t_{\delta} = t_5 - t_{\text{лк}} = 10 - 2,4 = 7,6^{\circ}\text{C}.$$

Менша різниця:

$$\Delta t_{\text{м}} = t_6 - t_{\text{лн}} = 10 - 2,4 = 7,6^{\circ}\text{C}.$$

Оскільки відношення більшої різниці температур до меншої перевищує число 2:

$$\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}} = 7,6 / 3 = 2,53 > 2.$$

то середню різницю температур секції крижаного охолодження потрібно визначати із виразу:

$$\Delta t_{\text{л}} = (7,6 - 3) / (2,3 \lg \cdot 2,53) = 5^{\circ}\text{C}.$$

2.2.2. Визначення швидкості руху рідин у секціях.

В установці рухаються три потоки рідин: продукт – сік; теплоносій – гаряча вода; холодоносій – холодна вода.

Для визначення швидкості з якою рухається продукт в установці потрібно знайти продуктивність установки по соку в м.куб за секунду визначити із виразу:

$$V = C/(3600\rho)$$

де ρ – густина соку, 1021 кг/м³;

C – масова продуктивність (табл. 2.1), кг/год.

Тоді отримаємо:

$$V = 2000/(3600 \cdot 1021) = 0,0008 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При швидкості соку 0,46 м/с число каналів в пакеті буде складати:

$$m = V/(f_1 \omega_m) = 0,0008/(0,0008 \cdot 0,46) = 2,17.$$

Тому приймемо із запасом $m=4$.

Це призведе до зміни дійсної швидкості соку:

$$\omega_m = 0,46 \cdot 2,17/4 = 0,25 \text{ м/с}.$$

Швидкість холодоносія приймемо рівною швидкості руху соку:

$$\omega_b = \omega_m = 0,25 \text{ м/с}.$$

В свою чергу швидкість теплоносія приймемо рівною:

$$\omega_r = \omega_d = 0,85 \text{ м/с}.$$

2.2.3. Визначення теплофізичних властивостей соку теплоносія та холодоносія

Визначимо властивості продукту теплоносія та холодоносія в секції регенерації:

Для цього визначимо середню температуру соку в даній секції:

$$t_{\text{cp}} = 0,5(t_1 + t_2) = 0,5(5 + 63,2) = 34,1^{\circ}\text{C}.$$

За такої температури значення теплофізичних параметрів соку будуть наступними:

- теплопровідність:

$$\lambda_c = 0,502 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

- густина:

$$\rho = 1023 \text{ кг/м}^3;$$

- динамічна в'язкість:

$$\mu = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

- питома теплоємність:

$$c = 3904 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)};$$

- критерій прандтля:

$$\text{Pr} = 9.74.$$

Середня температура пастеризованого соку:

$$t_{\text{cp}} = 0,5(t_3 + t_4) = 0,5(76 + 17,8) = 47,9^{\circ}\text{C}$$

Цій температурі відповідають наступні значення параметрів:

- теплопровідність: $\lambda_c = 0,513 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- густина: $\rho = 1017 \text{ кг/м}^3$;
- динамічна в'язкість: $\mu = 0,94 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- питома теплоємність: $c = 3882 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$;
- критерій прандтля: $\text{Pr} = 7,12$.

Зробимо те саме для секція пастеризації соку.

Середня температура теплоносія:

$$t_{\text{cp}} = 0,5(t_{\text{гн}} + t_{\text{гк}}) = 0,5(79 + 76) = 77,5^{\circ}\text{C}$$

При цій температурі значення теплофізичних параметрів наступні:

- теплопровідність: $\lambda_c = 0,673 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

- густина: $\rho = 973 \text{ кг/м}^3$;
- динамічна в'язкість: $\mu = 0,94 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- питома теплоємність: $c = 4193 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
- критерій прандтля: $Pr = 2,3$.

Середня температура соку зі сторони нагріву:

$$t_{\text{ср}} = 77,5 - \Delta t_{\text{п}} = 77,5 - 6,75 = 70,75^{\circ}\text{C}$$

Значення параметрів:

- теплопровідність: $\lambda_{\text{с}} = 0,525 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- густина: $\rho = 1005 \text{ кг/м}^3$;
- динамічна в'язкість: $\mu = 0,63 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- питома теплоємність: $c = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
- критерій прандтля: $Pr = 4,62$.

Визначимо параметри для секція охолодження соку

Середня температура холодоагенту зі сторони нагріву:

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{вн}} + t_{\text{вк}}) = 0,5(8 + 10,4) = 9,2^{\circ}\text{C}$$

Параметри:

- теплопровідність: $\lambda_{\text{с}} = 0,572 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- динамічна в'язкість: $\mu = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- густина: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;
- питома теплоємність: $c = 4193 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
- критерій прандтля: $Pr = 9,85$.

Середня температура соку:

$$t_{\text{ср}} = 9,2 + \Delta t_{\text{в}} = 9,2 + 4 = 13,2^{\circ}\text{C}$$

Параметри становлять:

- теплопровідність: $\lambda_{\text{с}} = 0,49 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

- динамічна в'язкість: $\mu = 2,28 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- густина: $\rho = 1031 \text{ кг/м}^3$;
- питома теплоємність: $c = 3876 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$;
- критерій прандтля: $Pr = 18$

В секція охолодження соку льодяною водою середня температура холодоагенту становить:

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{лн}} + t_{\text{лк}}) = 0,5(1 + 2,4) = 1,7^\circ\text{C}$$

Відповідні параметри холодоагенту:

- теплопровідність: $\lambda_c = 0,555 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;
- динамічна в'язкість: $\mu = 1,71 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- густина: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;
- питома теплоємність: $c = 4208 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$;
- критерій прандтля: $Pr = 12,96$

У цій же секції середня температура соку становитиме:

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_5 + t_6) = 0,5(10 + 4) = 7^\circ\text{C}$$

Відповідні параметри холодоагенту соку:

- теплопровідність: $\lambda_c = 0,487 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;
- динамічна в'язкість: $\mu = 2,82 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- густина: $\rho = 1032 \text{ кг/м}^3$;
- питома теплоємність: $c = 3869 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$;
- критерій прандтля: $Pr = 26,1$

Далі за відомим виразом:

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

визначимо критерій Рейнольдса рідин для кожної з секцій.

1). Секція пастеризації соку:

Критерій Рейнольдса для соку:

$$Re_{\pi} = 0,44 \cdot 0,0056 \cdot 1005 / 0,63 \cdot 10^{-3} = 3,931.$$

Теплоносія:

$$Re_{\pi} = 0,85 \cdot 0,0056 \cdot 973 / 0,37 \cdot 10^{-3} = 12517.$$

2) Секція регенерації.

Критерій Рейнольдса холодного соку:

$$Re = 0,44 \cdot 0,0056 \cdot 1023 / 1,25 \cdot 10^{-3} = 2017.$$

Критерій Рейнольдса пастеризованого соку:

$$Re = 0,44 \cdot 0,0056 \cdot 1017 / 0,94 \cdot 10^{-3} = 2666.$$

3) Секція охолодження соку:

Критерій Рейнольдса холодного соку:

$$Re = 0,44 \cdot 0,0056 \cdot 1031 / 2,28 \cdot 10^{-3} = 1114.$$

Холодоносія:

$$Re = 0,44 \cdot 0,0056 \cdot 1000 / 1,35 \cdot 10^{-3} = 1825.$$

4) Секція охолодження соку льодяною водою:

Критерій Рейнольдса холодного соку:

$$Re = 0,44 \cdot 0,0056 \cdot 1032 / 2,82 \cdot 10^{-3} = 902.$$

Критерій Рейнольдса льодяної води:

$$Re = 0,85 \cdot 0,0056 \cdot 1000 / 1,71 \cdot 10^{-3} = 2784.$$

2.2.4. Визначення теплообмінних коефіцієнтів: теплопередачі, тепловіддачі

Коефіцієнт теплопередачі визначатимемо із формули для плоскої стінки:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де δ – товщина пластини теплообмінника, м;
 λ – коеф. теплопровідності матеріалу пластини;
 α_1 – коефіцієнти тепловіддачі від однієї рідини до стінки;
 α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від від стінки до іншої рідини.

