

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра ПО та ЕМ



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на тему Розробка конструкції енергоефективної випарної установки
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Дядченко А. О.
(прізвище, ініціали)

___ курсу _____ групи

Керівник доц. Безбах І. В.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: доц. Всеволодов О. М.
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2024 р., протокол № ____.

Завідувач кафедри ПО та ЕМ _____ Олег БУРДО
(назва кафедри) (підпис)

Одеса - 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>низькотемпературної техніки та інженерної механіки</u>
Кафедра	<u>ПО та ЕМ</u>
Ступінь вищої освіти	<u>бакалавр</u>
Спеціальність	<u>133 «Галузеве машинобудування»</u>
Освітня програма	<u>«Енергетичний менеджмент та ІТ-конструювання обладнання»</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ПО та ЕМ

Олег БУРДО

« ____ » _____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Дядченко Артем Олександрович

1. Тема роботи Розробка конструкції енергоефективної випарної установки
Затверджена наказом академії від 03.10.2023 р наказ № 575-03
2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10 червня 2024 р.
3. Вихідні дані роботи: номінальний об'єм камери для продукту $V=0,075 \text{ м}^3$; тривалість нагріву 1000 с, продуктивність технологічної лінії, в якій встановлений випарна установка 300 кг/год, частота обертання РТС $n=18 \text{ об/хв}$, початкова температура продукту $t_1=70 \text{ }^\circ\text{C}$; початкова температура продукту $t_2=70 \text{ }^\circ\text{C}$; температура теплоносія $t_t=120 \text{ }^\circ\text{C}$; продукт – яблучний сік, початковий вміст сухих речовин 10 %, кінцевий вміст сухих речовин 50 %
4. Перелік питань, які потрібно розробити: технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ; способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення; критичний огляд існуючого технологічного обладнання; обґрунтування розробки обраної конструкції; технічний проект; енергетичний аналіз технологічної лінії; техніка безпеки і правила експлуатації машини.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Енергоефективна випарна установка (Лист 1), Шнековий РТС (Лист 2), Рама (Лист 3), Вакуум-насос (Лист 4), Деталювання (Лист 5), Технологічна лінія виробництва концентрованого яблучного соку (Лист 6)

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніка безпеки і правила експлуатації машини	.		

7. Дата видачі завдання 29.12.2023

Керівник _____ Безбах І. В.
Завдання прийняв до виконання _____ Дядченко А. О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ	15.03.2024	
2.	Способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення	15.03.2024	
3.	Критичний огляд існуючого технологічного обладнання	27.03.2024	
4.	Обґрунтування розробки обраної конструкції	1.04.2024	
5.	Технічний проект	18.04.2024	
6.	Енергетичний аналіз технологічної лінії	20.05.2024	
7.	Техніка безпеки і правила експлуатації машини	7.06.2024	

Здобувач – дипломник _____ Дядченко А. О.

Керівник роботи _____ Безбах І. В.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ Артем ДЯДЧЕНКО _____
Підпис

Зміст

Реферат	6
Вступ.....	7
1. Технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ	8
2. Способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення	10
2.1 Виробництво яблучного соку з ферментацією мезги.....	10
2.2 Виробництво концентрованого яблучного соку без застосування ферментів	13
2.3 Виробництво яблучного соку без м'якоті	16
3. Критичний огляд існуючого технологічного обладнання	20
4. Обґрунтування розробки обраної конструкції	28
5. Технічне завдання на проектування	29
6. Технічний проект	34
6.1. Опис запропонованої машини, принцип дії, устрій	34
6.2 Технологічний розрахунок.....	39
6.2.1 Технологічний розрахунок камери.....	39
6.2.2 Продуктивність апарату	39
6.3 Силовий розрахунок, вибір електродвигуна	40
6.3.1 Розрахунок шнекового робочого органу як мішалки	40
6.3.2 Розрахунок шнекового робочого органу як транспортера	44
6.4 Кінематичний розрахунок приводу РТС	46
6.5 Розрахунки на міцність.....	48
6.6 Тепловий розрахунок.....	51
6.6.1 Попередній розрахунок	51

					КРБ.ПОтаЕМ.0. 575-03.2.2						
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка конструкції енергоефективної випарної установки	Літ.			Арк	Аркуші	
Розроб	Дядченко								4	68	
Перевірів	Безбах І. В.										
Н. Контр.											
Затв.	Бурдо О. Г.					ОНТУ					

6.6.2 Перевірочний розрахунок	53
6.7 Продуктивність вакуум-насоса.....	57
6.8 Визначення товщини теплової ізоляції.....	57
7. Енергетичний аналіз технологічної лінії	58
8. Техніка безпеки і правила експлуатації машини	65
Використані літературні джерела.....	68
Специфікації	69

Реферат

У даній дипломній роботі наведено критичний огляд існуючого обладнання. Розроблено технічне завдання. Виконані необхідні розрахунки підтверджують працездатність машини.

Розрахунково-пояснювальна записка включає 68 стор.

Графічна частина включає - 6 листів А1

Вступ

На ринку перебуває широкий спектр продуктів отриманих за допомогою термічних методів концентрації, а саме випарювання. Процес є одним з важливих, але енерговитратних технологічних процесів. Витрата енергії на випарювання становить $2,8 \cdot 10^6 \dots 0,85 \cdot 10^5$ кДж/т [1]. Недоліком є зміна якості продукту в залежності від тривалості теплової обробки, інтенсивне утворення накипу, відсутність ефективних способів утилізації енергії вторинної пари. Проблема є актуальною й має велике значення для харчової промисловості.

1. Технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ

Яблука – найважливіша консервна культура.

Основною культурою в промислових садах центральних регіонів України є яблуня (87,8%), переважають сорти: літні - Суйслеппер, Білий налив, Строка; осінні – Ренет Бурхардта; зимові сорти – Апорт, Розмарин, Грушівка Верненська, Пармен зимовий золотий [2]. За хімічним складом та органолептичною оцінкою сорту яблук характеризуються таким чином:

- Літні сорти - плоди з м'якою м'якоттю, на смак кисло-солодкі. Характеризуються помірною цукристістю до 100 г/дм^3 , низькою кислотністю, що титрується, в середньому не вище 5 г/дм і незначним вмістом екстрактивних речовин. Соковіддача яблук низька, 40-45 дал/т.
- осінні сорти - плоди з твердішою м'якоттю, соковиті, кисло-солодкі з приємним ароматом. Вміст цукру досягає 120 г/дм^3 , невисока кислотність 4,6 - $6,5 \text{ г/дм}^3$. Вихід соку становить середньому 53 дал/т.
- зимові сорти - плоди з твердою м'якоттю і мають високу соковіддачу. Вихід соку становить 52 - 60 дал/т. У цих сортах відзначено підвищений вміст титрованих кислот $5-9 \text{ г/дм}^3$ і екстрактивних речовин до 24 г/дм . Ці сорти мають підвищену ароматоутворювальну здатність. [3].

Збільшення виходу соку при переробці сировини та раціональне її використання - один із напрямків підвищення ефективності виробництва.

Переробка яблук на підприємствах здійснюється за наступною технологічною схемою: вивантаження сировини на приймальні бункери, миття, інспекція, дроблення, подача мезги з мезгозбірника на соковиділення з одночасною її сульфитацією, часткове відділення соку, пресування мезги, подача соку на наступні технологічні операції.

Збільшенню виходу соку сприяє підвищення пористості мезги. До мезги додають різні інертні речовини: кізельгур, деревну стружку, рисову

лушпиння. Пресування мезги яблук з додаванням лушпиння збільшує вихід соку з біологічно стиглих плодів на 15 - 20% та з яблук технічної зрілості - на 10-12%.

З метою кращого вилучення соку рекомендується додатково обробляти пектолітичними ферментними препаратами. Мезга попередньо сульфитується з розрахунку 70 -120 мг/дм³. Застосовують ферментні препарати додають у кількості 0,02% до ваги мезги з розрахунку на стандартну активність 9 од. у вигляді 1-2% - ної суспензії, яка готується на соку або воді.

Застосування ферментних препаратів інтенсифікує процес переробки сировини, сприяє збільшенню виходу соку.

2. Способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення

2.1 Виробництво яблучного соку з ферментацією мезги

З 1930-х років технічні ферментні препарати є важливим елементом під час виробництва фруктових соків. Спочатку вони використовувалися для освітлення та депектинізації соків, а потім з 1970-х років. для введення ферментів у яблучну мезгу. Як ферменти зазвичай використовується полігалактуроназа, як головна активна речовина, і пектинестераза, як другорядна активна речовина.

Крім того, вони можуть містити ферменти: амілазу, целюлазу та протеазу. Ферменти з пектолітичною активністю в яблучній меззі переважно гідролізують дещо менш етерифіковані пектини серединної перегородки клітини.

Введення ферментів у мезгу необхідне для того, щоб прискорити вилучення соку та збільшити його вихід. З дозрілих і, як правило, дуже м'яких яблук практично неможливо рентабельно витягувати сік за допомогою преса без ферментації мезги.

З яблучної мезги, в яку були введені ферменти, дуже просто витягувати сік за допомогою декантера. Зниження в'язкості під дією ферментів при підвищеній температурі дає більшу продуктивність та краще освітлення отриманого соку. Одноступеневий процес забезпечує поєднання високого виходу та високої якості соку, хоча він не дає практичної можливості виробляти соки з м'якоттю при ферментації мезги.

До складу технологічного обладнання, необхідного для виробництва соку при ферментації мезги, входять: подрібнювач для яблук, пристрій контролю температури мезги, станція дозування ензимів та ємність для витримки, в якій протікають реакції ферментації. Подальший фазовий поділ за

допомогою декантера дозволяє досягти виходу до 90 відсотків і більше. Фінішер відокремлює залишки шкірки, насіння та ядер, що дає можливість збільшити пропускну спроможність технологічної лінії. До параметрів, що впливають вихід і якість, відносяться активність використовуваних ферментів, час витримки і температура. Спільна дія пектинази та целюлази призводить до остаточного розрідження мезги.

Повний гідроліз сахаромістких макромолекул призводить до істотного зростання вмісту цукру в соку, а також збільшення його виходу з мезги.

Технологія Wesfalia Separator frupec для виробництва освітленого концентрату. Прозорий яблучний сік зазвичай виробляють шляхом розведення концентрату. При такому підході яблучний сік спочатку витягають, а потім після обклеювання та фільтрування випарюють до досягнення потрібного показника концентрації від 70 до 720 Brix . За технологією Wesfalia Separator frupec сік витягується з яблучної мезги за допомогою декантерів у два етапи. Перший ступінь вилучення соку за допомогою декантера відповідає виробництву соку з «натуральною каламутністю». Швидка переробка (з використанням або без ферментів) дає каламутні соки преміум класу стабільно високої якості.

Вичавки, з яких видалена більша частина вологи, відразу після вивантаження з першого декантера розбавляються конденсатом пари з випарного апарату і нагріваються до температури близько 450-500°C.

Після закінчення часу реакції знову відбувається фазовий поділ у другому декантері. Введення ферментів під час протікання реакції збільшує вихід та продуктивність. Сік, отриманий у другому декантері , зазвичай не придатний для виробництва соку з м'якоттю. В ідеальному варіанті з нього виробляють освітлений концентрат.

На рис. 1 зображена лінія Wesfalia Separator frupec з ємностями реакторів для ферментативного руйнування пектину. Розташований далі сепаратор служить для подальшого освітлення.

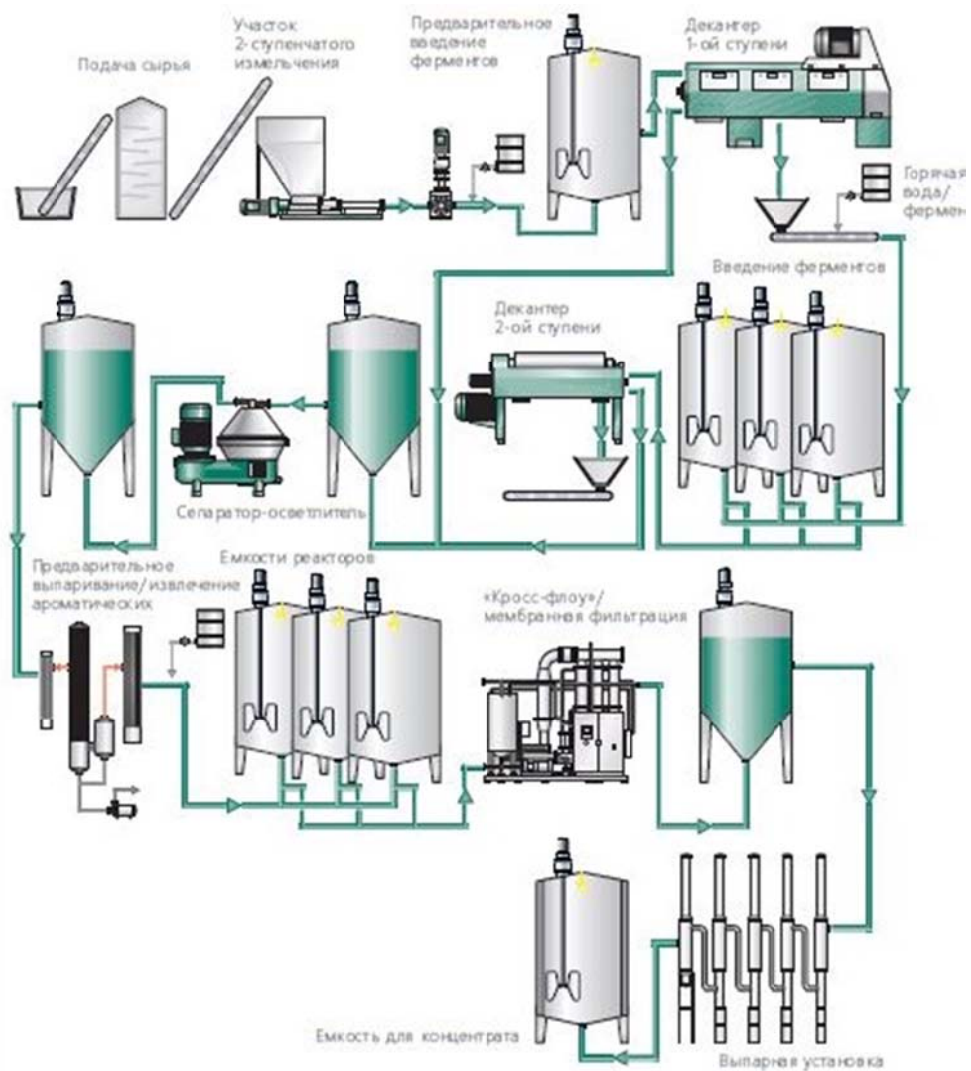


Рис. 1. Лінія Wesfalia Separator frupex для виробництва концентрованого яблучного соку

На першому етапі випарювання з отриманого таким чином соку вилучаються ароматичні речовини, а випарювання продовжується до отримання напівконцентрату з показником 200 Brix. Напівконцентрат, з якого вилучені ароматичні речовини, необхідно стабілізувати, щоб не допустити подальшого помутніння внаслідок реакції фенольних компонентів та білків. Для цього використовуються обклеювальні речовини (такі як бентоніт, желатин та кізельгур) та/або ферменти. Щоб досягти максимального можливого ефекту необхідно провести попередні випробування з високою точністю.