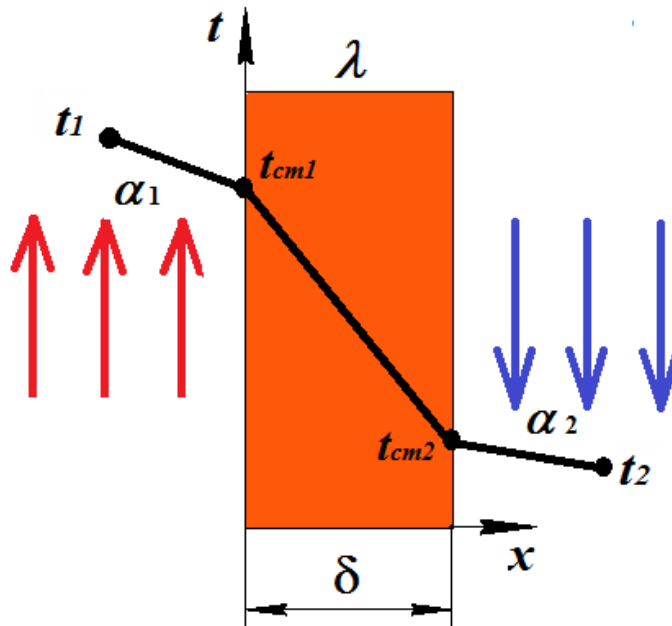


Рисунок 2.2. Схема передачі теплоти через пластину

Коефіцієнти тепловіддачі від однієї рідини до стінки α_1 і від стінки до іншої рідини α_2 будемо розраховувати за виразом:

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

Проведемо розрахунок для кожної із секцій:

1) Секція пастеризації соку.

Коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до поверхні пластини теплообмінника:

$$\alpha_1 = 0,1 \cdot 0,773 \cdot 12517^{0,7} \cdot 2,3^{0,43} / 0,0056 = 12695 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні пластини до соку:

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

Визначимо коефіцієнт теплопередачі від теплоносія до соку через пластину. Прийmemo коефіцієнт використання поверхні пластини $\varphi = 0,85$:
Тоді:

$$K_n = 0,85 / (1/12695 + 0,0012/16 + 1/5938) = 2576 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

2) Секція регенерації теплоти.

Коефіцієнт тепловіддачі від пастеризованого соку до поверхні пластини теплообмінника:

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні пластини теплообмінника до сирого соку:

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

Коефіцієнт теплопередачі від пастеризованого соку до сирого через пластину теплообмінника:

$$K_p = 0,9 / (1/5329 + 0,0012/16 + 1/4907) = 1957 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

3) Секція охолодження соку.

Коефіцієнт тепловіддачі від соку до поверхні пластини:

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні пластини теплообмінника до холодоагента:

$$\alpha_2 = 0,1 \cdot 0,572 \cdot 1825^{0,7} \cdot 9,85^{0,43} / 0,0056 = 5239 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі від соку до холодоагента в секції охолодження:

$$K_b = 1 / (1/4118 + 0,0012/16 + 1/5239) = 2000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

4) Секція охолодження соку крижаною водою.

Коефіцієнт тепловіддачі від соку до поверхні пластини:

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні пластини теплообмінника до крижаної води:

$$\alpha_2 = 0,1 \cdot 0,555 \cdot 2784^{0,7} \cdot 12,96^{0,43} / 0,0056 = 7688 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Визначимо коефіцієнт теплопередачі від соку до крижаної води через пластину:

$$K_n = 1/(1/4141 + 0,0012/16 + 1/7688) = 2273 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

2.2.5. Визначення площі поверхні теплообміну

Площу поверхні теплообміну визначатимемо використовуючи основне рівняння теплопередачі:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t,$$

де F – площа поверхні теплообміну, м^2 ;

Δt – різниця температур, $^{\circ}\text{C}$;

k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

При цьому кількість теплоти для того щоб підставити у це рівняння ми можемо визначити із виразу теплового балансу:

$$Q = G_1 c_1 (t_1' - t_1'') = G_2 c_2 (t_2'' - t_2'),$$

де G_1 і G_2 – витрати гарячої і холодної рідин;

c_1 і c_2 – відповідно теплоємності рідин;

t_1' і t_1'' , а також t_2' і t_2'' – початкова і кінцева температура гарячої та холодної рідини.

Після відповідних перетворень отримаємо вираз із якого можемо знайти площу теплообміну:

$$F_n = G c_m (t_3 - t_2) / (K_n \Delta t_n)$$

Визначимо площі поверхні теплообміну для кожної із секцій пастеризаційної установки:

1) Секція пастеризації соку.

Робоча поверхня теплопередачі секції пастеризації становить:

$$F_n = Gc_m(t_3 - t_2)/(K_n \Delta t_n) = 1,45 \cdot 3850(76 - 63,2)/(2576 \cdot 6,75) = 4,11 \text{ м}^2.$$

Число пластин в даній секції становитиме:

$$n_n = F_n/F_1 = 4,11/0,2 = 20.$$

де F_n – площа однієї пластини, м^2 .

Тоді кількість пакетів пластин в секції пастеризації зі сторони соку становитиме:

$$x_n = n_n/2m = 20/2 \cdot 4 = 2,5;$$

заокруглимо $x_n = 3$.

2) Секція регенерації.

Робоча поверхня:

$$F_p = Gc_m(t_2 - t_1)/(K_p \Delta t_p) = 1,45 \cdot 3904(63,2 - 5)/(1957 \cdot 12,2) = 13,8 \text{ м}^2.$$

Кількість пластин:

$$n_p = F_p/F_1 = 13,8/0,2 = 69.$$

Якщо кількість каналів в пакеті становить $m = 4$ кількість пакетів буде:

$$x_p = n_p/2m = 69/2 \cdot 4 = 8,6;$$

Заокруглимо: $x_p = 9$.

3) Секція охолодження соку:

Робоча поверхня:

$$F_b = Gc_m(t_4 - t_5)/(K_b \Delta t_b) = 1,45 \cdot 3876(17,8 - 10)/(2000 \cdot 4) = 5,48 \text{ м}^2.$$

Кількість пластин:

$$n_{\text{в}} = F_{\text{в}}/F_1 = 5,48/0,2 = 27,4;$$

заокруглимо $n_{\text{в}} = 27$.

Кількість пакетів в секції буде:

$$x_{\text{в}} = n_{\text{в}}/2m = 27/2 \cdot 4 = 3.$$

4) Секція охолодження крижаною водою:

Робоча поверхня:

$$F_{\text{л}} = Gc_{\text{м}}(t_5 - t_6)/(K_{\text{л}}\Delta t_{\text{л}}) = 1,45 \cdot 3869(10 - 4)/(2273 \cdot 5) = 2,96 \text{ м}^2.$$

Кількість пластин:

$$n_{\text{л}} = F_{\text{л}}/F_1 = 2,96/0,2 = 14,8;$$

заокруглимо $n_{\text{л}} = 15$.

Кількість пакетів:

$$x_{\text{л}} = n_{\text{л}}/2m = 15/2 \cdot 4 = 3.$$

Таким чином загальна кількість пластин в установці буде становити:

$$n = n_{\text{р}} + n_{\text{п}} + n_{\text{в}} + n_{\text{л}} = 69 + 20 + 27 + 15 = 131,$$

Отримана загальна кількість пластини близька до їх кількості у типовому теплообмінному апараті ($n = 133$).

Прийmemo наступне комплнування секцій пастеризаційної установки для соку:

$$\text{Секція пастеризації соку: } \frac{4+4+4}{12};$$

Секція регенерації теплоти: $\frac{4+4+4+4+4+4+4+4+4+4}{4+4+4+4+4+4+4+4+4+4}$;

Секція охолодження соку: $\frac{4+4+4}{12}$;

2.2.6. Визначення гідравлічного опору установки

Гідравлічний опір будемо також визначати для кожної секції установки окремо:

1) Секція пастеризації соку.

Для пастеризованого соку при значенні критерія Рейнольдса $Re_n = 3931$:

$$\varepsilon_n = 11,2 \cdot 3931^{-0,25} = 1,41.$$

Визначимо гідравлічний опір даної секції:

$$\Delta p_n = 1,41 \cdot 0,8 \cdot 1005 \cdot 0,44^2 \cdot 3 / (0,0056 \cdot 2) = 58,8 \text{ кПа.}$$

2) Секція регенерації

Для потоку пастеризованого соку:

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

Гідравлічний опір:

$$\Delta p_p = 1,67 \cdot 0,8 \cdot 1017 \cdot 0,44^2 \cdot 9 / (0,0056 \cdot 2) = 211 \text{ кПа.}$$

Для потоку охолоджуваного соку:

$$\varepsilon'_p = 11,2 \cdot 2666^{-0,25} = 1,56.$$

Гідравлічний опір:

$$\Delta p_p = 1,56 \cdot 0,8 \cdot 1023 \cdot 0,44^2 \cdot 9 / (0,0056 \cdot 2) = 199 \text{ кПа.}$$

3) Секція охолодження соку

Для потоку соку, що охолоджується

$$\varepsilon_{\text{в}} = 11,2 \cdot 1114^{-0,25} = 1,94.$$

Гідравлічний опір:

$$\Delta p_{\text{в}} = 1,94 \cdot 0,8 \cdot 1031 \cdot 0,44^2 \cdot 3 / (0,0056 \cdot 2) = 83 \text{ кПа.}$$

Маємо всі необхідні значення для визначення загального гідравлічного опору установки по каналах для соку:

$$\Delta p = \Delta p_p + p'_p + p_n + p_{\text{л}} = 211 + 199 + 58,8 + 83 + 58,2 = 610 \text{ кПа.}$$

2.3. Побудова технологічної схеми потоків пастеризаційної установки

При побудові схеми установки використовували наступні позначення температур рідин:

$t_{\text{в1}}$ – початкова температура соку, °С;

$t_{\text{с2}}$ – температура соку на вході в секцію пастеризації, °С;

$t_{\text{с3}}$ – температура соку на виході із секції пастеризації (на вході в секцію регенерації, в якості теплоносія), °С;

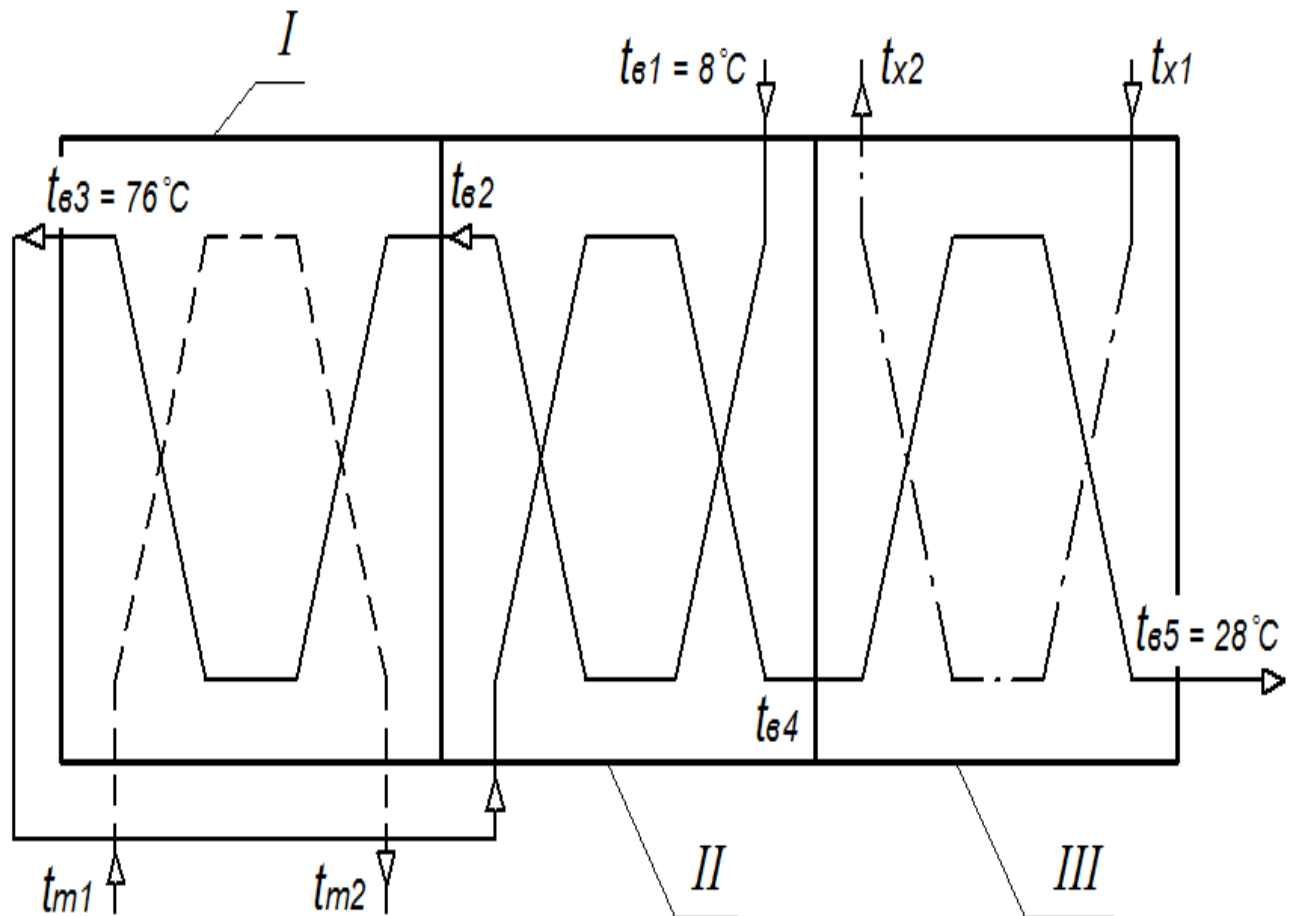
$t_{\text{с4}}$ – температура соку на вході в секцію охолодження, °С;

$t_{\text{с5}}$ – температура соку на виході із секції охолодження, °С;

$t_{\text{п1}}, t_{\text{п2}}$ – початкова та кінцева температури теплоносія;

$t_{\text{х1}}, t_{\text{х2}}$ – початкова та кінцева температури холодоносія.

На основі отриманих результатів технологічного розрахунку побудували схему пастеризаційної установки для соку (рис. 2.3).



Умовні позначення:

I – секція пастеризації; II – секція регенерації; III – секція охолодження.

————— – сік; — — — — — теплоносій (гаряча вода);

————— - - ————— – холодоносій (холодна вода).

Рисунок 2.3 . Схема потоків пастеризаційно-охолоджувальної установки для соку

Як саме змінюються температури соку теплоносія та холодоносія в процесі роботи пастеризаційної показано на графіку (рис. 2.4.)