В останні роки знайшов визнання метод ультрафільтрації. Застосування керамічних мембран має багато переваг, зокрема можливість згущення ретентату до 90 процентної об'ємної концентрації.

Серед інших переваг керамічного матеріалу – механічна міцність: він легко витримує тиск до 100 бар, а також температури вище 1000 °С. Багато переваг цих систем, також як технологія та обладнання.

У випарному апараті напівконцентрат доводиться до необхідного показника Brix.

Крім механічних параметрів, ключовими факторами є ступінь стиглості яблук, їх температура, і навіть введення ферментів у мезгу. Наведені значення відносяться для використання декантерів на першому ступені технологічного процесу Wesfalia Separator frupec .

На другому ступені продуктивність декантерів приблизно на 25 відсотків нижча.

Вихід готового продукту. Дорога сировина часто вимагає економічного вилучення соку при виконанні відповідних вимог до якості.

Найпростішим чисельним виразом виходу при вилученні соку з яблук буде кількість соку в кг, яке можна отримати зі 100 кг маси.

Однак для того, щоб швидко визначити показники виходу соку, можна використовувати визначення сухої речовини в вичавках, що вивантажуються. Ці значення можна отримати за допомогою сушильної інфрачервоної лампи протягом 20–30 хвилин.

2.2 Виробництво концентрованого яблучного соку без застосування ферментів

Збір яблук.

Яблука збирають вручну з кінця липня до осені. При цьому в справу йдуть не лише зірвані з дерев плоди, а й яблука із землі (падалка), проте відсіваються

гнилі, недозрілі та пошкоджені плоди – вони псують смак соку, роблячи його каламутним та кислим. Обробку відібраної сировини необхідно розпочати протягом доби, оскільки яблука активно втрачають вологу. Щоб уповільнити процес їхнього підсихання, для зберігання використовуються бункери з нержавіючої сталі.

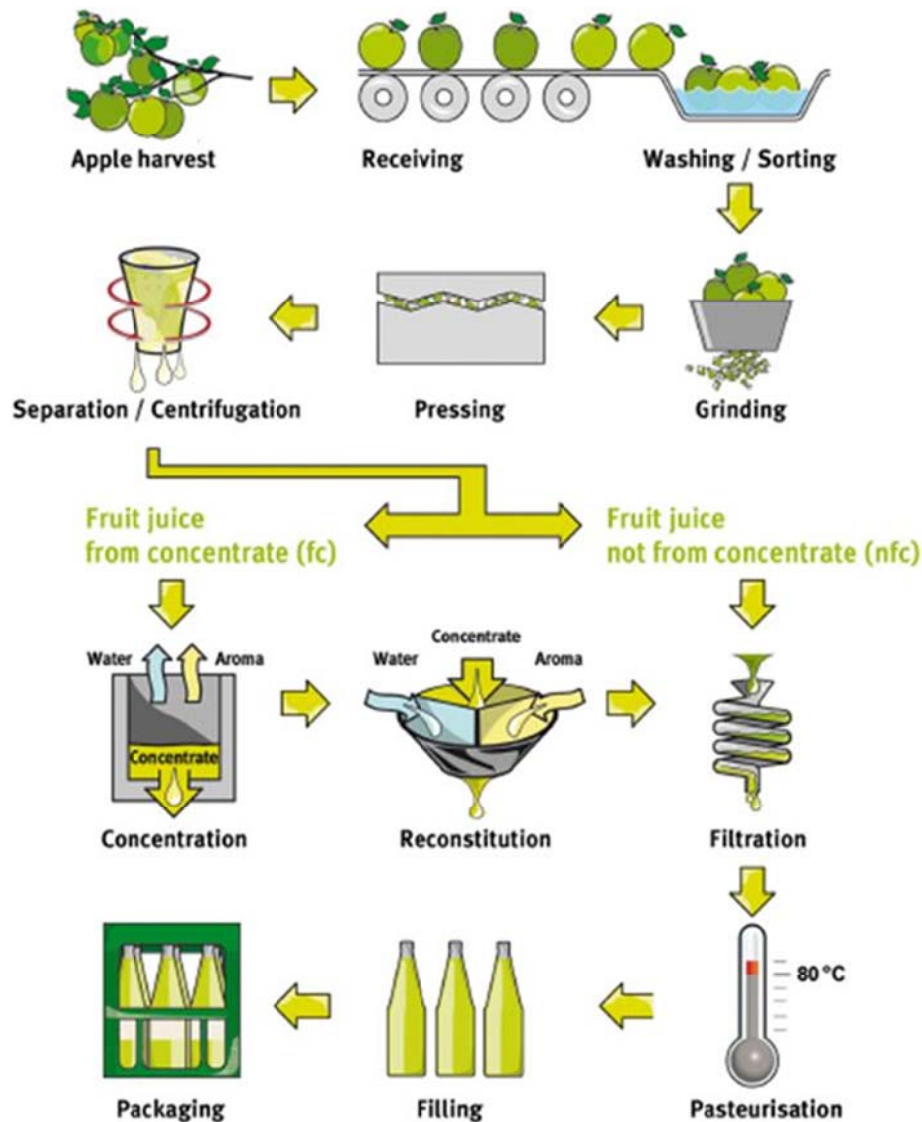


Рис. 2. Основні етапи виробництва концентрованого яблучного соку

Миття та сортування плодів.

Перший етап обробки – миття та очищення. Яблука обмивають у щітково-барботажних мийних машинах – ваннах із харчової нержавіючої сталі з повітропроводами на дні. Спочатку плоди обробляються щітками від сміття, потім проганяються над активними бульбашками повітря в холодній воді

ванни, після чого потрапляють на конвеєрний транспортер, де їх сортують вручну і відбраковуюють.

Подрібнення яблук із видаленням живців та кісточок.

Очищені та вимиті яблука потрапляють у дробарку, де подрібнюються до стану мезги, що прямує на преси віджиму. Попередньо сировина проходить барабан, що обертається, де повністю віджимається від вологи.

Віджимання соку в пресах.

Для віджимання соку на заводах використовуються гвинтові, рамкові, барабанно-пневматичні чи стрічкові преси, що працюють під тиском. Найкращий варіант – повністю автоматичний стрічковий прес (ефективність – до 75%), рамкові вимагають установки нагнітального насоса, дозатора та поворотного столу, барабанні прості в експлуатації та здатні віджимати максимально більші обсяги мезги у середовищі інертного газу, не ушкоджуючи продукт. Найекономічніший варіант – гідравлічний прес: мінімальні витрати, якість віджиму до 80%, проте потребує трудовитрат.

Фільтрування соку.

Отриманий після віджиму сік цілком придатний для вживання, але не має «товарного» виду: він каламутний, концентрований і кислуватий. Щоб очистити його, використовують потужні сітчасті фільтри, куди нагнітається сік насосом. Після цього проводиться друга фільтрація в спеціальних трубах, що фільтрують, наповнених безліччю мембран і трубочок. Сік проганяється по них під тиском, повністю очищається від частинок мезги і набуває прозорості.

Пастеризація соку

Наступний етап - короткочасне нагрівання соку пастеризаторах. Це потрібно для нейтралізації шкідливих мікроорганізмів.

Виварювання соку-сирцю з видаленням вологи (отримання концентрованого соку).

Так виходить густий концентрований яблучний сік з яскравим ароматом та щільним смаком, який можна розливати у бочки, зберігати довго та використовувати у подальшому харчовому виробництві.

2.3 Виробництво яблучного соку без м'якоті

Виробництво яблучного соку без м'якоті складається з наступних технологічних стадій: приймання та підготовка сировини, миття, інспекція, дроблення, термічна обробка, вилучення соку, стерилізація, фасування та зберігання.

Першою операцією є миття, яке здійснюють у двох послідовно встановлених мийних машинах. Миті плоди перевіряють, видаляючи уражені шкідниками та хворобами. Після миття плоди подрібнюють на дискових або теркових дробарках: насіння (яблука, айву, груші) на частинки розміром 2...6 мм.

Кісточкові плоди та ягоди обробляють на вальцьових дробарках. Дробарки повинні бути відрегульовані таким чином, щоб не відбувалося роздавлювання кісточок. Вміст подрібнених кісточок у меззі не більше 15%, невелика їх кількість покращує смак та запах соку.

Для деяких плодів та ягід одного дроблення недостатньо для отримання соку. Щоб полегшити вихід соку, необхідна їхня додаткова обробка, яка включає нагрівання або обробку електричним струмом; ферментні препарати не використовуються.

Дія електричного струму в спеціальних пристроях - електроплазмолізаторах - може піддаватися мезга майже всіх плодів і ягід з щільною шкіркою.

Оброблену мезгу подають на пресування, для чого застосовують гідравлічні пакетні преси періодичної дії або безперервної - шнекові або стрічкові.

При виробництві яблучного освітленого соку висвітлюють проціджений сік. Коли готують соки для дитячого харчування, освітлення можна проводити обклеюванням з використанням 1% розчинів желатину або таніну і желатину.

Освітлений сік фільтрують і направляють на підігрів та фасування.

При виготовленні соків з цукром або купажованих змішування соків та додавання цукру здійснюють перед нагріванням.

Сік, що фасується в дрібну тару з подальшою стерилізацією, нагрівають до 75...80 °С і фасують у підготовлені пляшки або банки. При виробництві соку з вітаміном С гарячий сік додають аскорбінову кислоту, перемішують 5...10 хв і відразу передають на фасування .

Наповнену тару закупорюють і направляють на стерилізацію (пастеризацію), яку проводять при 85, 90 або 100°С залежно від кислотності соку та місткості тари, тривалість стерилізації від 10 до 20 хв.

У велику тару місткістю 2, 3 та 10 дм³ можна фасувати соки так званим гарячим розливом без подальшої стерилізації. При гарячому розливі нагрівають сік до 95...97°С. з автоматичним регулюванням температури і відразу ж розливають у підготовлені гарячі банки, які закупорюють прокип'яченими кришками.

Банки на 20 хв. укладають на бік для стерилізації верхнього незаповненого простору тари, після чого обдувають холодним повітрям для зниження шкідливого впливу теплоти на якість соку.

Машино-апаратурна схема комплексу технологічного устаткування виробництва освітлених фруктових соків представлена на рис. 3.

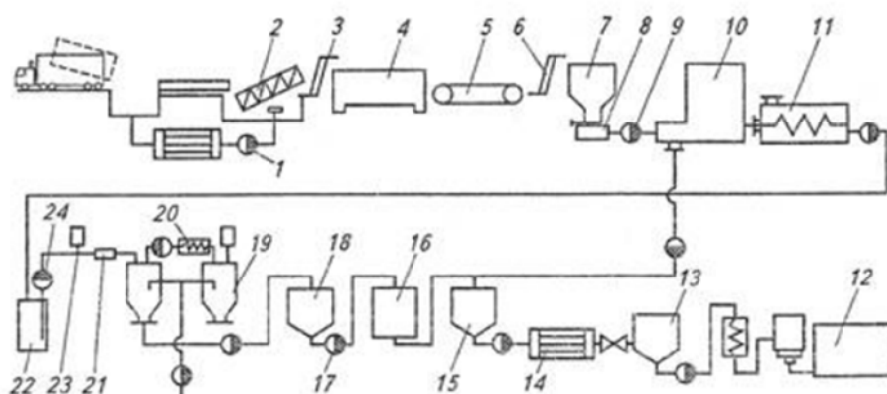


Рис. 3. Машино-апаратурна схема комплексу технологічного обладнання для виробництва яблучного соку:

Вона складається з насосів 1, 9, 17 і 24, шнекового віддільника 2, елеваторів 3 і 6, мийної машини 4, інспекційного конвеєра 5, збірників 7, 13, 15, 18, 19 і 22, дробарки 8, преса 10, охолоджувача 11, пастеризатора 12, фільтрів 14 і 16, охолоджувача 20, статичного трубчастого змішувача 21 і дозатора 23 пектолітичних препаратів.

Плоди, що надійшли на переробку, засипають у бетонні ванни, звідки гідротранспортером по підземних каналах вони направляються в цех.

Тут за допомогою шнекового відділювача 2, розташованого в бетонній ванні (ямі), плоди відокремлюють від води і за допомогою елеватора 3 з душовим пристроєм піднімають до машини для остаточного миття 4.

Вода, що надходить із шнекового відділювача і містить великі забруднення (камені, гілки, листя тощо), потрапляє на завантажувальну лійку похилого шнекового конвеєра з перфорованим дном, що затримує та видаляє забруднення.

Очищена вода стікає у ванну (яму), звідки за допомогою насоса 1 подається назад в бетонні ванни з плодами для повторного її використання.

Промиті плоди перевіряють на конвеєрі 5, видаляючи непридатні для переробки плоди, і елеватором 6 піднімають до приймального збірника 7, ополіскуючи плоди струменем чистої води. Яблука зі збірника в необхідній кількості (в залежності від продуктивності преса) подають на дробарку 8. Подрібнена плодова маса негайно направляється насосом 9 на пресування 10. Отриманий сік в установці для пресування очищають від можливих великих частинок і після пастеризатора-охолоджувача 11 направляють ємностей для депектинізації.

Сік після пастеризації та охолодження (45...50 °C) спочатку направляють у проміжний збірник 22, звідки дозувальним насосом 24 він засмоктується в ємності для депектинізації. По дорозі в трубопровід вводять пектолітичний препарат за допомогою дозатора 23 і перемішують його в статичному трубчастому змішувачі 21. Процеси депектинізації і освітлення протікають в

залежності від виду застосовуваного препарату. Якщо препарат для освітлення вимагає охолодження соку, його після депектинізації через охолоджувач 20 перекачують в ємності для освітлення 19 і додають препарат вручну. Якщо охолодження не потрібно, сік у цьому випадку не перекачують, а препарат для освітлення вводять у ємність для депектинізації. Після закінчення депектинізації та освітлення утворився на дні ємності осад перекачують у збірник для приймання осаду 18, звідки його направляють насосом 17 фільтр 16.

Отриманий таким чином сік за допомогою насоса перекачують у збірник 19, додають куди сік, отриманий від фільтрації осаду. Суміш соків знову направляють на фільтр 14 для отримання повністю освітленого соку, готового до фасування в пляшки.

Цей сік збирають у приймальному збірнику 13, а потім направляють на лінію фасування пляшки, де він попередньо деаерується і пастеризується.

Фасування соку у пляшки відбувається при 80 °С з подальшою додатковою пастеризацією та охолодженням у тунельному пастеризаторі-охолоджувачі.