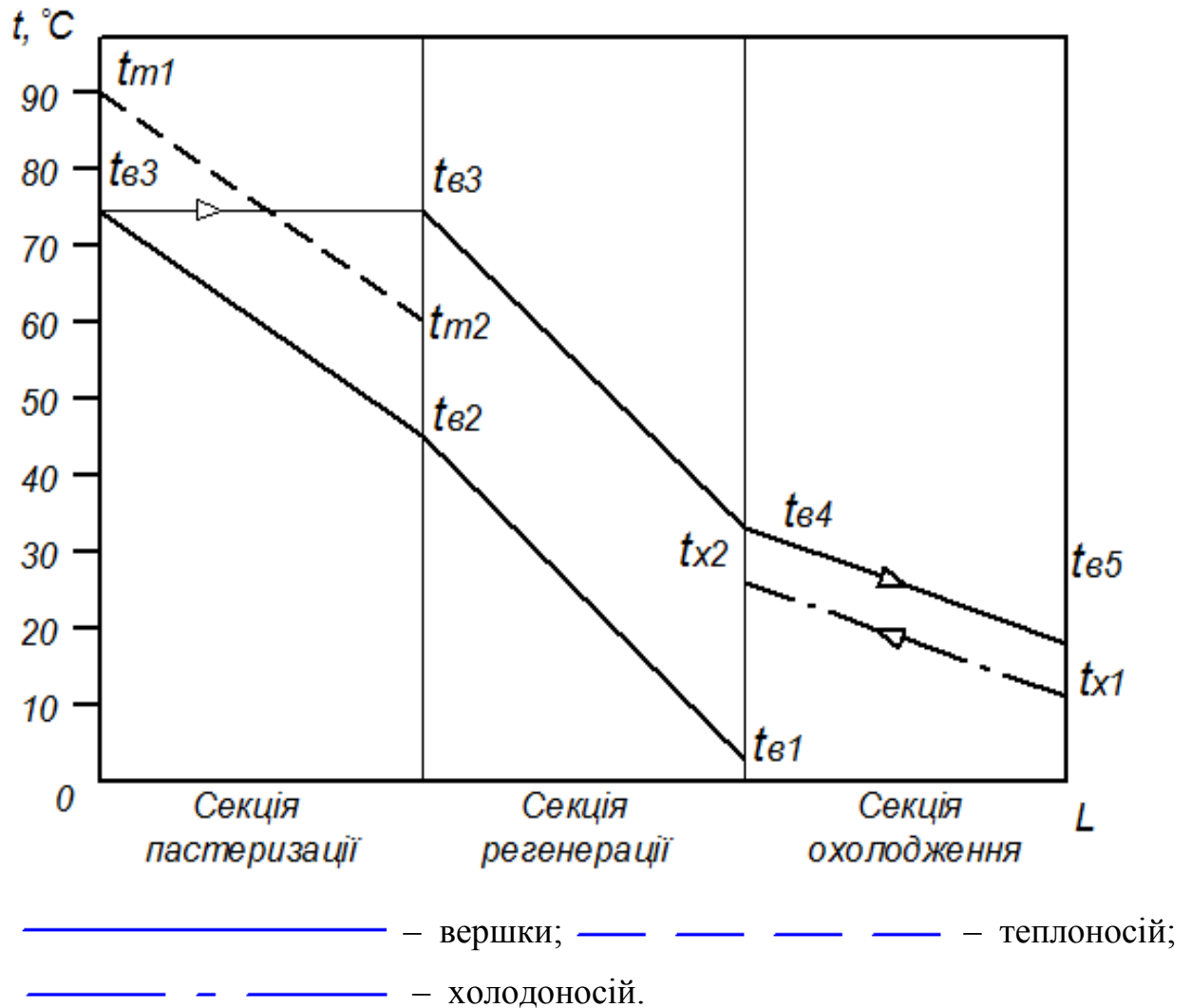


Рисунок 2.4. Графік зміни температури соку, теплоносія та холодоносія в пастеризаційно-охолоджувальній установці

2.4. Визначення коефіцієнту регенерації установки

Даний коефіцієнт розраховували як відношення отриманої теплоти не пастеризованим соком у секції регенерації ΔQ_c до теплоти, яку потрібно було б затратити на пастеризацію Q_p , якщо б не було секції регенерації:

$$n = \Delta Q_{c(c)} / Q_p = m_c c_c (t_{c2} - t_{c1}) / m_c c_c (t_{c3} - t_{c1}),$$

де m_c – маса соку, кг;

c_b – теплоємність не пастеризованого соку, $c_b = 3520$ Дж/(кг К);

t_{b1} – температура не пастеризованого соку на вході в секцію регенерації, °С;

$t_{в2}$ – температура не пастеризованого соку на виході із секції регенерації, °С.;

$t_{в3}$ – температура пастеризованого соку на вході в секцію регенерації, °С.

Так як витрата не пастеризованого соку та маса пастеризованого соку, очевидно рівні то отримаємо:

$$n=c_c(t_{c2} - t_{c1})/c_c(t_{c3} - t_{c1}),$$

Тепловий потік, що необхідно підвести до секції пастеризації соку на пряму залежить кількості теплоти, яку було підведено до не пастеризованого соку у секції регенерації, тобто від коеф. регенерації:

$$Q_{п}=m_c c_c (t_{c3}-t_{c2})=m_{c(c)} c_{c(c)} (75-t_{c(c)2})$$

$$n=c_c(t_{c2}-t_{c1})/c_{в}(t_{c3}-t_{c1}),$$

в результаті получимо систему рівнянь:

$$n=(t_{c2}-t_{c1})/(t_{c3}-t_{c1}),$$

$$Q_{п}=m_c c_c (t_{c3}-t_{c2}).$$

Після підстановки отримаємо:

$$n=(t_{c2}-8)/(75-8);$$

$$Q_{п}=3000 \cdot 3520 (75-t_{c2})=1,06 \cdot 10^7 (75-t_{c2}).$$

Після перетворень:

$$n=-0,12+0,015t_{c2};$$

$$Q_{п}=79 \cdot 10^7 - 1,06 \cdot 10^7 t_{c2}.$$

Визначили коефіцієнт регенерації n при різних значеннях температури не пастеризованого соку на виході із секції регенерації T_{c2} .

Таблиця 2.2. Коефіцієнт регенерації n та тепловий потік Q_n при різних значеннях температури не пастеризованого соку на виході із секції регенерації

Температура сирого соку на виході із секції регенерації $T_{в2}, C$	Коефіцієнт регенерації n	Кількості теплоти, необхідна для пастеризації $Q_n, Дж$
20	0,180	$5,78 \cdot 10^8$
25	0,255	$5,25 \cdot 10^8$
30	0,330	$4,72 \cdot 10^8$
35	0,405	$4,19 \cdot 10^8$
40	0,480	$3,66 \cdot 10^8$
45	0,555	$3,13 \cdot 10^8$
50	0,630	$2,60 \cdot 10^8$
55	0,705	$2,07 \cdot 10^8$
60	0,780	$1,54 \cdot 10^8$

3. Конструктивна частина

3.1. Розрахунок числа пластин установки

Визначимо площі поверхні теплообміну для кожної із секцій пастеризаційної установки:

1) Секція пастеризації соку.

Робоча поверхня теплопередачі секції пастеризації становить:

$$F_n = Gc_m(t_3 - t_2)/(K_n \Delta t_n) = 1,45 \cdot 3850(76 - 63,2)/(2576 \cdot 6,75) = 4,11 \text{ м}^2.$$

Число пластин в даній секції становитиме:

$$n_n = F_n/F_1 = 4,11/0,2 = 20.$$

де F_n – площа однієї пластини, м^2 .

Тоді кількість пакетів пластин в секції пастеризації зі сторони соку становитиме:

$$x_n = n_n/2m = 20/2 \cdot 4 = 2,5;$$

заокруглимо $x_n = 3$.