Технічна характеристика комплексу технологічного обладнання для виробництва яблучного соку

Продуктивність по сировині, кг /год.....3000

Загальна встановлена потужність обладнання, кВт.....106,85

Загальна витрата:

води, м³/год.....12

пара, т/год.....500

Чисельність обслуговуючого персоналу, чол.....1

3. Критичний огляд існуючого технологічного обладнання

Проведено аналіз обладнання в консервній галузі. Розглянуто апарати для підігрівання та випарювання яблучного соку.

Розрізняють апарати прямоточні – з одноразовим проходженням розчинів через них – та апарати з багаторазовою циркуляцією. Циркуляція розчинів може здійснюватися за рахунок відмінності густини в окремих точках апаратів і забезпечувати цим природну циркуляцію розчину або для її посилення встановлюють насоси, що забезпечують більш енергійну примусову циркуляцію. Теплообмінні поверхні апаратів з обігрівом водяною, вторинною парою виготовляються із трубних елементів, які дозволяють у малому обсязі розвивати значні поверхні теплообміну. Випарні кожухотрубчасті апарати з природною циркуляцією відносяться до найпоширеніших випарних апаратів поверхневого типу. Це зумовлено тим, що в порівнянні з апаратами інших типів (з тією ж площею поверхні теплообміну) вони значно дешевші у виготовленні, прості в обслуговуванні, і при цьому в багатьох випадках забезпечують високі коефіцієнти теплопередачі.

Конструктивно такі апарати складаються з :

- кожухотрубчастої камери, що гріє, в міжтрубний простір якої подається теплоносіє (як правило, водяна пара), а в трубах кипить продукт;
- Сепаратора, де відбувається відділення вторинної пари від рідкого продукту;
- циркуляційної труби, що з'єднує нижню частину сепаратора з нижньою частиною камери, що гріє.

Природна циркуляція продукту, що випаровується, в такому апараті здійснюється за рахунок різниці густини парорідкісного потоку в теплообмінних трубах і рідини в нижній частині сепаратора і циркуляційній трубі. На рис. 4 показана конструкція випарного трубчастого апарату з

природною циркуляцією і винесеною камерою, що гріє.

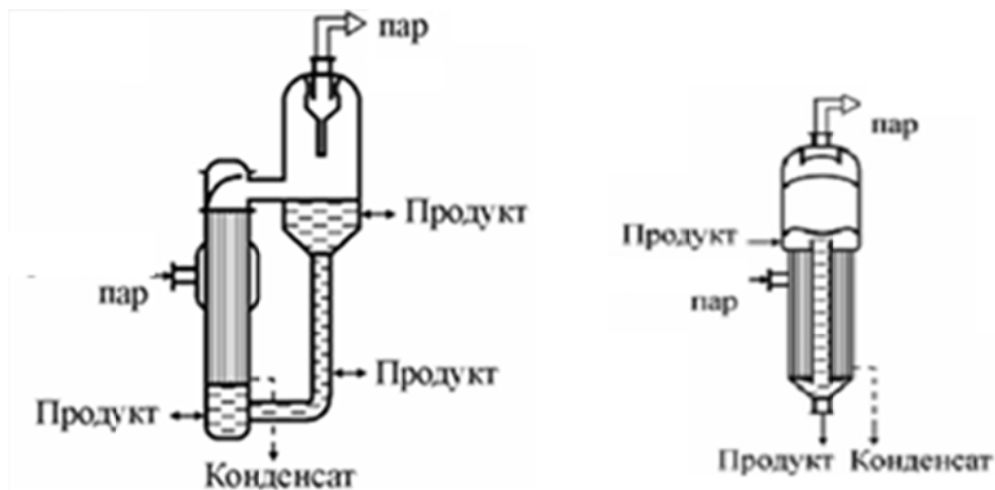


Рис. 4. Випарні апарати з винесеною та співвісною гріючими камерами

У апаратів цього типу кипіння розчину, що випаровується, відбувається в теплообмінних трубах. Апарати цих конструкцій забезпечують досить легкий доступ до теплообмінних труб для їх очищення механічним способом при зупинці. Внаслідок цього апарати з винесеною гріючою камерою придатні для випарювання розчинів, що утворюють на поверхні, що гріє осад, що видаляється механічним способом. На рис. 4 показана конструкція широко поширених раніше трубчастих апаратів з природною циркуляцією, співвісною камерою, що гріє, і центральною циркуляційною трубою. Такі апарати призначалися для випарювання розчинів, що не кристалізуються, не утворюють накип або з дуже незначним утворенням накипу на гріючих трубах, яка може бути видалена промиванням. До нестачі цих апаратів можна віднести нагрів циркуляційної труби, який уповільнює циркуляцію. Через обмеження у застосуванні таких апаратів нині спостерігається тенденція до скорочення їх використання. На рис. 5 показана конструкція випарного трубчастого апарату з висхідною плівкою.

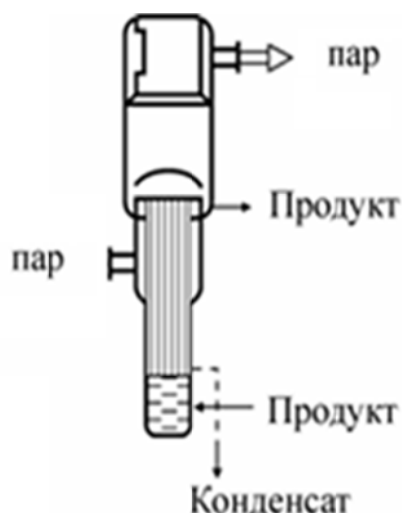


Рис. 5. Конструкція трубчастого апарату з висхідною плівкою

Апарат призначений для випарювання розчинів, що піняться, не виділяють осаду. Піногасіння досягається за рахунок створення теплообмінних трубах апарату стійкого висхідного кільцевого двофазного течії з високими швидкостями парової фази, що може бути досягнуто, наприклад, при випаровуванні під вакуумом. Особливості конструкції цього апарата забезпечують його роботу в безциркуляційному режимі, коли розчин, що випаровується, подається під нижню трубну решітку і після проходження через камеру, що гріє, повністю видаляється з нижньої частини сепаратора. Випарники представлені на рис. 4, 5, оснащені трубами із зовнішнім діаметром 38 мм довжиною 4-6 м і площею поверхні теплообміну від 10 до 630 і навіть 800 м².

Недоліки існуючих конструкцій кожухотрубчастих випарних апаратів:

- підвищене накипоутворення при обробці харчових ННР;
- великі габарити апаратів та пов'язана з цим необхідність високих виробничих приміщень та ускладнення обслуговування, а також значне зменшення коефіцієнта теплопередачі при підвищенні в'язкості продукту;
- великий обсяг продукту, що у апараті;
- застосування випарних апаратів з природною циркуляцією для випарювання продуктів із підвищеною в'язкістю (вище 5...8 Па с)

недоцільно, оскільки під час роботи з такими продуктами коефіцієнт теплопередачі випарних апаратів із природною циркуляцією сильно знижується (рис. 6) [9-12].

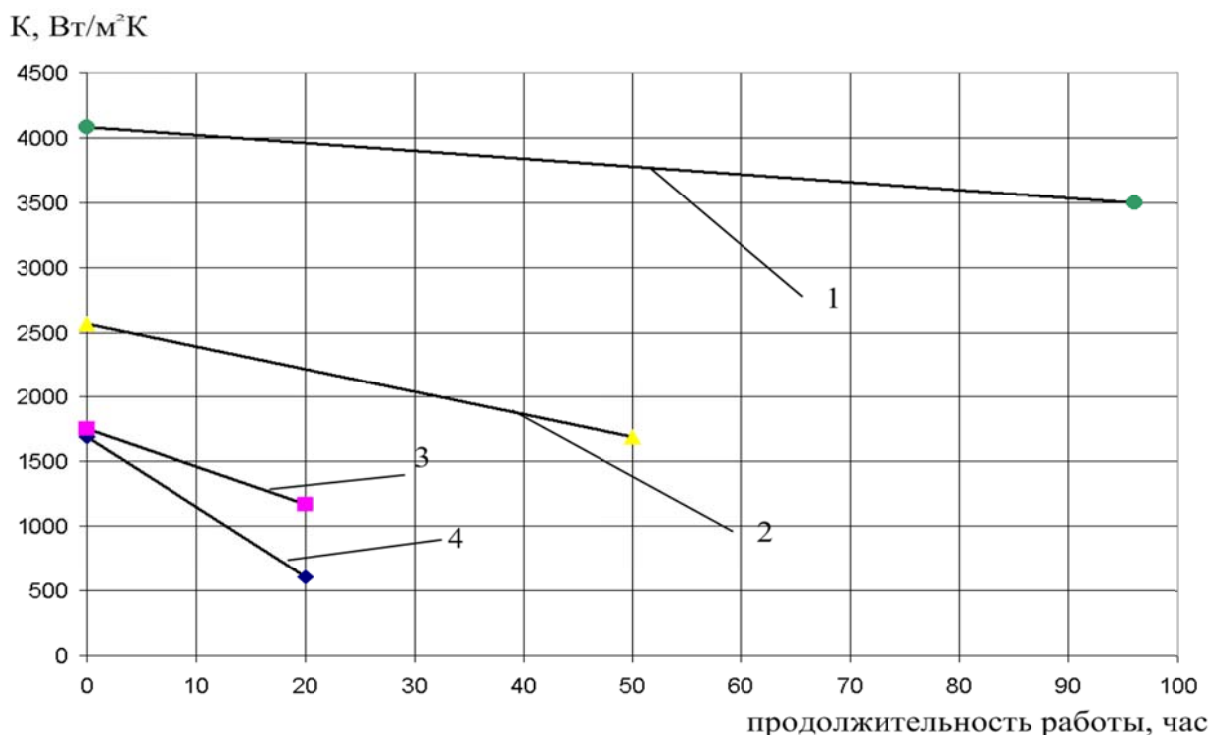


Рис. 6. Зміна коефіцієнтів теплопередачі різних випарних апаратів від часу роботи: 1 – апарат із примусовою циркуляцією, 2 – апарат із винесеною зоною кипіння, 3 – двоходовий апарат колонного типу, 4 – апарат із кипінням у трубках

На рис. 6 наведено значення коефіцієнтів теплопередачі при упарюванні содо -поташних розчинів для отримання кухонної солі.

Високий вплив на передачу тепла в теплообмінних апаратах також в'язкість продукту.

Апарат з примусовою циркуляцією

Найменше схильний до накипуутворення апарат з примусовою циркуляцією. Для випарювання нестійких до підвищених температур в'язких розчинів застосовують роторні прямоточні апарати (рис. 7). Всередині циліндричного корпусу 1 апарату, забезпеченого паровими сорочками 2, обертається ротор

3, що складається з вертикального валу (розташованого по осі апарату) і шарнірно закріплених на ньому скребків 4. Випарюваний розчин надходить в апарат зверху, захоплюється обертовими силами стінок апарату і переміщається по їх внутрішній поверхні у вигляді плівки, що турбулентно рухається.

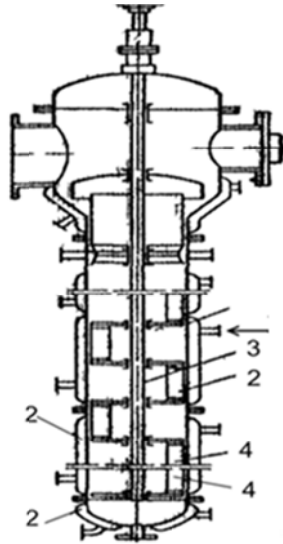


Рис. 7. Роторний випарний апарат

Поступово відбувається повне випарювання плівки, і на стінках апарату утворюється тонкий шар порошку або пасти, який знімається скребками, що обертаються (зазор між зовнішньою кромкою скребків і стінкою апарату становить менше 1 мм). Твердий або пастоподібний продукт видаляється через спеціальний секторний затвор із днища апарату. У роторних прямоточних апаратах досягається інтенсивний теплообмін при невеликому винесення рідини вторинною парою. Разом з тим роторні апарати складні у виготовленні і відрізняються відносно високою вартістю експлуатації, внаслідок наявності частин (ротора), що обертаються. Є кілька різновидів роторних прямоточних випарних апаратів, зокрема апарати з горизонтальним корпусом.

Апарати з рухомою поверхнею нагрівання (рис. 8). Застосування останньої конструкції викликане прагненням інтенсифікувати процес теплообміну [3].

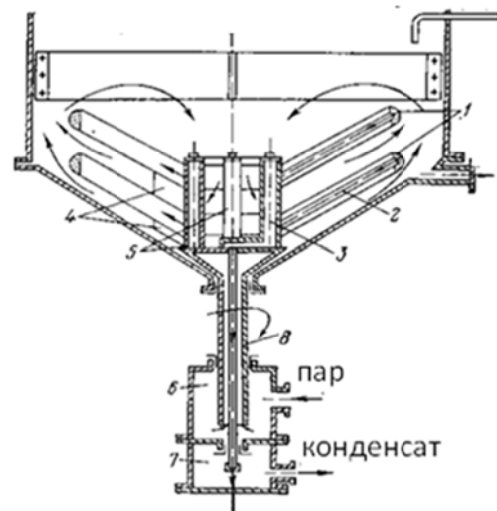


Рис. 8. Випарний апарат з поверхнею теплообміну, що обертається: 1 - диски поверхні нагріву; 2 - трубка відведення конденсату з камери, що гріє; 3 - вертикальні конденсаторівідні труби; 4 – лопаті; 5 – парові трубки 6 – парова камера; 7 – камера конденсату; 8 - вал ротора

Рухливість поверхні нагрівання забезпечується її обертанням або вібрацією. У таких апаратах швидкість руху рідини щодо поверхні нагрівання висока, внаслідок чого суттєво підвищується інтенсивність теплообміну; відкладення зменшуються або запобігають повністю. При цьому значно підвищується ступінь концентрування розчинів. Апарати такого типу найбільш прийнятні для обробки харчових ННР.

Якщо для випаровування летких компонентів не можна забезпечити достатньої кількості тепла, то ефективні теплообмінні поверхні звичайних машин часто виявляються недостатніми.

Тому були створені порожнисті шнеки, гвинтові гребені яких також можуть використовуватись безпосередньо як поверхні теплообміну. Такі машини з порожніми шнеками були розроблені в 1953 г. І. Д. Крістіаном - співробітником фірми Holo-Flite International (США). У ФРН вони виготовлялися фірмою « Lurgi » під назвою теплообмінника « Holoflite » у двох- і чотирьох шнекових виконаннях з шнеками, що взаємозачіплюються , але без самоочищення (рис. 9) [4].

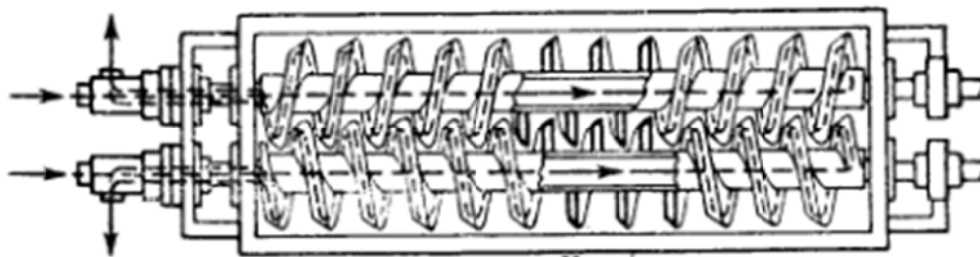


Рис. 9. Шнековий теплообмінник « Holoflite »: 1 – шнек, 2 – порожнистий вал, 3 – ущільнення

Найважливішим критерієм в оцінці дегазаційних шнеків здавна була надійність роботи дегазаційних отворів. Було запропоновано та апробовано таку кількість варіантів геометричного виконання дегазаційних отворів у вигляді однопрохідних «кишень», поворотних відводів або перекриттів (перемичок). Істотно, однак, вказати на те, що немає ідеальної конструкції дегазаційного отвору для всіх випадків. Застосовність та надійність в експлуатації певного дегазаційного висновку залежить від конкретних умов процесу дегазації, властивостей матеріалу, з якого видаляються леткі речовини, природи та кількості летких компонентів. При експлуатації машини для дегазації важливо не лише запобігти забиванню дегазаційного отвору і тим самим уникнути порушення (зупинки) технологічного процесу. Важливо також, щоб в отворах для виведення летких не осаджувалися частинки матеріалу, які потім потрапляють знову в машину і погіршують якість матеріалу, що переробляється.

Підігрівник КПЖ

У консервній промисловості застосовується підігрівник КПЖ (рис. 10) для дробленої маси зі спіральним ротаційним змішувачем [3].

Підігрівник складається із внутрішнього циліндру 1, розташованого в кожусі 2. З торцевих сторін циліндр і кожух закриті кришками, через які проходить порожній вал 4. До валу прикріплений спіральний змішувач 5, призначений для перемішування томатної маси і є одночасно частиною поверхні нагрівання.

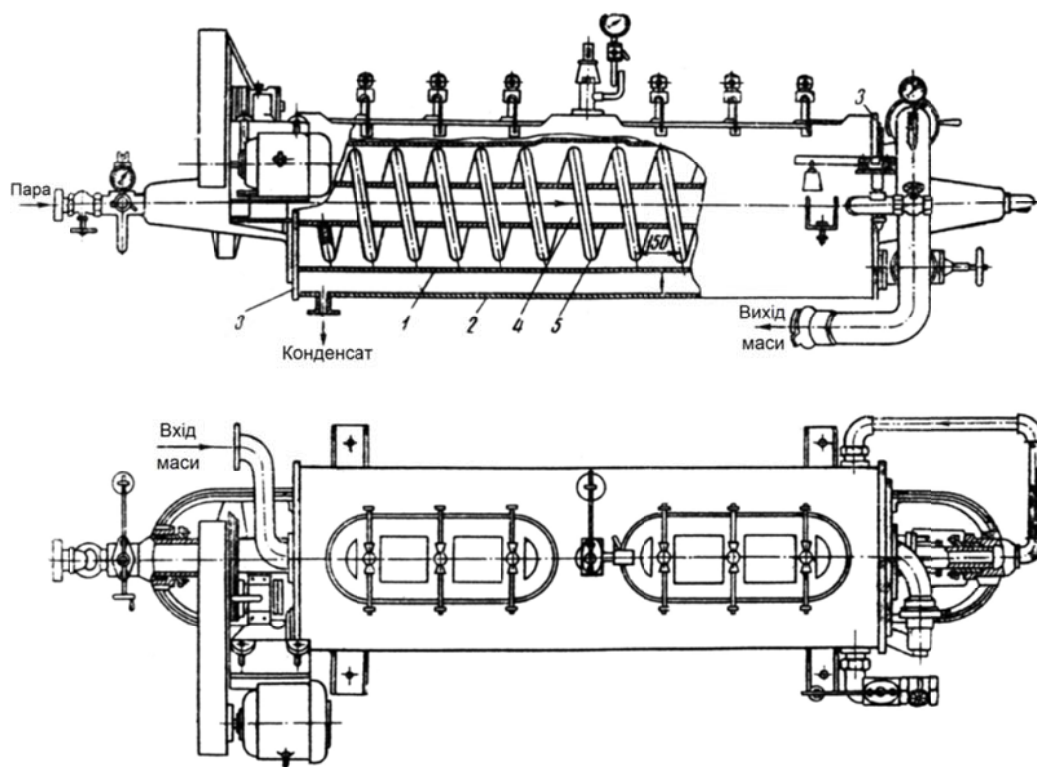


Рис. 10. Підігрівник КПЖ для дробленої маси: 1 - внутрішній циліндр, 2 – кожух, 3 - кришка, 4 - порожній вал, 5 - спіральний змійовик.

Гріюча пара, підводиться до порожнього валу з одного його кінця, проходить через порожнину валу у спіральний змійовик. Потім через інший кінець валу пара надходить у парову сорочку апарата. Конденсат, що збирається, із сорочки видаляється конденсатовідводчиком. Коефіцієнт теплопередачі апарата становить $950 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Недоліком відомої конструкції підігрівника КПЖ є наявність додаткових систем підведення пари та відводу конденсату. Поверхня нагрівання апарату утворена із циліндричної поверхні двутільної парової сорочки, що становить приблизно 60 %, поверхні спірального змійовика (близько 26 %) і порожнього валу, що становить 14 % від загальної поверхні нагрівання.

4. Обґрунтування розробки обраної конструкції

В харчовій промисловості для випарювання соків використовують апарати з сорочкою та мішалкою, або апарати з обертовою поверхнею нагріву.

Апарати з паровою сорочкою працюють не досить ефективно, так як відбувається пригар продукту до стаціонарної гріючої поверхні.

Апарати з обертовою поверхнею нагріву досить складні за конструкцією. Слабким елементом є вузол ущільнення підведення пари та відведення конденсату. Герметизація вузла з'єднання ротора, що обертається, з підводним нерухомим паропроводом і конденсатопроводом є технічно складним завданням.

Тому необхідна розробка ефективного обладнання для випарювання харчових рідин високої в'язкості.

5. Технічне завдання на проектування

1. Найменування і область застосування:

- 1) Машина призначена для випарювання соку;
- 2) Область застосування в лініях виробництва плодоовочевих консервів на підприємствах консервної промисловості;
- 3) Поставка машини на експорт не передбачена.

2. Підстава для розробки:

- 1) Підставою для розробки є завдання на дипломний проект по кафедрі ПО та ЕМ ОНТУ.

3. Мета і призначення розробки:

- 1) розробка проводиться з метою:
 - створення енергоефективної машини для випарювання соку;

4. Джерела розробки.

- 1) При розробці машини повинні бути використані наступні джерела:
 - патенти, каталоги, науково-технічна література;
 - авторські свідоцтва.

5. Технічні вимоги:

- 1) Машина складається з наступних основних складальних одиниць:

Камера нагріву

Випарник

Кришка верхня

Кришка нижня

Рама

Привід

Розгалуджений РТС

Шарнір

- 2) Габаритні розміри, не більше:

- довжина - 1200 мм;

- ширина - 900 мм;

- висота - 1300 мм.

3) Маса – 100 кг

4) Машина повинна встановлюватися в технологічних цехах консервних заводів на фермерських підприємствах невеликої потужності;

5) Вимоги до засобів захисту і стійкості до миючих засобів:

- все зовнішні металеві поверхні машини повинні бути пофарбовані світло-коричневої емаллю ПФ-115 по ДСТУ 6465-63, 5-го класу до впливу спеціальних засобів - 4/1 по ДСТУ 9.032-7;

7) Вимоги до мийних засобів, мастил:

- машина повинна митися засобами, що застосовуються в консервній промисловості для миття технологічного обладнання без пошкоджень і псування;

8) Запасні частини повинні забезпечувати роботу машини до першого капітального ремонту.

6. Показники призначення:

1) Продуктивність – 300 кг / год;

2) Встановлена потужність, кВт - до 0,75.

7. Вимоги до надійності:

1) Гарантійний термін, міс - 12;

2) Коефіцієнт готовності - 0,95;

3) Коефіцієнт технічного використання - 0,9;

4) Напрацювання на відмову, годину не менше - 100;

5) Вимоги до машини в плані стійкості від зовнішніх впливів вібрації та електричних магнітних полів не пред'являються.

8. Вимоги до технологічності:

1) Спеціальні вимоги до технологічності не пред'являються.

9. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації:

1) коефіцієнт застосовності, % не менше - 35;

2) коефіцієнт повторюваності, не менше - 2,5.

10. Вимоги до безпеки:

1) При розробці машина забезпечує виконання вимог до безпеки обслуговуючого персоналу згідно:

- ОСТ 27-00-216-75 «Система стандартів безпеки праці, машини і обладнання продовольчі. Загальні вимоги безпеки »;

- «Інструкція з техніки безпеки до виробничої санітарії для консервної, харчоконцентратної і овочесушильної промисловості»;

2) Звукова потужність, яку випромінює машина в режимі номінальної продуктивності в виробничому приміщенні не повинна створювати на робочому місці рівня звуку і рівня звукового тиску в октавних смугах частот спектра перевищують допустимі Гігієнічних норм звукового тиску і рівня на робочих місцях № 1004-73.

Чисельна величина підлягає визначенню при приймальних випробуваннях відповідно до ДСТУ 8.055-73;

3) Рівні віброшвидкості в октавних смугах частот на робочому місці у жорстко закріпленої машини, що працює в режимі номінальної продуктивності, не повинні перевищувати допустимих «Санітарними нормами СН-245-71».

Чисельна величина підлягає визначенню при приймальних випробуваннях відповідно до ДСТУ 13731-68.

11. Естетичні і ергономічні вимоги.

1) Вимоги технічної естетики:

- композиційної рішення машини повинні відповідати функціональному призначенню і бути технічно і економічно обґрунтованим;

- забезпечити єдність стильового рішення елементів форми машини;

- форма машини в композиційному відношенні повинна відповідати умовам експлуатації;

- для обробки поверхні застосувати лакофарбовий матеріал з гладкою напівматовою структурою;
- кількість кольорів для забарвлення машини не більше 3;

2) Ергономічні вимоги:

- допустимі зусилля, прикладені до робочих органів машини, а також допускається вага об'ємних елементів машини по ДСТУ 27-00-216-75;
- конструкція форми машини повинна забезпечити обслуговуючому персоналу легкість доступу до функціональних зон і безпеку роботи з її обслуговування;
- передбачити надійний захист обертових частин машини.

При розробці забезпечити патентну чистоту по Україні та іншим країнам, так як виробництво машини для поставки на експорт не намічається, згідно ЗП-1-70.

13. Вимоги до складових частин продукції:

- 3) Основним матеріалом для виготовлення машини є вуглецева сталь звичайної якості ДСТУ 380-74 і нержавіюча сталь ДСТУ 5632-72;
- 4) Застосовувані в машині матеріали і комплектуючі вироби повинні відповідати вимогам державних і галузевих стандартів, технічних умов.

12. Умови експлуатації:

- 1) Сировина, що підлягає переробці, має відповідати вимогам ДСТУ ів і технічних умов;
- 2) Машина повинна надійно працювати на режимах при температурах навколишнього середовища від +10 °С до +45 °С;
- 3) Режим роботи - дві зміни на добу протягом сезону переробки;
- 4) Обслуговування машини періодичне;
- 5) Обслуговуючий персонал - один робочий 2-го розряду;
- 6) Після транспортування і зберігання машина підлягає монтажу.

13. Вимоги до маркування та упаковки:

1) Маркування та упаковка машини повинні відповідати вимогам ОСТ 27-00-37-71 «Машини та обладнання продовольчі. Загальні технічні умови »;

2) Консервація машини повинна проводитися відповідно до вимог ДСТУ 13168-69;

3) Машина призначена для встановлення на бетонну підлогу.

14. Вимоги до транспортування, зберігання:

1) Транспортування машини може здійснюватися будь-яким видом транспорту у відповідності з їх правилами перевезень;

2) Спеціальні правила захисту від ударів при навантаженні і розвантаженні не передбачаються;

3) Упаковка і консервація повинні забезпечувати збереження машини протягом 24 місяців з дня її відвантаження споживачеві.

15. Стадії та етапи розробки (відповідно до ДСТУ 2.103-68):

1) Розробка технічного завдання, його погодження та затвердження;

2) Розробка документації на дослідний зразок:

- розробка конструкторських документів, призначених для виготовлення та випробування дослідного зразка;

- виготовлення і заводські випробування дослідного зразка;

- коригування конструкторських документів за результатами виготовлення і випробувань дослідного зразка;

- міжвідомчі випробування дослідного зразка;

- перший етап заводських випробувань проводиться на підприємстві-виробнику, другий - на підприємстві-споживачі.

16. Порядок контролю і приймання:

1) Розробка проекту ведеться одностадійно;

2) Конструкторська документація підлягає узгодженню і затвердженню відповідно до ОСТ 27.00-5-74 і ОСТ 27-00-4-75.

6. Технічний проект

6.1. Опис запропонованої машини, принцип дії, устрій

До нових типів теплопередаючих пристроїв необхідно віднести так звані теплові труби. Пристрій та принцип дії теплової труби розглянемо на прикладі одного з її різновидів, представленого на рис. 11. Теплова труба має герметичний корпус 1, на внутрішній поверхні якого розташований капілярно-пористий матеріал - гніт 2, просочений рідким теплоносієм. Корпус зазвичай виконують із круглої труби (але є й плоскі теплові труби). Тепловий потік підводять до ділянки корпусу одному з кінців теплової труби. Усередині труби на цій ділянці теплоносієм, що просочує гніт, випаровується, і його пари 3 рухаються по центральній частині труби до ділянки, що охолоджується, де вони конденсуються.

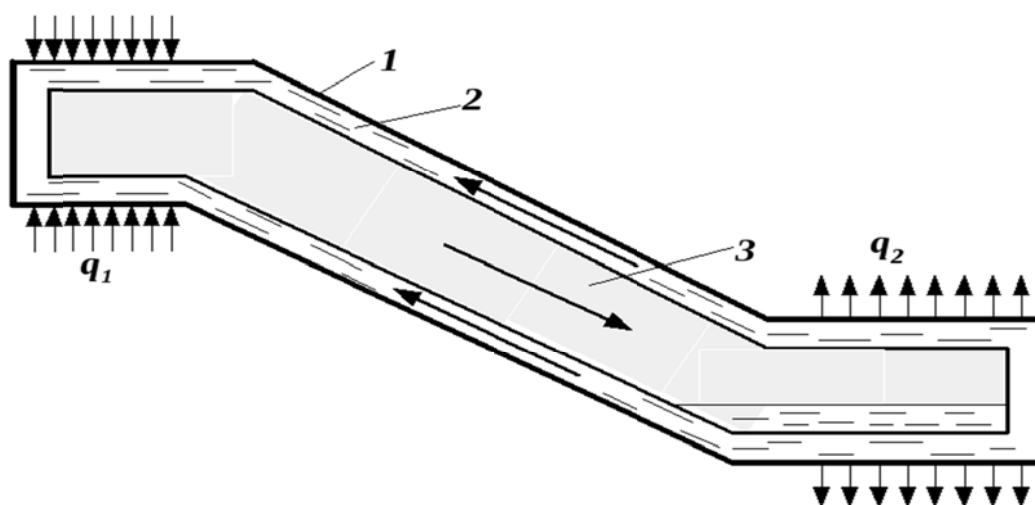


Рис. 11. Схема теплової трубки

Рідка фаза через гніт під дією капілярних сил повертається в зону випаровування. Надзвичайно теплоємні процеси пароутворення та конденсації забезпечують дуже високу щільність теплових потоків, що досягають кількох кВт/см^2 в діапазоні температур від -200 до $+2500$ $^{\circ}\text{C}$. Теплові труби здатні передавати у сотні разів більше теплоти на одиницю

маси, ніж такі метали, як мідь та срібло (теплопровідність теплової труби у 1000 разів більша, ніж міді).