3) Секція регенерації.

Робоча поверхня:

$$F_p = Gc_m(t_2 - t_1)/(K_p \Delta t_p) = 1,45 \cdot 3904(63,2 - 5)/(1957 \cdot 12,2) = 13,8 \text{ м}^2.$$

Кількість пластин:

$$n_p = F_p/F_1 = 13,8/0,2 = 69.$$

Якщо кількість каналів в пакеті становить $m = 4$ кількість пакетів буде:

$$x_p = n_p / 2m = 69 / 2 \cdot 4 = 8,6;$$

Заокруглимо: $x_p = 9$.

3) Секція охолодження соку:

Робоча поверхня:

$$F_B = Gc_m(t_4 - t_5) / (K_B \Delta t_B) = 1,45 \cdot 3876(17,8 - 10) / (2000 \cdot 4) = 5,48 \text{ м}^2.$$

Кількість пластин:

$$n_B = F_B / F_1 = 5,48 / 0,2 = 27,4;$$

заокруглимо $n_B = 27$.

Кількість пакетів в секції буде:

$$x_B = n_B / 2m = 27 / 2 \cdot 4 = 3.$$

Таким чином загальна кількість пластин в установці буде становити:

$$n = n_p + n_{\pi} + n_B + n_{\lambda} = 69 + 20 + 27 + 15 = 131,$$

Отримана загальна кількість пластини близька до їх кількості у типовому теплообмінному апараті ($n = 133$).

Прийmemo наступне комплнування секцій пастеризаційної установки для соку:

Секція пастеризації соку: $\frac{4+4+4}{12}$;

Секція регенерації теплоти: $\frac{4+4+4+4+4+4+4+4+4+4}{4+4+4+4+4+4+4+4+4+4}$;

Секція охолодження соку: $\frac{4+4+4}{12}$;

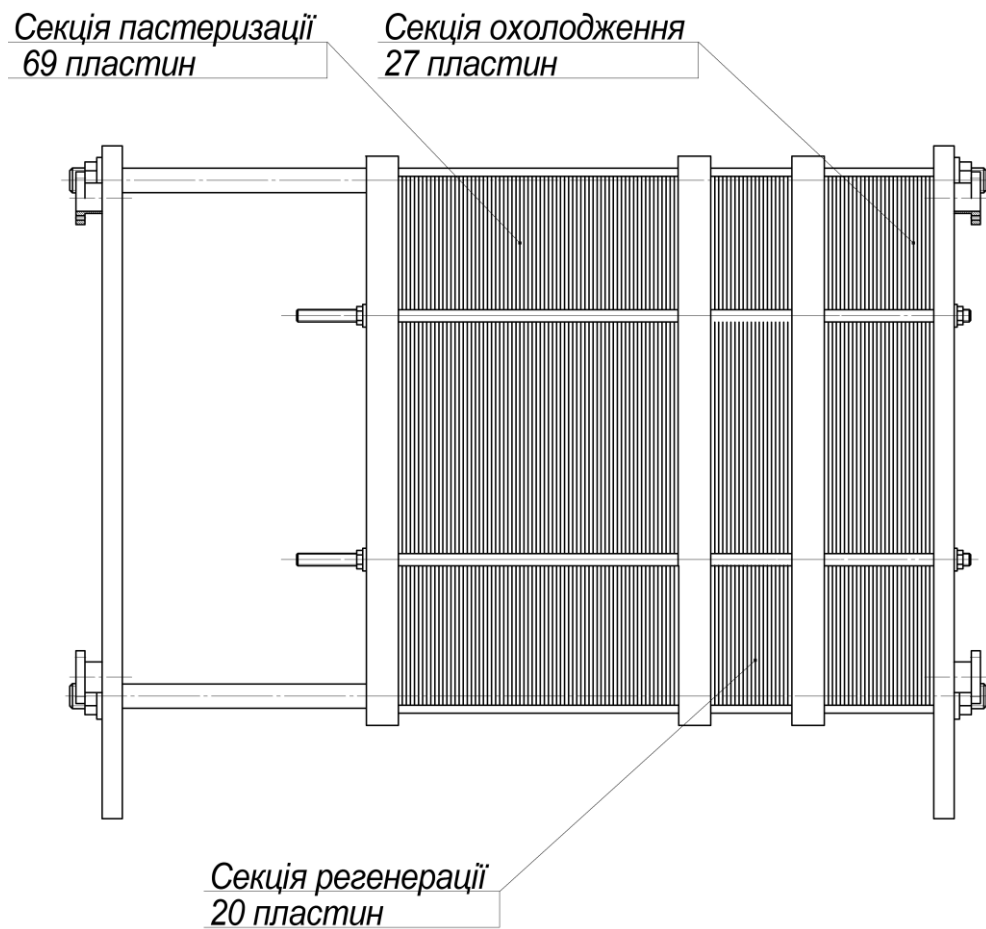


Рисунок 3.1. Проектована пастеризаційна установка для соку

3.2. Розрахунок конструктивних елементів установки

З метою з'єднання трубопроводів установки використаємо тип фланців, що зображений на рисунку 3.2. Допустимий тиск для даного фланцю становить 1.5 мПа.

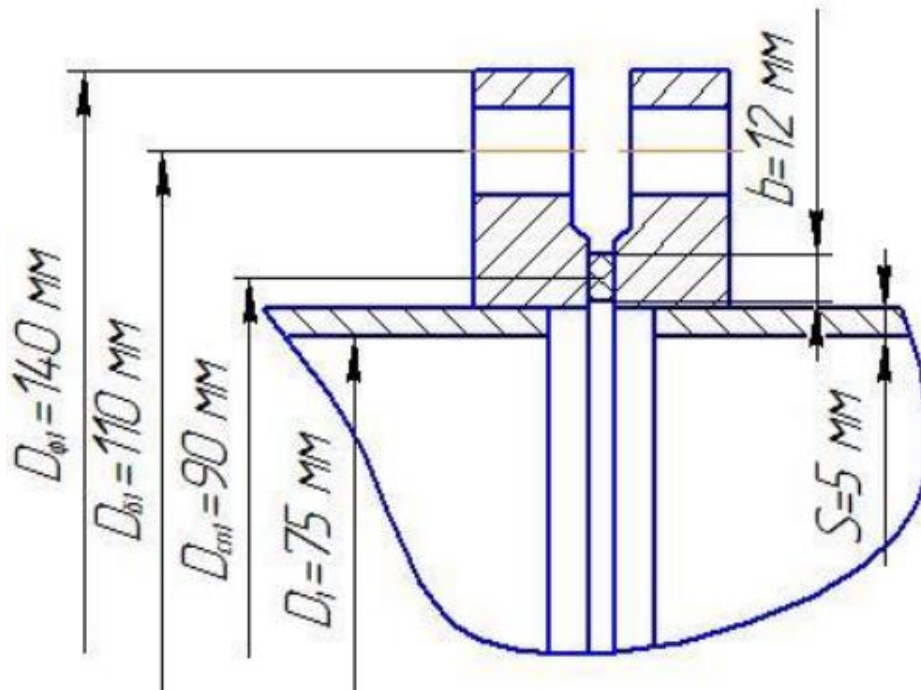


Рисунок 3.2. Фланцеві з'єднання трубопроводів

В якості ущільнення з'єднання обрали парінатову прокладку. Дане ущільнення дозволяє створити герметичність при значеннях тиску до 2,5 МПа та температури до 140°C.

Визначимо необхідний діаметр отворів під болти із виразу:

$$D_{\delta} \geq D + 2(2s + d_{\delta} + u)$$

де D – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

d_{δ} – діаметр болта, що з'єднує фланці м;

u – зазор, $u = 2$ мм.

Після підстановки відомих даних отримаємо:

$$D_{\delta} \geq 0,076 + 2(2 \cdot 0,006 + 0,022 + 0,002) = 0,22 \text{ м,}$$

Тобто діаметр повинен бути не меншим ніж 0,22 м. Можемо прийняти 0,245 м (стандартне значення).

Тепер ми можемо визначити величину діаметру підбраного фланця ззовні за виразом:

$$D_{\phi} \geq D_{\delta} + a$$

де a – коефіцієнт, 0,35 м.

Отримаємо:

$$D_{\phi} \geq 0,245 + 0,035 = 0,28 \text{ м}$$

Тобто діаметр повинен бути не меншим ніж 0,28 м.

Далі визначимо зовнішній діаметр ущільнення за формулою:

$$D_{\text{нп}} = D_{\phi} + e'$$

де e' – нормативний коефіцієнт, становить 0,05 м.

Отримаємо:

$$D_{\text{нп}} = 0,245 - 0,05 = 0,195 \text{ м.}$$

Розрахуємо значення середнього діаметру нашого ущільнення:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{нп}} - b_{\text{п}}$$

де $b_{\text{п}}$ – товщина ущільнення.

Після підстановки:

$$D_{\text{сп}} = 0,195 - 0,015 = 0,18 \text{ м,}$$

Мнімальна кількість болтових з'єднань:

$$n \geq \pi \cdot D_{\phi} t_{\text{ш}}$$

де D_{ϕ} – відстань між сусідніми болтами, м.

Отримаємо:

$$n \geq 3,14 \cdot 0,245 \cdot 0,02 = 9,4$$

Заокруглимо до 10 шт.

Параметри підібраних фланці подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Характеристики фланців

- внутрішній діаметр штуцера:	$D = 150$ мм;
- діаметр фланця:	$D_{\phi} = 280$ мм;
- діаметр болтової окружності:	$D_{\phi} = 245$ мм;
- діаметр отворів під болт:	$d_{\phi} = 23$ мм;
- кількість болтів:	$n = 10$ шт;
- висота фланця:	$h_{\phi} = 30$ мм;
- маса фланця:	$m = 7,36$ кг.

Визначимо параметри болтового з'єднання.

Мінімальна висота болта:

$$l_{\phi} = 2(h_{\phi} + h_{п})$$

де $h_{п}$ – висота ущільнення, м.

h_{ϕ} – висота перерізу фланця, м.

Підставимо дані:

$$l_{\phi} = 2 \cdot (0,030 + 0,003) = 0,066 \text{ м,}$$

Приймаємо: $l_{\phi} = 70$ мм.

Виконаємо розрахунок навантаження на фланці:

$$F_{д} = \frac{P \pi D_{сп}^2}{4}$$

де P – тиск в штуцері при роботі установки, 0,45 МПа.

Підставимо:

$$F_{д} = \frac{0,45 \cdot 3,14 \cdot 0,183^2}{4} = 7,8 \text{ кН,}$$

Коефіцієнт жорсткості фланців:

$$k_{ж} = \frac{y_6 + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_6 - D - s) \cdot (D_6 - D_{сп})}{y_{п} + y_6 + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_6 - D_{сп})^2} =$$

$$= \frac{7 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,016 \cdot (245 - 150 - 6) \cdot (245 - 183) \cdot 10^{-3}}{2,17 \cdot 10^{-4} + 7 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,016 \cdot (245 - 183)^2 \cdot 10^{-6}} = 0,359.$$

Сила, що виникає у фланцях під дією високої температури:

$$F_t = \frac{y_6 \cdot n_6 \cdot f_6 \cdot E_6 \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_6 \cdot t_6)}{y_6 + y_{п} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_6 - D_{сп})} =$$

$$= \frac{7 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \cdot 303 \cdot 10^{-6} \cdot 1,87 \cdot 10^5 \cdot (17 \cdot 10^{-6} \cdot 19,2 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 17)}{7 \cdot 10^{-5} + 2,17 \cdot 10^{-4} + 0,5 \cdot 0,016 \cdot (245 - 183) \cdot 10^{-3}} =$$

$$= 22 \text{ кН},$$

де α_{ϕ} – коеф. темп. розширення фланців, $1/^\circ\text{C}$;

α_6 – коеф. темп. розширення болтів, $1/^\circ\text{C}$;

Силу, що діє в болтових з'єднаннях при визначимо за формулою:

$$F_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{ж} \cdot F_{Д} + R_{п} \\ \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q \\ 0,4 \cdot [\sigma]_{в}^{20} \cdot n_6 \cdot f_6 \end{array} \right\}$$

де $[\sigma]_{в}^{20}$ – граничне значення напруження в з'єднаннях, МПа .

q – сила герметизації, для обраного ущільнення, Мпа.

Підставимо та отримаємо:

$$F_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,359 \cdot 7,8 + 4,2 = 7 \text{ кН} \\ 3,14 \cdot 0,183 \cdot 0,012 \cdot 20 \cdot 10^3 = 137 \text{ кН} \\ 0,4 \cdot 140 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 303 \cdot 10^{-6} = 169 \text{ кН} \end{array} \right\} = 169 \text{ кН}$$

Далі визначимо силу, що діє в болтових з'єднаннях в умовах роботи пастеризаційної установки:

$$F_{62} = F_{61} + (1 - k_{ж})F_{Д} + F_t$$

$$F_{62} = 169 + (1 - 0,359) \cdot 7,8 - 22 = 152 \text{ кН}.$$

Умова забезпечення герметичності фланцевого з'єднання:

$$\Theta = \frac{\sigma_k D}{E_\phi h_\phi}$$

$$\Theta = \frac{45 \cdot 0,15}{2,02 \cdot 10^5 \cdot 0,03} = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$1 \cdot 10^{-3} \leq [\Theta] = 9 \cdot 10^{-3}$$

де $[\Theta]$ - максималтний кут повороту фланців, м .

Таким чином герметичність зеднання забезпечується.

3.3. Проектування та розрахунок елементів конструкції установки у програмі Solidworks

Було виконано проектування пластичастого теплообмінного апарату пастеризаційної установки для сокуу програмі Solidworks.

Отримані результати свідчать, що потенційно найбільш навантаженими її конструктивними елементами є опора та штанги пластинчастого теплообмінника.

3.3.1 Розрахунок опори пластинчастого теплообмінника

Так, зокрема, розрахунок на статичне зміщення опори показав, що максимальне значення статичного зміщення для даної деталі становить $2,1 \cdot 10^{-6}$ (рис. 3..) мм і спостерігається на ділянці кріплення верхньої штанги.