Класифікують теплові труби за такими ознаками.

1. За температурним діапазоном:
 - кріогенні – ($T < 200 \text{ K}$);
 - низькотемпературні - ($T = 200 \dots 550 \text{ K}$);
 - Середнього діапазону - ($T = 550 \dots 750 \text{ K}$);
 - Високотемпературні - ($T > 750 \text{ K}$).
2. По виду теплоносіїв:
 - металеві (калій, натрій, срібло та ін.);
 - неметалічні (вода, аміак, фреони, кріогенні рідини, високі температурні органічні теплоносія та ін.).
2. За формою оболонок та гнотів:
 - Циліндричні,
 - Плоскі,
 - Коаксіальні,
 - Кільцеві.
2. За родом матеріалу оболонок та гнотів:
 - алюмінієві труби з сітчастим гнотом з нержавіючої сталі або алюмінієвої металокераміки;
 - Мідні труби з гнотом з мідної сітки, повсті, кераміки.

Факторами, що характеризують роботу теплової труби та визначають її ефективність, є:

1. Перенесення теплоносія в капілярнопористому гноті, тобто робота капілярного насосу;
2. Теплоснімання шляхом випаровування теплоносія з капілярнопористого тіла;
3. Гідродинаміка процесу перенесення маси у паровій фазі від випарника до конденсатора;

4. Тепловіддача при конденсації пари на пористу поверхню та відведення тепла теплопровідністю через гніт та стінку трубки.

Будь-який із вищезгаданих факторів може виявитися лімітуючим, однак найбільш вузьким місцем в успішному використанні теплових трубок є перші два фактори.

Отримати аналітичні залежності для обчислення щільності теплового потоку, що передається тепловою трубою, дуже складно, так як необхідно враховувати динаміку потоку рідини і пари, кінетику фазових переходів на поверхні розділу рідина - пара, перенесення енергії в капілярно-пористих тілах. З цієї причини нині застосовуються різні напівемпіричні залежності, [8].

Найбільш широкі можливості застосування теплових труб у системах теплопередачі. Наприклад, у двигунах Стирлінгу для регенерації теплоти; для охолодження олії в картерах ДВС та пароутворення бензину; для охолодження стиснених газів у компресорних станціях; у різного роду побутових теплообмінниках та ін.

Теплопровідність теплових труб та термосифонів та пристроїв на їх основі на порядки перевищує теплопровідність металів, що дозволяє ефективно застосовувати їх для вирішення задач з теплопередачі та термостатування різних об'єктів.

Застосування теплообмінників на теплових трубах в харчовій промисловості досить обмежено. Відомі конструкції сушарок з використанням теплових труб та сушарок з тепловими трубками що обертаються.

В роботі [10] представлена конструкція шнекової сушарки на базі кільцевої ТТ. Застосовано при сушінні керамічного шламу. Загальний коефіцієнт теплопередачі виявився на 35 % вище, ніж у звичайної сушарки з паровою сорочкою. Розроблена сушарка компактна і дозволяє економити енергію в процесах сушіння. Безпосереднім попередником теплових трубок був термосифон.

Всередину корпусу трубки невелику кількість рідини, відкачують повітря та герметизують (запаюють). При підведенні тепла до зони випаровування рідина переходить у пару, тиск насичення пари в цій зоні різко підвищується, пара рухається вгору в зону з меншим тиском, конденсується і стікає по стінках вниз. Необхідною умовою роботи є відведення тепла від зони конденсації. Неприпустимий також перегрів у зоні випаровування - може настати криза кипіння (вся рідина випарується) і теплопередача під стінками термосифона. Відмінною особливістю системи теплопередачі є спосіб повернення конденсату - під дією гравітаційного поля. Тому термосифон може працювати тільки тоді, коли зона випаровування знаходиться нижче за зону конденсації. На кафедрі ПО та ЕМ розроблено випарну установку з ротаційним термосифоном.

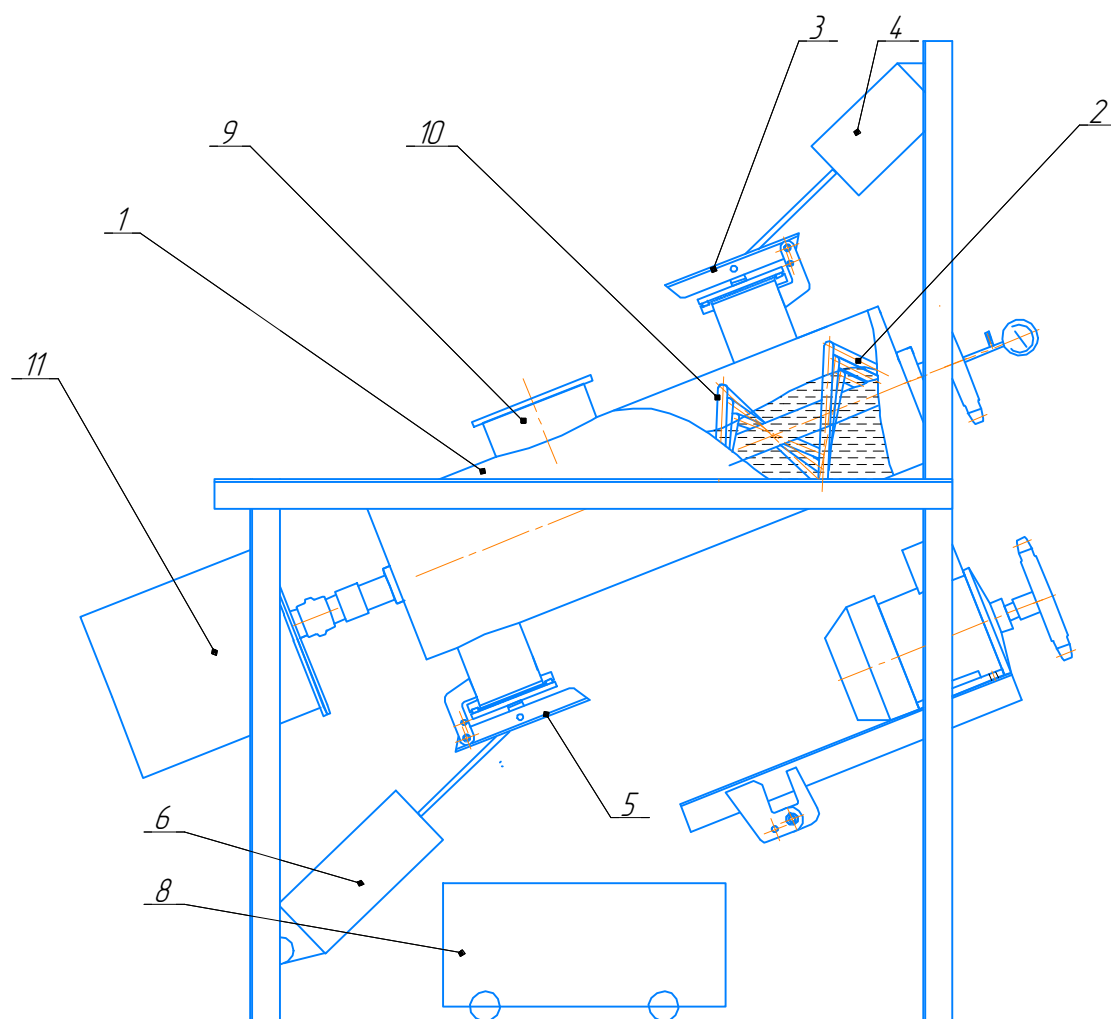


Рис. 12. Енергоефективна випарна установка

Випарна установка містить циліндричний корпус 1, всередині якого знаходиться шнековий РТС 2 (рис. 12). Шнековий РТС складається з випарника 11 та конденсатора 10. Зверху корпусу встановлено кришку 3, що приводиться в рух пневматичним циліндром 4, а в днищі корпусу виконано кришку 5 з пневматичним циліндром 6. Під корпусом встановлений збірник 8 для нагрітого продукту. На корпусі прикріплено патрубок 9 для відкачування повітря та пари.

Робочий цикл починається з переміщення кришки 3 вгору, в результаті чого відкривається верхній люк. За допомогою насоса (на схемі не показаний) циліндричний корпус наповнюється рідким продуктом. Після цього кришка 3 закриває отвір люку. Вмикається вакуум насос та створюється вакуум для обробки продукту. Продукт перемішують та нагрівають протягом часу, необхідного для здійснення процесу. Після цього відкривають нижню кришку 5, через яку готовий продукт вивантажують в збірник 8. Потім кришку 5 закривають і цикл роботи повторюється.

6.2 Технологічний розрахунок

6.2.1 Технологічний розрахунок камери

Технологічний розрахунок камери має на меті визначити її основні розміри. Камера складається з трьох частин: циліндричної обичайки, верхнього і нижнього днищ.

Розміри камери визначаємо виходячи з вимоги до її номінального об'єму.

Номінальний об'єм за завданням становить:

$$V=0,075 \text{ м}^3$$

Задаємося внутрішнім діаметром корпусу апарату:

$$D = 250 \text{ мм},$$

Довжина циліндричної частини апарату:

$$L = 4 \cdot V / (\pi \cdot D^2) = 4 \cdot 0,075 / (\pi \cdot 0,25^2) = 1,53 \text{ м}$$

6.2.2 Продуктивність апарату

Номінальний об'єм циліндричного корпусу $0,075 \text{ м}^3$, час випарювання 1000 с, продуктивність технологічної лінії, в якій встановлена випарна установка становить 300 кг/год.

Маса продукту, що знаходиться у камері:

$$M = V \cdot \rho = 0,075 \cdot 1080 = 81 \text{ кг},$$

Де $\rho = 1080 \text{ кг/м}^3$ – густина продукту.

Продуктивність апарату:

$$G = \frac{M \cdot 3600}{\tau_n} = \frac{81 \cdot 3600}{1000} = 300 \text{ кг/год}$$

Продуктивність апарату відповідає технологічній лінії, в якій його встановлено.

6.3 Силовий розрахунок, вибір електродвигуна

Шнеки (спеціальні гвинти) широко застосовуються у різноманітних шнекових пристроях: живильниках, дозаторах і пресах. Кожен такий пристрій є циліндричним кожухом, усередині якого розташований один або два шнеки. Кожух має приймальний бункер та спеціальним чином оформлений вихідний отвір (матриця, сопло, мундштук). За наявності двох шнеків їм надають зустрічний обертальний рух. Кожен пристрій має привід.

За конструкцією шнеки поділяються на суцільні та лопатеві, які можуть виконуватися з правильною прямою та косою гвинтовими поверхнями, зі змінним аксіальним та радіальним кроком.

З досвіду роботи багатьох шнекових пристроїв відомо, що під дією гвинтової поверхні шнека матеріал, що транспортується, рухається не паралельно його осі, а гвинтоподібно зі змінною швидкістю в осьовому і радіальному напрямках в залежності від відстані частинок матеріалів до осі шнека, від коефіцієнта тертя і величини протитиску.

Оскільки кути підйому гвинтових ліній правильної гвинтової поверхні шнека змінюються, збільшуючись від периферії до центру шнека, осьове переміщення частинок матеріалу, розташованих у радіальному напрямку, буде неоднаковим.

6.3.1 Розрахунок шнекового робочого органу як мішалки

Розрахунок полягає у визначенні основних параметрів: інтенсивності перемішування, робочого об'єму, потужності, частоти обертання.

Під час роботи мішалки виникають струми рідини. Якщо частота обертання невелика, то рідина обертається у площині руху лопатей і перемішується з іншими шарами. Інтенсивне перемішування виникає лише внаслідок утворення вторинних потоків вихрового руху.

Прийнявши циркуляцію рідини в змішувачі як перебіг у трубопроводі складної форми [6], можна отримати критеріальне рівняння для розрахунку споживаної потужності:

$$Eu = f(Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

де Eu - критерій подібності полей тиску (число Ейлера); Re - критерій режиму руху рідини (число Рейнольдса); Fr - критерій гідравлічної подібності (число Фруда); $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots$ - параметричні критерії, що характеризують геометричні розміри мішалки та змішувача.

Вплив сил тяжіння на рух рідини в змішувачі невеликий, і їх можна знехтувати. Тоді $Eu = f(Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$, де $Re = v_{cp} d \rho / \eta$, $Eu = \Delta p / (\rho v_{cp}^2)$ - v_{cp} середня лінійна швидкість суміші; d - Визначальний лінійний розмір прохідного перерізу трубопроводу; ρ - густина суміші; η - динамічна в'язкість суміші; Δp - перепад тисків.

Як визначальний лінійний розмір приймається діаметр кінця лопатей мішалки, а замість лінійної швидкості рідини в критерії подібності підставляється лінійна швидкість кінця лопатей мішалки $v_{ок} = \pi d n$ (n - частота обертання мішалки). Перепад тиску між передньою та задньою площинами лопаті мішалки виражають через корисну потужність, витрачену на подолання опору рідини:

$$\Delta p \sim N / (n d^3)$$

Тоді зв'язок між модифікованими критеріями виразиться рівнянням

$$Eu_m = f_1(Re_m, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots),$$

конкретний вид якого кожного типу мішалки визначається експериментально. У цьому рівнянні:

$$Eu_m = N / (\rho n^3 d^5)$$

$$Re_m = n d^2 \rho / \eta$$

Після перетворення отримаємо спрощене критеріальне рівняння:

$$Eu_m = A Re_m^{\alpha} \Gamma_1^a \Gamma_2^b$$

Значення коефіцієнта та показників ступеня залежать від типу мішалки, конструкції змішувача, режиму перемішування та знаходяться експериментально. Для спрощення розрахунків експериментальні дані представляють у вигляді формули, а вигляді графічної залежності між модифікованими критеріями Ейлера і Рейнольдса з урахуванням подібності умов входу і виходу рідини з робочої зони.

Залежності $Eu_m = f(Re_m)$ для нормалізованих пристроїв, що перемішують [3] різних типів. Зі встановлених закономірностей слід, що потужність, споживана мішалкою, зростає зі збільшенням частоти її обертання і діаметра, а також зі зростанням щільності і в'язкості рідини, що перемішується. На потужність, що споживається мішалкою, крім того, впливають форма апарату, розташування мішалки, наявність в змішувачі перегородок.

Перемішування механічними мішалками може відбуватися при ламінарному або турбулентному режимі. При ламінарному режимі ($Re_m < 20$) перемішуються шари рідини, які безпосередньо примикають до лопаті мішалки. При $Re_m > 100$ має місце турбулентний режим перемішування. У сфері розвиненої турбулентності ($Re_m > 10^5$) число Ейлера мало залежить від числа Рейнольдса. У цій галузі збільшення частоти обертання мішалки призводить до збільшення потужності без досягнення бажаного ефекту.

Для розрахунку потужності мішалки задаються її типом, інтенсивністю перемішування, частотою обертання та діаметром лопатей. За формулою обчислюють значення Re_m . За графіком [9] знаходять відповідне число Рейнольдса число Ейлера. Зі знайденого значення Eu_m за формулою обчислюють потужність, що забирається мішалкою за умов перемішування. Потім формулою розраховують потужність, необхідну для забезпечення

заданої інтенсивності перемішування. Обидві потужності порівнюються. Якщо вони не рівні, то проводять корекцію параметрів доти, доки не буде отримано збіг потужностей.

Потужність двигуна визначають за рівнянням:

$$N_d = N / \mu,$$

де μ - ККД приводу.

У пусковий період сила, що діє на лопаті пристрою, що перемішує з боку рідини, збільшується в 2-4,5 рази. Це необхідно враховувати під час вибору пускового моменту двигуна.

Для розрахунку потужності шнекових мішалок використовується рівняння:

$$Eu_m = 71 / Re_m$$

Коефіцієнт визначається як функція типу геометричних співвідношень пристрою, що перемішує.

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_m = n \cdot d^2 \cdot \frac{\rho}{\mu} = 0.3 \cdot 0.225^2 \cdot \frac{1080}{10} = 0.911$$

Розраховуємо число Ейлера:

$$Eu = \frac{71}{Re_m} = \frac{71}{0.911} = 77.9$$

Розраховуємо потужність двигуна:

$$N_p = 77.9 \cdot 1080 \cdot 0.3^3 \cdot 0.225^5 = 0.225$$

З урахуванням пускового току:

$$N_{\text{пуск}} = 3 \cdot 0.225 = 0.674 \text{ Вт}$$

Потужність електродвигуна приймаємо рівною 0,75 кВт згідно каталогу.

Марка електродвигуна перемішуючого механізму обраного апарату 4А 80А6 ДСТУ 19523-74.

6.3.2 Розрахунок шнекового робочого органу як транспортера

Метою силового розрахунку шнекового транспортеру є визначення потужності двигуна що буде приводити у рух вал шнека. Сировина що транспортується концентрований сік.

Принцип дії шнекових транспортерів заснований на використанні осьової рушійної сили, що виникає при обертанні гвинтової поверхні з кутом підйому [1]. Шнекові транспортери застосовують переважно для транспортування сипких вантажів. Вони малопридатні для переміщення великошматкових, липких і вологих вантажів.

Перевагами шнекових транспортерів є – надійність, простота і компактність, герметичність, придатність для транспортування гарячих, токсичних вантажів, можливість завантаження і розвантаження в будь-якому місці по довжині траси. До недоліків відносять високу енергоємність транспортування, дроблення і стирання вантажу.

Вхідними даними для силового розрахунку шнекового транспортера є кількість обертів валу шнека, ступінь заповнення жолобу з вантажем, характеристика транспортованого вантажу, його тип та насипна густина, висота, відстань і кут підйому його транспортування, а також, за наявності, його продуктивність.

Першим етапом силового розрахунку є визначення продуктивності шнекового транспортера за формулою:

$$Q = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v \cdot \psi \cdot \rho \cdot c_B, \text{ т/год}$$

де: D – діаметр шнека, м; v – швидкість переміщення вантажу по жолобу, м/с; ψ – коефіцієнт заповнення жолоба; ρ – щільність транспортованого вантажу, т/м³; c_B – коефіцієнт зниження продуктивності похилого конвеєра.

Швидкість переміщення вантажу виражається через крок t_b і частоту обертання n :

$$v = \frac{t \cdot n}{60}, \text{ м/с}$$

Підставивши формулу (1) і (2), остаточно одержимо формулу для визначення продуктивності:

Отримуємо:

$$Q = 47 \cdot D^3 \cdot k \cdot n \cdot \psi \cdot \rho \cdot c_{\beta}, \text{ т/год}$$

де: $k = D/t = 0,5 \dots 1,0$ – відношення кроку до діаметра гвинта.

Отримуємо:

$$Q = 47 \cdot D^3 \cdot k \cdot n \cdot \psi \cdot \rho \cdot c_{\beta} = 47 \cdot 0.225^3 \cdot 1.286 \cdot 0.167 \cdot 0.8 \cdot 1080 \cdot 0.08 = 7.9$$

У першому наближенні потужність можна визначити за формулою:

$$N = \frac{K_3 \cdot Q}{367 \cdot \eta} \cdot (L \cdot \omega_0 \pm H), \text{ кВт}$$

де: L – горизонтальна проекція шляху транспортування, м; H – висота підйому вантажу, м; K_3 – коефіцієнт запасу потужності, $K_3 = 1,1 \dots 1,2$; ω_0 – коефіцієнт опору руху: $\omega_0 = 4$ – для важких абразивних вантажів (цемент, пісок, вапно тощо); $\omega_0 = 2,5$ – для вугілля, глини сухої, солі; $\omega_0 = 1,2 \dots 1,6$ – для легких насипних вантажів.

Отримуємо:

$$N = K_3 \cdot Q \cdot \frac{(L \cdot \omega_0 - H)}{367 \cdot \eta} = 1.2 \cdot 7.9 \cdot \frac{(5 \cdot 1.3 + 0.5)}{367 \cdot 0.8} = 0.227$$

Враховуючи, що привід у пусковий період роботи розвиває потужність у 2 – 3 рази більше, ніж у робочому стані, приймаємо:

$$N_{\text{пуск}} = 3 \cdot N_p \quad (3)$$

Потужність електродвигуна знаходиться з рівняння:

$$N_{\text{пуск}} = 3 \cdot 0.227 = 0.681$$

Як бачимо розрахована потужність добре корелюється з попередньо розрахованою.

6.4 Кінематичний розрахунок приводу РТС

Розраховуємо кінематичну схему механічного приводу. Задаємося діаметром шнека $D_n = 0,225$ м. Частота обертання шнеку, об/хв:

$$S_n = \pi \cdot \frac{D_n^2}{4} = \pi \cdot \frac{0.225^2}{4} = 0.04$$

$$S_v = \pi \cdot \frac{D_v^2}{4} = \pi \cdot \frac{0.1^2}{4} = 7.854 \times 10^{-3}$$

$$n = \frac{Q}{(S_n - S_v) \cdot t \cdot \psi \cdot \rho} = \frac{7.9}{(0.04 - 7.854 \times 10^{-3}) \cdot 0.175 \cdot 0.8 \cdot 1080} = 17.9$$

Привід РТС складається з двигуна, редуктора та ланцюгової передачі.

Приймаємо передатне число редуктора $U = 50$.

Приймаємо електродвигун 4А 80А6 ДСТУ 19523-74 з номінальною частотою обертання валу 920 об/хв.

Визначаємо загальне передатне відношення приводу:

$$U = \frac{n_1}{n_3} \quad (4)$$

де $n_1 = 920$ об/хв – частота обертання валу електродвигуна;

$n_3 = 18$ об/хв – частота обертання РТС.

$$U = \frac{920}{18} = 184.$$

Вибираємо редуктор РЧУ-100-50-3-2-1 ДСТУ 13563-68

Тоді передаточне відношення ланцюгової передачі:

$$U_2 = \frac{U}{U_1} = \frac{184}{50} = 3,68.$$

Визначаємо кутові швидкості та частоти обертання валів приводу.

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 920}{30} = 96,29 \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{U_1} = \frac{96,29}{50} = 19,26 \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{U_2} = \frac{19,26}{3,68} = 5,23 \text{ c}^{-1};$$

$$n_1 = 920 \text{ об/хв};$$

$$n_2 = \frac{n_1}{U_1} = \frac{920}{50} = 18,4 \text{ об/хв};$$

Потужності на валах приводу:

$$P_1 = 0,75 \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_1 = 0,75 \cdot 0,7 = 0,525 \text{ кВт};$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_2 = 0,525 \cdot 0,9 = 0,473 \text{ кВт}.$$

Круті моменти на валах приводу:

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{750}{96,29} = 7,5 \text{ Н/м};$$

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{525}{19,26} = 26,8 \text{ Н/м};$$

$$T_3 = \frac{P_3}{\omega_3} = \frac{473}{5,23} = 90 \text{ Н/м}.$$

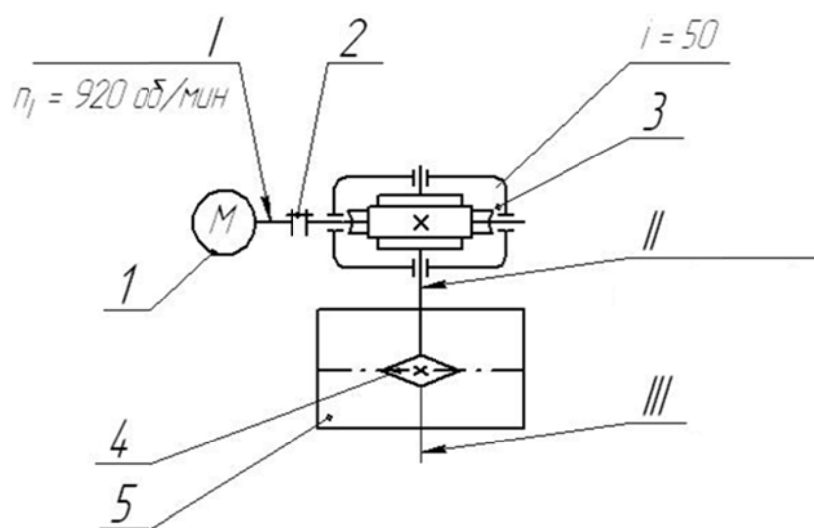


Рис. 13. Кінематична схема приводу РТС

6.5 Розрахунки на міцність

Розрахунок камери нагріву термомеханічного агрегату

Вихідні дані для камери зі сталі 12X18H10T

Допустиме напруження при експлуатації - $[\sigma] = 184 \text{ МПа}$;

Допустиме напруження при випробуваннях - $[\sigma]_{\text{в}} = 250 \text{ МПа}$;

Коефіцієнт міцності зварних швів приймаємо - $\varphi = 0,9$;

Надбавку до розрахункової товщини металу розраховуємо -

$$c = 1,0 + 0 + 0,2 = 1,2 \text{ мм.}$$

Тут приймаємо: $0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм}$ - добавка на корозію,

0 - добавка на ерозію,

0,2 мм - добавка на мінусовий допуск сортаменту. Робочий тиск пари в камері – $p_p = 1,0 \text{ МПа}$.

Вакуум в камері створюється вакуум насосом. Найбільша величина зовнішнього тиску може скласти $P_{\text{зовн}} = 0,1 \text{ МПа}$.

Тонкостінний апарат, що працює під зовнішнім надлишковим тиском, знаходиться в менш сприятливих умовах міцності в порівнянні з апаратом, що працює під внутрішнім надлишковим тиском.

Якщо внутрішній надлишковий тиск сприяє утворенню та підтримці круглої форми апарату, то зовнішній надлишковий тиск, навпаки, сприяє порушенню круглої форми апарату, збільшуючи вже наявні відхилення від неї і викликаючи при цьому додаткові напруги вигину. Останні можуть призвести апарат до руйнування (втрати стійкості).

Якщо при зовнішньому надлишковому тиску напруга стиснення в стінці циліндричного апарату досягне межі плинності, міцність апарату порушиться. Цей випадок уражає циліндричних оболонок, товщина стінки яких становить 0,046 його зовнішнього діаметра. Розрахунок на міцність таких апаратів виробляють так само, як і тих, які знаходяться під дією

внутрішнього надлишкового тиску, замінюючи лише у формулі для визначення товщини стінки апарату допустиму напругу при розтягуванні напругою при стисканні, тобто.

$$\delta_p > p \cdot D_v / (2 \cdot \beta [\sigma_{ст}]) \quad (1)$$

де p - робочий тиск, що допускається; D - внутрішній діаметр апарату; β - коефіцієнт міцності зварних швів; $[\sigma_{ст}]$ - допустима напруга при стисканні. Допустима напруга при стисканні можна приймати рівним однієї четвертої частини межі плинності матеріалу апарату при даній температурі.

Зовнішній тиск, у якому втрачається стійкість оболонки, називають критичним. Воно залежить від геометричної форми, розмірів та від фізичних властивостей матеріалу оболонки.

Оболонки поділяються на довгі та короткі. Як критерій для порівняння служить критична довжина оболонки, що розраховується за формулою

$$L_{кр} = 4,644 \cdot r \cdot \sqrt{(r/\delta) \cdot (1 - \mu^2)} \quad (2)$$

де r - радіус оболонки;

δ - товщина стінки оболонки;

μ - коефіцієнт Пуассона матеріалу оболонки.

Отримуємо:

$$L_{кр} = 4.644 \cdot r \cdot \sqrt{\left(\frac{r}{\delta}\right) \cdot (1 - \mu^2)} = 4.644 \cdot 0.11 \cdot \sqrt{\left(\frac{0.11}{0.002}\right) \cdot (1 - 0.27^2)} = 3.6$$

Довгі оболонки розраховуються однозначно шляхом визначення критичного тиску, критичної напруги і зіставлення останньої межі плинності матеріалу оболонки.

Якщо коротка оболонка і на величину критичного тиску впливають умови на краях, критичний тиск визначають за наближеними формулами:

при дії тиску тільки на бічну поверхню оболонки

$$p_{кр} = \frac{E}{(n^2 - 1) \cdot N^2} \cdot \frac{\delta}{r} + \frac{E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \left(\frac{\delta}{r}\right)^3 \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \mu}{N}\right] \quad (3)$$

при дії тиску на всю поверхню оболонки (всебічний тиск)

$$p_{kr} = E \frac{\delta}{r} \cdot \frac{1}{n^2 + 0.5(\pi \cdot r/L)^2} \left[\frac{1}{N^2} + \frac{N^2}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\delta}{r} \right)^2 \left(\frac{\pi \cdot r}{L} \right)^4 \right]$$

де: L - фактична довжина судини;

n - число хвиль.

Як видно з цих формул, у пружній стадії критичний тиск залежить не від міцності матеріалу, а від його модуля пружності та коефіцієнта Пуассона. Зазвичай, починаючи з $n = 2$, критичний тиск падає, досягаючи при деякому значенні числа хвиль мінімальної величини, а потім знову повільно збільшується.