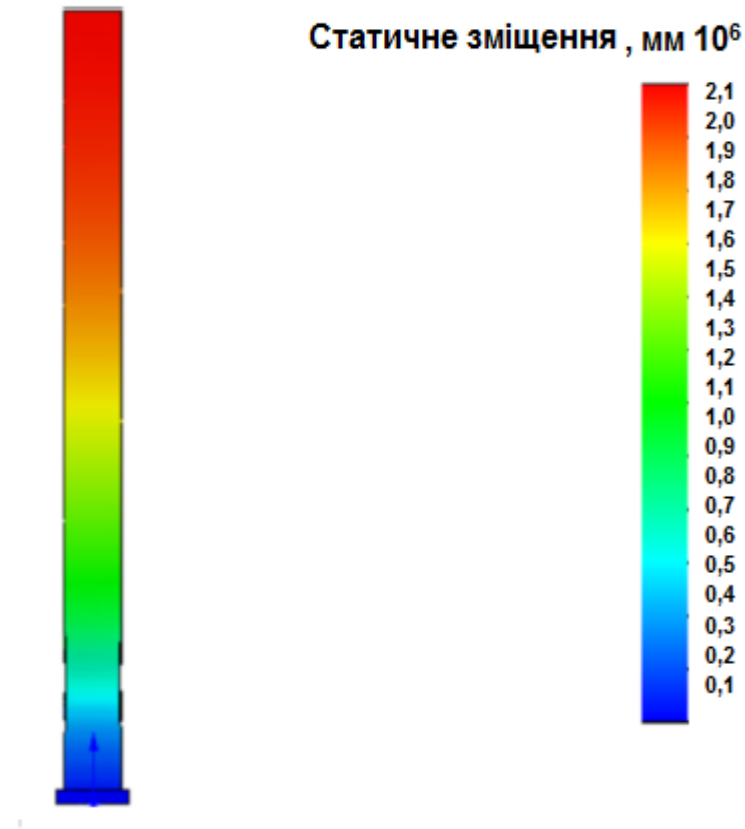


Рисунок 3. Епюра статичного зміщення опори пластинчастого теплообмінника

3.3.2. Розрахунок штанги пластинчастого теплообмінника

Розрахунок на статичне зміщення верхньої штанги показав, що максимальне значення статичного зміщення при відповідному тиску для неї становить $2,5 \cdot 10^{-6}$ (рис. 3..) мм і спостерігається на ділянці шпильки де вона контактує із рухомою плитою.

Статичне зміщення, мм 10^6

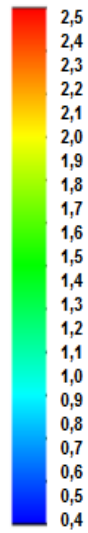


Рисунок 3. Епюра статичного зміщення верхньої штанги пластинчастого теплообмінника

Також було виконано аналогічний розрахунок для нижньої штанги.

4. Безпека життєдіяльності та основи хорони праці

4.1. Організація та проведення дослідження стійкості роботи підприємств харчової та переробної промисловості в умовах надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи промислового підприємства розуміють здатність його у надзвичайних ситуаціях випускати продукцію в запланованому об'ємі та номенклатурі, а при отриманні пошкоджень, руйнувань або порушенні зв'язків по кооперації, відновлювати виробництво в мінімальні терміни. Це розуміння стійкості поширюється у тому числі на підприємства харчової та переробної промисловості.

Стійкість підприємств харчової промисловості в умовах НС є особливо важливою, оскільки забезпечення населення продуктами харчування має здійснюватися навіть після виникнення масштабних надзвичайних ситуацій. У той же час як сировина так і готова продукція харчових підприємств має властивість швидко псуватися, що значно ускладнює забезпечення стійкості, зокрема технологічної.

Дослідження стійкості роботи підприємства – це всебічне вивчення обстановки, яка може скластися під час надзвичайної ситуації та визначення її впливу на виробничу діяльність підприємства. Мета дослідження полягає в тому, щоб виявити слабкі місця в роботі об'єкта та виробити найбільш ефективні пропозиції, спрямовані на підвищення його стійкості.

Дослідження стійкості роботи підприємства проводиться силами інженерно-технічного персоналу із залученням спеціалістів науково-дослідних та проектних організацій. Організатором та керівником досліджень є керівник підприємства.

Увесь процес планування і проведення досліджень поділяється на три етапи:

I етап — підготовчий;

II етап — оцінка стійкості роботи об'єкта;

III етап — розроблення заходів, які підвищують стійкість роботи підприємства в умовах надзвичайної ситуації.

На першому етапі розробляються керівні документи, які визначають склад учасників досліджень та організовується їх підготовка.

Основними документами для організації досліджень стійкості роботи об'єкта є: наказ керівника підприємства, щодо проведення дослідження; календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень; план проведення досліджень.

Наказ керівника підприємства розробляється на підставі вказівок старшого начальника з урахуванням умов пов'язаних з виробничою діяльністю об'єкта. В наказі вказується: мета і завдання дослідження; терміни проведення робіт; склад учасників досліджень; склад і завдання дослідницьких груп; строки готовності облікової документації.

Календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень визначає: основні заходи; терміни їх виконання; відповідних виконавців; сили та засоби, які залучаються для виконання завдань.

План проведення досліджень є основним документом, який визначає зміст роботи керівника дослідження і груп головних спеціалістів. В плані вказується: тема дослідження; мета дослідження; тривалість дослідження; склад дослідницьких груп та зміст їх роботи; порядок проведення дослідження. Термін дослідження встановлюється залежно від обсягу роботи та підготовки учасників і може тривати 2 – 3 місяці. Залежно від складу основних виробничо-технічних служб на об'єкті створюються дослідницькі групи. Їх кількість і чисельність залежить від обсягу вирішуваних завдань та специфіки виробництва.

На підготовчому етапі з керівниками груп проводиться спеціальне заняття, на якому керівник підприємства доводить до виконавців план роботи, завдання кожної групи та визначає терміни дослідження.

На другому етапі проводиться безпосереднє дослідження стійкості роботи об'єкта. В ході дослідження визначаються умови захисту робітників та службовців від уражаючих факторів, проводиться оцінка уразливості виробничого комплексу від різних уражаючих факторів, оцінюється характер можливих пошкоджень від вторинних уражаючих факторів, вивчається стійкість роботи системи забезпечення та кооперативних зв'язків з іншими об'єктами, з'ясовуються вразливі місця в системі управління, виробництвом.

Кожна група оцінює стійкість відповідних елементів виробничого комплексу та робить необхідні розрахунки.

Штаб Цивільної оборони ОГД в цей період оцінює загальний стан ІДО і визначає заходи для забезпечення захисту робітників і службовців. Для цієї роботи притягається ряд начальників служб, які виконують відповідні функції. Служба оповіщення і зв'язку вивчає і оцінює стійкість зв'язку з органами ЦО, виробничими підрозділами і формуваннями ЦО. Оцінює надійність системи зв'язку і оповіщення, повноту обладнання пунктів управління. Служба сховищ і укриттів оцінює інженерний захист робітників і службовців, правильність експлуатації сховищ і укриттів, готовність їх до використання за прямим призначенням. Розраховує час на оповіщення робітників і службовців, збір і укриття їх в захисних спорудах.

Служба радіаційного та хімічного захисту оцінює можливості роботи об'єкта в умовах радіації і дає пропозиції щодо захисту робітників і службовців від радіоактивного зараження, визначає типові режими радіаційного захисту людей, розробляє графік робочих змін для проведення РіНР. Аналізує забезпеченість робітників і службовців засобами індивідуального захисту, умови зберігання і порядок їх видачі. Готує пропозиції щодо організації і ведення радіаційної і хімічної розвідки, організації санітарної обробки людей, знезараження одягу, транспорту, техніки і споруд.

Медична служба розробляє заходи щодо організації медичного обслуговування робітників та службовців на об'єкті і в заміській зоні, а також при проведенні РіНР. Визначає сили і засоби для надання першої медичної допомоги потерпілим. Виробляє рекомендації з організації дозиметричного контролю при перебуванні людей у зоні радіоактивного зараження і рекомендації з захисту продуктів харчування і джерел водопостачання.

Служба охорони громадського порядку розробляє заходи з підсилення пропускного режиму, охороні матеріальних цінностей, забезпечення громадського порядку.

На третьому етапі підводяться підсумки проведених досліджень. Групи спеціалістів за підсумками досліджень готують підсумки і пропозиції з захисту робітників та службовців і підвищенню стійкості елементів виробництва, які досліджуються.

Група комплексних досліджень на основі доповідей інших груп складає загальний план, в якому визначаються: можливості щодо захисту робітників і службовців в ЗС; загальна оцінка стійкості об'єкта, найбільш слабкі (вразливі) ділянки виробництва; практичні заходи, терміни та обсяги робіт, які виконуються при повсякденній діяльності та при загрозі АС; порядок та приблизні строки відновлюваних робіт при різних ступенях руйнування. За результатами досліджень розробляються плани, в яких визначаються відповідні заходи, необхідні кошти на їх проведення, терміни і відповідальні особи за їх виконання.