Отримуємо критичний тиск:

$$p_{kr} = E \cdot \frac{\delta}{r} \cdot \frac{1}{n^2 + 0.5 \cdot \left(\pi \cdot \frac{r}{L} \right)^2} \cdot \left[\frac{1}{N^2} + \frac{N^2}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{\delta}{r} \right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot r}{L} \right)^4 \right] =$$

$$2 \times 10^8 \cdot \frac{2 \times 10^{-3}}{0.11} \cdot \frac{1}{3^2 + 0.5 \cdot \left(\pi \cdot \frac{0.11}{0.725} \right)^2} \cdot \left[\frac{1}{1.6^2} + \frac{1.6^2}{12 \cdot (1 - 0.27^2)} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-3}}{0.11} \right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0.11}{0.725} \right)^4 \right] = 1.559 \times 10^5$$

Якщо виявляється, що розрахунковий тиск менший за робочий, то товщина стінки циліндра повинна бути збільшена, або встановлені кільця жорсткості.

6.6 Тепловий розрахунок

6.6.1 Попередній розрахунок

Вихідні дані

Продуктивність за початковим продуктом $G_n = 300 \text{ кг/год} = 0,1 \text{ кг/с}$

Початковий вміст сухих речовин $a_n = 10\%$

Кінцевий вміст сухих речовин $a_k = 50\%$

Тиск гріючої пари $P_{гр} = 0,2 \text{ МПа}$

Тиск вторинної пари $P_{вт} = 0,02 \text{ МПа}$

Початкова температура продукту $t_n = 70^\circ \text{C}$

Коефіцієнт теплопровідності стінки $= 46,5 \text{ Вт/м К}$

Теплофізичні властивості продукту:

За рекомендаціями [8] визначаємо за таблицею:

Теплоємність продукту на вході в апарат $C_p = 3852 \text{ Дж/кг К}$

Властивості теплоносія :

Ентальпія пари $= 2706,9 \cdot 10^3 \text{ Дж / кг}$

Ентальпії конденсату $= 504,7 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$

Температура пари $= 120,23^\circ \text{C}$

Прихована теплота пароутворення $= 2202,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$

Властивості вторинної пари:

Температура вторинної пари $t_{вт} = 54^\circ \text{C}$

Прихована теплота пароутворення $r_{вт} = 2372,9 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$

Ентальпія вторинної пари $i_{вт} = 2598,9 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$

1. Кількість випареної води W , кг/с :

$$W = G_n \cdot \left(1 - \frac{a_k}{a_n}\right) = 0,1 \cdot \left(1 - \frac{10}{50}\right) = 0,08 \text{ кг/с}$$

2. Кількість тепла на процес випарювання $Q_{заг}$ Вт розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_{\text{втр}} \quad (1)$$

де кількість тепла на підігрів продукту до температури кипіння Q_1 Вт :

$$Q_1 = G_{\text{н}} * G_{\text{п}} * (t_{\text{кип}} - t_{\text{н}}) \quad (2)$$

де температура кипіння продукту:

$$t_{\text{кип}} = t_{\text{вт}} + \sum \Delta \quad (3)$$

Сумою температурних втрат задаємося заздалегідь: $\sum \Delta = 5$ °C остаточно отримуємо:

$$t_{\text{кип}} = t_{\text{вт}} + \sum \Delta = 54 + 5 = 59 \text{ °C}$$

$$Q_1 = G_{\text{н}} * G_{\text{п}} * (t_{\text{кип}} - t_{\text{н}}) = 0,1 \cdot 3852 \cdot (59 - 70) = -4237,2 \text{ Вт}$$

3. Кількість тепла на випарювання з продукту вологи Q_2 Вт :

$$Q_2 = W * r_{\text{вт}} = 0,08 \cdot 2372,9 \cdot 10^3 = 189760 \text{ Вт}$$

4. Кількість тепла втрат $Q_{\text{втр}}$, Вт:

$$Q_{\text{втр}} = 0,05(Q_1 + Q_2) = 0,05 \cdot (-4237 + 189760) = 9276 \text{ Вт}$$

Загальна кількість тепла:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_{\text{втр}} = -4237 + 189760 + 9276 = 194798 \text{ Вт}$$

5. Визначення поверхні теплообміну:

$$F = \frac{Q_1 + Q_2}{K * \Delta t_{\text{пол}}} \quad (4)$$

де корисна різниця температур :

$$\Delta t_{\text{пол}} = t_{\text{гр}} - t_{\text{кип}} = 120,23 - 59 = 61,2 \text{ C}$$

Коефіцієнт теплопередачі $K = 1000 \text{ Вт/м}^2$

Отримуємо:

$$F = \frac{Q_1 + Q_2}{K * \Delta t_{\text{пол}}} = \frac{-4237 + 189760}{1000 \cdot 61,2} = 1,5 \text{ м}^2$$

6.6.2 Перевірочний розрахунок

Метою розрахунку є визначення необхідної теплопередавальної поверхні конденсатора РТС, кількості модулів конденсатора (рис. 14). Вихідними даними для розрахунку є: D , [м] - діаметр конденсатора, що задається конструктивно; d , [м] - діаметр трубки конденсатора, задається конструктивно; γ , [рад] - кут нахилу конденсатора РТС; γ_0 [рад] - базовий [кут нахилу конденсатора РТС; $t_{пр}$, [°C] - температура продукту; t_t , [°C] - температура теплоносія; n , [об/хв] частота обертання конденсатора; ρ , λ , μ , Pr , C_p - теплофізичні властивості продукту; G - маса продукту (для апарату періодичної дії, [кг], витрата продукту для апарату безперервної дії [кг/с]); Δt , [с] - час нагрівання продукту (для апарату періодичної дії); a_n , a_k , [%] - Початкова і кінцева концентрація продукту.

В основу програми покладено рівняння у числах подібності. У блоці 2 відбувається розрахунок Re_l і Re_m - лінійного та модифікованого чисел Рейнольдса відповідно; числа Нусельта для конденсатора, що обертається - Nu_n . Визначальним розміром для Re_l та Nu_n прийнята половина довжини обтікання трубки конденсатора d . Для Re_m - визначальним розміром є діаметр конденсатора D . У блоці 3 відбувається розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при перемішуванні α_n . У блоці 4 відбувається перевірка. Якщо лінійний рух продукту відсутній ($G=0$, $Re_l=0$ - апарат періодичної дії), виконуються блоки 5, 6, 17. Визначається кількість віддаленої з продукту вологи (W), теплоти (Q) на випаровування вологи з продукту за певний проміжок часу τ , після чого програма повертається в основну гілку. Якщо апарат безперервної дії ($Re_l > 0$), розраховується лінійне число Нусельта: за умови $1 < Re_l < 10^7$ у блоці 16, за умови $Re_l < 1$ блоці 8. У блоці 9 визначається коефіцієнт тепловіддачі при лінійному русі продукту α_l . У блоці 10 визначається сумарний розрахунковий коефіцієнт тепловіддачі α .

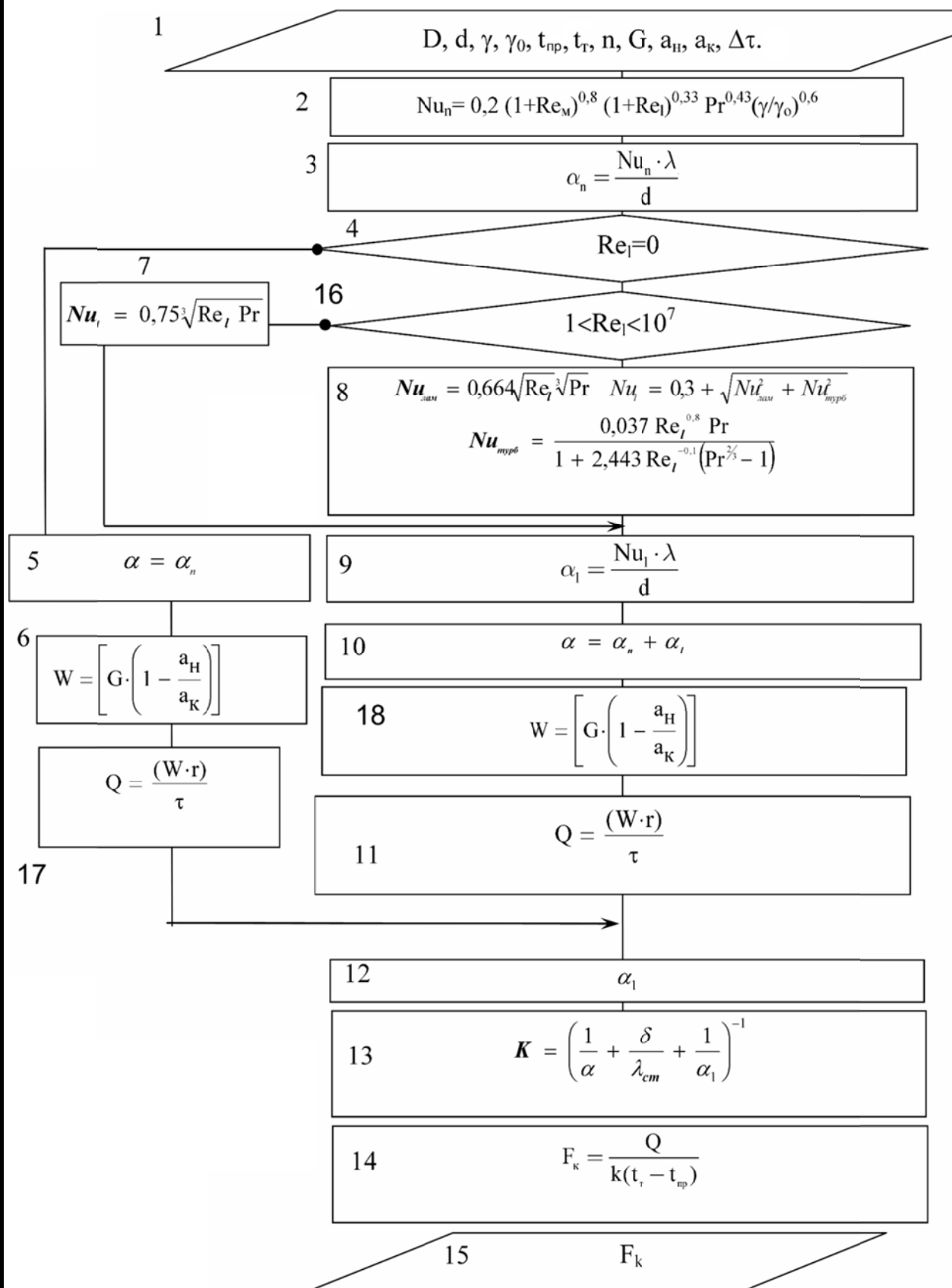


Рис. 14. Схема теплового розрахунку апарату

У блоці 12 визначаємо коефіцієнт тепловіддачі при конденсації пари теплоносія α_1 . У блоці 13 розраховуємо коефіцієнт теплопередачі K . Результат розрахунку отримуємо у блоках 14, 15 (рис. 14). Кількість модулів отримуємо розподілом загальної поверхні конденсатора $F_{\text{на}}$ поверхню одного модуля F .

Задаємось продуктом, що обробляється, та визначаємо його теплофізичні параметри.

Продукт – яблучний сік, вміст сухих речовин 10%.

Густина при 20 °С – $\rho = 1080$ кг/м³;

Динамічна в'язкість - $\mu = 1,5 \cdot 10^{-2}$ Па с;

Теплоємність $C = 3852$ Дж/кг К;

Теплопровідність $\lambda = 0,5$ Вт/м К.

Задаємось параметрами роботи РТС:

Частота обертів – $0,3$ с⁻¹;

Діаметр шнеку – $0,225$ м;

Кут нахилу базовий - $\gamma_0 = 10^\circ$;

Кут нахилу робочий - $\gamma_1 = 20^\circ$;

Теплопровідність сталі 12Х18Н10Т - $\lambda_{\text{ст}} = 46,5$ Вт/м К

Розраховуємо модифіковане число Рейнольдса

$$Re_m = n \cdot d^2 \cdot \frac{\rho}{\mu} = 0,3 \cdot 0,225^2 \cdot \frac{1080}{1,5 \cdot 10^{-2}} = 1,093 \times 10^3$$

Розраховуємо число Прандтля:

$$Pr = \frac{\mu \cdot C}{\lambda} = \frac{1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3852}{0,5} = 115,56$$

Число Рейнольдса для лінійного руху продукту. Приймаємо швидкість із розрахунку шнекового транспортеру $v = 8,75 \times 10^{-4}$.

$$Re_l = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{(8.75 \times 10^{-4}) \cdot 0.225 \cdot 1080}{1.5 \cdot 10^{-2}} = 14.175$$

Розраховуємо число Нусельта:

$$Nu = 0.2 \cdot (1 + Re_m)^{0.8} \cdot (1 + Re_l)^{0.33} \cdot Pr^{0.43} \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_0} \right)^{0.6} =$$

$$0.2 \cdot (1 + 1.093 \times 10^3)^{0.8} \cdot (1 + 14.175)^{0.33} \cdot 115.56^{0.43} \left(\frac{20}{10} \right)^{0.6} = 1.548 \times 10^3$$

Розраховуємо коефіцієнт тепловіддачі від РТС до продукту

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{1.548 \times 10^3 \cdot 0.5}{0.225} = 3.44 \times 10^3 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$$

Кількість тепла на процес приймаємо із попереднього розрахунку.

Приймаємо коефіцієнт тепловіддачі при конденсації пари $\alpha_1 = 5000 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{st}}{\lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5000} + \frac{0.0015}{46.5} + \frac{1}{3.44 \times 10^3}} = 1.912 \times 10^3$$

Площа поверхні РТС. m^2 :

$$F = \frac{-4237 + 189760}{61.2 \cdot (1.912 \times 10^3)} = 1.585$$

Результати попереднього та перевірного розрахунків добре корелюються.

6.7 Продуктивність вакуум-насоса

Кількість повітря, яке необхідно відводити з конденсатора, кг/с :

$$L = [0.025 * (G_B + W) + 10 * W] * 10^{-3} \\ = (0,025 * (3,4 + 0,2) + 10 * 0,2) * 10^{-3} = 0,0021 \text{ кг/с}$$

Об'ємну продуктивність вакуум-насоса визначаємо в м³/с :

$$V = \frac{R * L * (t_{\Pi} + 273)}{P_{\Pi}} \quad (12)$$

де R = 228 Дж/кг · К - універсальна газова постійна

температуру повітря розраховуємо за формулою:

$$t_{\Pi} = t_{\text{BT}} + 0,1 * (t_{\text{BK}} - t_{\text{BH}}) + 4 = 54 + 0,1 * (49 - 15) + 4 = 61,4 \text{ C}^0$$

парціальний тиск повітря, де тиск сухої насиченої пари P_п = 0,04 МПа

$$P = P_{\Pi} - P_{\text{BT}} = 0,04 - 0,015 \text{ МПа}$$

знаючи продуктивність підбираємо вакуум – насос.