Правильність проведених розрахунків та реальність пропозицій і рекомендацій перевіряються на спеціальних навчаннях під керівництвом начальника ЦО об'єкта. Завчасно плануються і проводяться, в основному, заходи які потребують значних матеріальних витрат та часу на їх виконання. Економічна ефективність цих заходів може бути досягнута при їх коригуванні з завданнями щодо безаварійної-роботи об'єкта, поліпшення умов праці, удосконаленню виробничого процесу, реконструкції виробництва і таке інше.

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів підприємств харчової промисловості

Вплив шкідливих факторів на працюючих в певних умовах приводить до травми або іншого різкого погіршення здоров'я, а небезпечних до захворювання або зниження працездатності.

Фактори відрізняються не тільки кінцевими, несприятливими для людини результатами, що залежать від рівня виробничого фактора, але і тривалістю дії. Для небезпечного фактора характерна миттєва, а для шкідливого – довготривала дія, але в ряді випадків шкідливі наслідки, викликані короткотривалою дією шкідливого фактора розглядаються на рівні з травмами, розслідуються і облікуються як небезпечні випадки на виробництві. До них відносяться: гострі отруєння, теплові удари, обмороження а також ураження блискавкою на виробництві.

Вплив на людину шкідливого фактора може привести до травми, наприклад: одноманітна праця, через одноманітні операції настає втома, що приводить до зниження працездатності і уваги. Останнє в травмонебезпечних ситуаціях може привести до невчасно прийнятого правильного або прийняттю неправильного рішення і закінчитись травмою.

За природою дії шкідливі і небезпечні фактори поділяють на фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

Фізичні фактори:

- 1) рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи обладнання, рухомі вироби, заготовки і матеріали;
- 2) підвищена або знижена температура поверхні обладнання, матеріалів повітря робочої зони;
- 3) вологість і рухомість повітря;
- 4) небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі;
- 5) підвищений рівень шуму, вібрації, інфрачервоного і ультразвуку;

6) підвищення або нестача природного освітлення, відсутність світла, недостатнє освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла, блиск, підвищена пульсація світлового потоку;

7) гострі краї, шорсткості на поверхні обладнання, інструмента заготовок;

8) розміщення робочих місць на значній висоті від підлоги;

9) підвищений рівень УФ і ІЧ радіації;

10) електромагнітні випромінювання, статична електрика;

11) підвищена напруга електромагнітних полів;

12) підвищена або знижена іонізація повітря;

13) підвищений рівень іонізуючого випромінювання в робочій зоні;

14) підвищений або знижений барометричний тиску в робочій зоні і його різка зміна.

Для хлібопекарних, макаронних, кондитерських, цукрових, бродильних виробництв найбільш характерні шкідливі і небезпечні фактори 1-12. Наприклад: на хлібозаводах в багатьох випадках зовнішня поверхня печей перевищує температуру допустиму за санітарну норму 45°C, а температура газовідвідних каналів і труб через відсутність ізоляції становить 55-245 °. В приміщеннях багатьох підприємств виділяється пара. Температура повітря в літній час в ряді випадків на робочому місці складає 30 - 38°. Печі є джерелом ІЧ радіації.

Хімічні фактори. Речовини, які проникають в організм людини через дихальні шляхи, шкіру чи травну систему можуть виявляти: загально токсичну; подразнюючу слизові носа, рота, очей; алергічну; мутагенну дію; впливати на репродуктивну функцію людини.

На виробництвах харчової промисловості фактори цієї групи мають достатньо широке розповсюдження при технічних процесах: видалення сірчаного газу, оксидів азоту з печей, диму і шкідливих речовин при підгорянні масла або продукції, CO₂ при обмороженні та інші.

Біологічні фактори. Поділяються на хвороботворні мікроорганізми і макроорганізми перші проникають в вигляді бактерій, вірусів, риккетсій,

бактеріоподібні нерухомі організми що викликають інфекційні захворювання, спірохет, грибів і найпростіших.

Мікроорганізми поділяють на організми рослинного, і тваринного походження. Ці фактори зустрічаються в цукрових, хлібопекарських і бродильних виробництвах.

Психофізіологічні фактори. Поділяють на фізичні і нервово-психологічні перевантаження; перші включають статичні, динамічні, навантаження гіподинамію. М'язові статичні навантаження особливо погано впливають на працездатність. Вони поділяються на легкі (людина у вільній позі), середні (якщо вимушена поза складає 10-25% часу зміни), важкі (вимушена поза 50%) і дуже важкі > 50%. Психоневрологічні перевантаження поділяють на розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

Висновки

Виконано аналіз сучасних конструкцій пластинчастих теплообмінників, проведено огляд літературних.

Виконано технологічний розрахунок пастеризаційної установки, а саме визначено:

- різниці температур у секціях;
- швидкості руху рідин у секціях;
- теплообмінні коефіцієнти: теплопередачі, тепловіддачі;
- площу поверхні теплообміну;
- коефіцієнт регенерації;
- гідравлічний опір установки.

Визначено необхідну кількість пластин установки.

Здійснено конструювання пастеризаційної установки, проведено розрахунок елементів конструкції установки у програмі Solidworks.

Розроблено заходи з безпеки життєдіяльності та основ охорони праці.

Перелік посилань

1. Мірошник, В. О. Пастеризатор як об'єкт керування за каналами нагрівання і охолодження молока. / В. О. Мірошник, Т. І. Лендел // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2017. Вип. 261. – С. 79-88.
2. Israelachvili J. N. Intermolecular and Surface Forces (Third Edition) / J. N. Israelachvili. – Santa Barbara: University of California, 2011. – 467 P.
3. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
4. Тарг С.М. Основные задачи теории ламинарных течений. М., Л.: Госиздат технико-теоретической литературы – 420 с.
5. Єресько Г.О. Технологічне обладнання молочних виробництв. | Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворощук В.Я.-Ц.:ЦНЛ "Інкос", 2007. – 344с.
6. Быков В.В., Быков В.П. Исследовательское проектирование в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2011. – 256 с.
7. Сеньо П.С. Теорія ймовірностей та математична статистика: підручник. / П.С. Сеньо – К.: Знання, 2007. – 556с.
8. Гусак А. А. Справочник по высшей математике / А. А. Гусак, Г. М. Гусак, Е. А. Бричикова. – Минск.: Тетра Системс, 2009. – 640с.
9. Цытович Н.А. Механика грунтов . – М.: Высшая школа, 1979. – 272с.
10. Исаев Н.Н. Прессование дисперсных продуктов с заданной степенью осадки . Изв. вузов. – Пищевая технология. – 1977. – №5 – 102с.
11. Антипов С.Т. Ученик XXI век «Машины и аппараты пищевых производств» - М. «Высшая школа», 2001 г.
12. Гальперин Д. М. «Оборудование молочных предприятий, монтаж, накладка, ремонт» - М. «Агропромиздат» 1990 г.

13. Власенко В.В. «Технологія виробництва і переробки молока і молочних продуктів» - В. 2000г.
14. Гончаров Н.Н. Справочник механика молочной промышленности – М. 1959 г.
15. Дилажен З.Х. «Молочное дело» -М. «Колос» 1979 г. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. — 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / Стеблюк М.І. — К., 2010. — 487 с.
16. Васійчук В.О. Основи цивільного захисту. Навч. посібник / В.О. Васійчук, В.Є Гончарук, С.І. Качан, С.М. Мохняк. - Львів: Видавництво НУ "ЛП", 2010. - 417с.
17. Запольський А.К., Українець А.І. Екологізація харчових виробництв: Підручник.-К: Вища школа, 2005.-433 с.