6.8 Визначення товщини теплової ізоляції.

Визначаємо з рівності питомих теплових потоків

$$\left(\frac{\lambda_{\text{із}}}{\delta_{\text{із}}} \right) * (t_{\text{CT1}} - t_{\text{CT2}}) = \alpha_{\text{пов}} * (t_{\text{CT2}} - t_{\text{пов}})$$

де коефіцієнт теплопровідності ізоляції визначаємо із таблиці для мінеральної вати $\lambda_{\text{із}} = 0,051 \text{ Вт/мК}$

температура ізоляції з боку апарату приймаємо $t_{\text{CT1}} = 120,23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

температура ізоляції з боку довкілля $t_{\text{CT2}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$

температура повітря $t_{\text{пов}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

коефіцієнт тепловіддачі у довкілля

$$\alpha_{\text{пов}} = 9,76 * 0,07 * (t_{\text{CT2}} - t_{\text{пов}}) = 9,76 * 0,07 * (30 - 20) = 6,83 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} * \text{К}$$

$$\delta_{\text{із}} = \lambda_{\text{із}} * \frac{(t_{\text{CT1}} - t_{\text{CT2}})}{[\alpha_{\text{пов}} * (t_{\text{CT2}} - t_{\text{пов}})]} = 0,051 \frac{(120,23 - 30)}{6,83 * (30 - 20)} = 0,07 \text{ м}$$

Перевіряємо, чи вкладається $Q_{\text{втр}}$ у 3..5% від $Q_{\text{заг}}$

$$Q_{\text{втр}} = \alpha_{\text{пов}} * F_{\text{пов}} * (t_{\text{ст2}} - t_{\text{пов}}) = 6.83 * 5 * (30 - 20) = 341.5 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{заг}} = 194798 \text{ Вт}$$

Величина $Q_{\text{піт}}$ становить менше 3% від $Q_{\text{заг}}$

7. Енергетичний аналіз технологічної лінії

Проведено енергетичний аналіз лінії виробництва концентрованого яблучного соку.

Словосполучення «енергетичний менеджмент» утворено зі слів «енергія» та «менеджмент». У рамках менеджменту здійснюється керівництво та управління процесами підприємства з метою досягнення корпоративних цілей. У тому числі – реалізація корпоративної політики щодо підвищення Energy Performance, тобто енергетичних результатів. Термін "енергетичні результати", у свою чергу, охоплює три параметри: споживання енергії, енергійна ефективність та використання енергії. Останній параметр означає, наприклад, перехід від традиційних джерел енергії до відновлюваних джерел енергії – зміна джерел енергії, що використовується.

В основі всіх сучасних систем управління лежить цикл PDCA. PDCA означає окремі фази в рамках повторюваного системного підходу: Plan , Do , Check та Act (планування, здійснення, перевірка, дія).

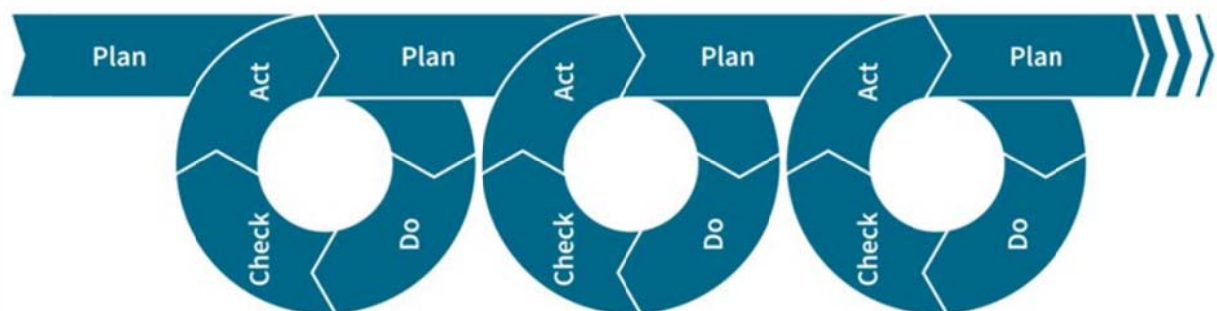


Рис. 15. Цикл PDCA

Фаза планування (Plan)

Основне завдання фази планування полягає у визначенні так званих областей значного використання енергії (Significant Energy Use , SEU). Індикатором тут може бути підвищений рівень споживання енергії або наявність великого потенціалу для оптимізації енергетичних результатів.

У зв'язку з цим можуть бути такі питання, як, наприклад, власне споживання енергії, можливі джерела втрат енергії, а також ефективність роботи окремих установок і систем. На цьому етапі також необхідний аналіз діяльності та процесів, що належать до виробничої практики.

Щоб виконати аналіз окремих областей значного використання енергії на основі вимірюваних величин, необхідно визначити показники енергетичних результатів та вказати відповідні енергетичні базові лінії як референтні значення.

Фаза здійснення (Do)

Після збору даних та проведення внутрішнього аналізу фактичного стану розробляється план заходів, спрямованих на оптимізацію використання та усунення неефективного управління енергетичними ресурсами.

Потім заплановані заходи реалізуються у межах фази Do («здійснення»).

Фаза перевірки (Check)

Після реалізації заходів необхідно виконати моніторинг у рамках фази перевірки (Check), щоб з'ясувати, чи привели вжиті заходи до запланованого результату. При цьому певні організацією показники енергетичних результатів порівнюють із енергетичними базовими лініями та поставленими енергетичними завданнями.

У разі, якщо в результаті перевірки виявлено, що запланована мета не була досягнута, необхідно визначити відповідні коригувальні дії.

Фаза дії (Act)

Ці коригувальні заходи здійснюють у межах фази дії (Act), щоб у можливості реалізувати початкові завдання. Таким чином, досягаються

поставлені енергетичні завдання з метою збільшення енергетичних результатів.

Цикл починається спочатку після завершення цієї фази, щоб досягти повторюваного, безперервного поліпшення енергетичних результатів і таким чином сталої економічної діяльності.

Які форми енергії розглядаються у межах енергетичного менеджменту?

Цей процес здійснюється за допомогою всіх енергоносіїв, які вважаються основними у компанії. Як набуті, так і вироблені силами підприємства.

Як правило, це пов'язано з електричною енергією, яка надходить, наприклад, із зовнішнього джерела струму, а також електрична енергія, яка генерується власними виробничими системами, наприклад, фотогальванічними установками або теплоелектростанціями.

Також сюди відноситься теплова енергія, що використовується для нагрівання та охолодження, наприклад, у традиційних системах опалення будівель, системах кондиціонування та теплоелектростанціях, а також пара, що використовується як технологічне тепло. На багатьох підприємствах використовується також пневматична енергія у формі стисненого повітря, яке виробляється компресорами.

Якщо підприємстві здійснюється перетворення придбаного енергоносія на іншу форму енергії, стає важливою ефективність процесу перетворення. Як, наприклад, при використанні електричної енергії для того, щоб за допомогою компресора генерувати стиснене повітря і пневматичну енергію.

Що є показниками енергетичних результатів, їх енергетичною базовою лінією та відповідними енергетичними цілями?

Термін ключових показників ефективності (KPI) походить з галузі бізнес-адміністрування. Ключові показники дозволяють дати кількісну оцінку різним чинникам, які мають значний вплив успіх компанії.

Те саме стосується енергетичного менеджменту у вигляді показників енергетичних результатів (EnPI), які використовуються для вимірювання,

контролю, аналізу та оцінки енергетичних результатів компанії. Показник енергетичних результатів виражає кількісну оцінку енергетичних результатів. Він є відносною величиною, на підставі якої встановлюють абсолютне значення електричної енергії, витраченої, наприклад, машиною на виробництво певної кількості одиниць продукції, щоб отримати специфічне споживання енергії.

У свою чергу, енергетична базова лінія (EnB) є кількісним референтним значенням за певний період часу в якості основи для порівняння енергетичних результатів. Наприклад, зафіксовано специфічне споживання енергії старої машини за певний період, який також враховує сезонні коливання.

У ході контролю успішності вжитих заходів виконується порівняння поточного на звітний момент значення, енергетичної базової лінії, що відноситься до показника енергетичного результату, та раніше поставленого енергетичного завдання.

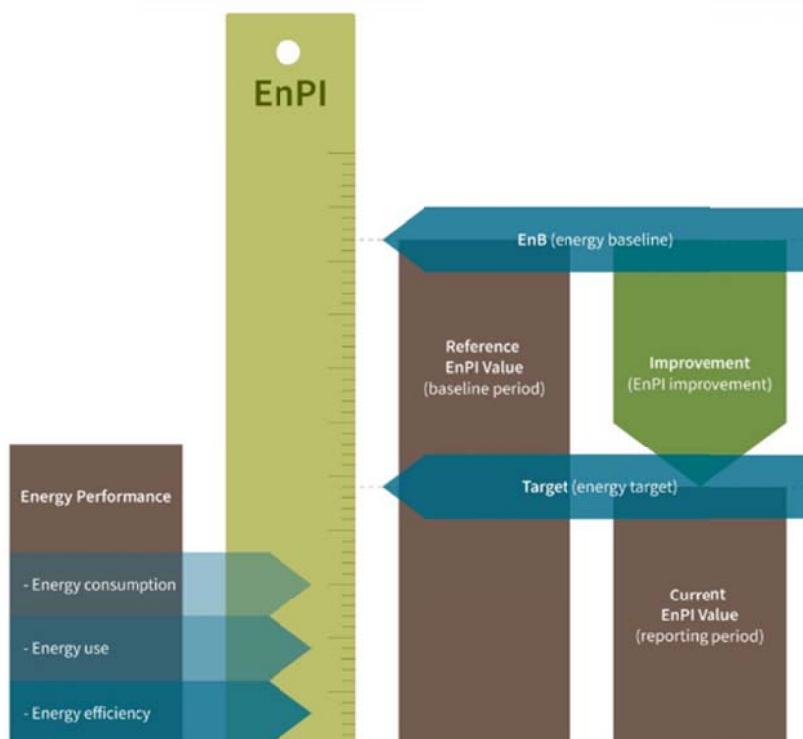


Рис. 16. Показники енергетичних результатів (EnPI)

Наприклад, як міра стара машина замінена більш ефективною та сучасною машиною. При однаковій кількості виготовлених одиниць продукції, що й у базовому періоді, можна перевірити, наскільки виявився успішним захід для зниження питомої енергії.

Питомі енерговитрати (на кілограм продукції) лінії представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Питомі енерговитрати лінії по виробництву яблучного соку

Назва обладнання	Електрична енергія Σ , кВт	Теплова енергія Q , кВт	Питомі енерговитрати $\Sigma_{уд}$, кДж/(кг. прод.)
шнековий віддільник	0,8		9,6
елеватор (2 шт)	1,4		16,8
мийна машина	2,5		30
інспекційний конвеєр	0,375		4,5
дробарка	5		60
насос (3 шт)	1,2		14,4
прес	7		84
теплообмінник		120	1440
випарна установка		280	3360

У процесі аналізу окремих параметрів, зазвичай, виконується порівняння аналогічних установок, машин, процесів тощо. за допомогою показників енергетичних результатів. Таким чином, можна зібрати достатні відомості, які дозволять визначити заходи оптимізації з метою підвищення енергетичної ефективності підприємства. З одного боку, поліпшення можуть бути досягнуті в короткостроковій перспективі на основі досвіду кращої практики або, з іншого боку, у середньостроковій перспективі під час безперервного процесу навчання на підприємстві.

Ефективність апарата визначається кількістю енергії, що витрачається на процес для досягнення необхідного технологічного ефекту. У таблиці: $\mathcal{E}$, кВт – кількість електричної енергії, споживаної установками, Q , кВт – кількість теплової енергії, споживаної установками, $\mathcal{E}_{уд}$, кДж/кг – питомі витрати енергії на виробництво продукції.

Питомі витрати енергії на виробництво продукції розраховували по формулі:

$$\mathcal{E}_{уд} = \frac{\mathcal{E} + Q}{G} \quad (5)$$

де G – продуктивність лінії, кг/с

Для зручності аналізу питомі енерговитрати (на кілограм продукції) лінії представлені на рис. 18. Найбільший сегмент - випарювання.

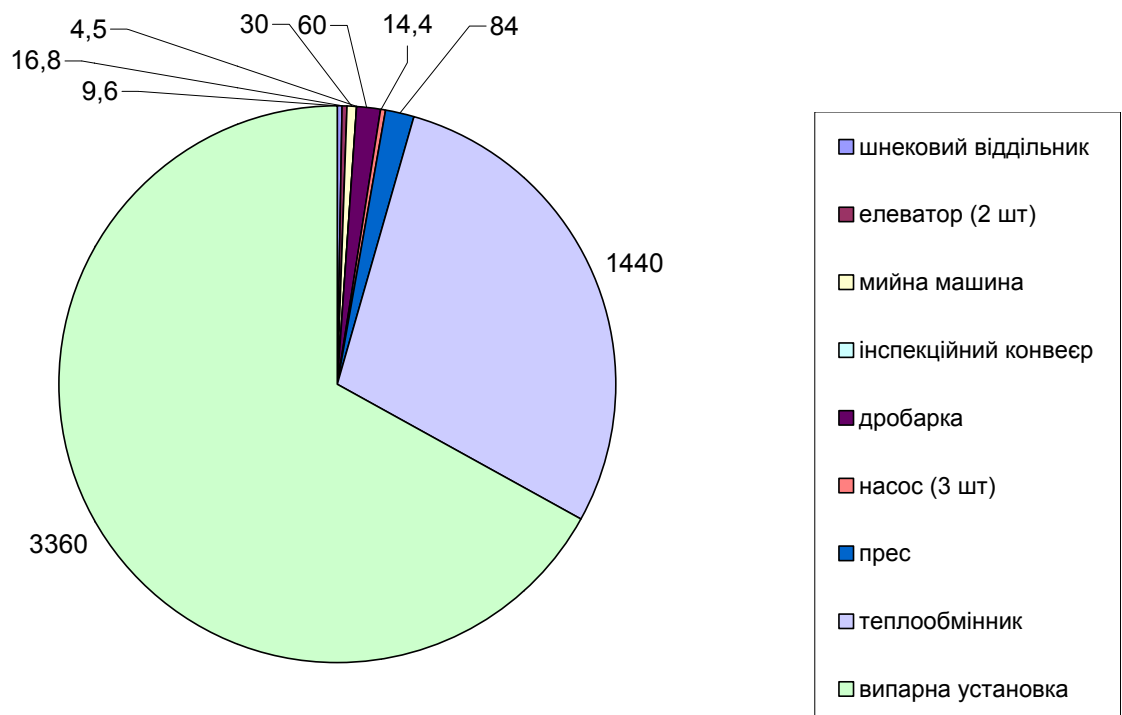


Рис. 18. Результати енергетичного аудита. Питомі енерговитрати лінії виробництва яблучного соку.

Значного скорочення енерговитрат можливо досягти застосовуючи апарат в якості випарної установки.

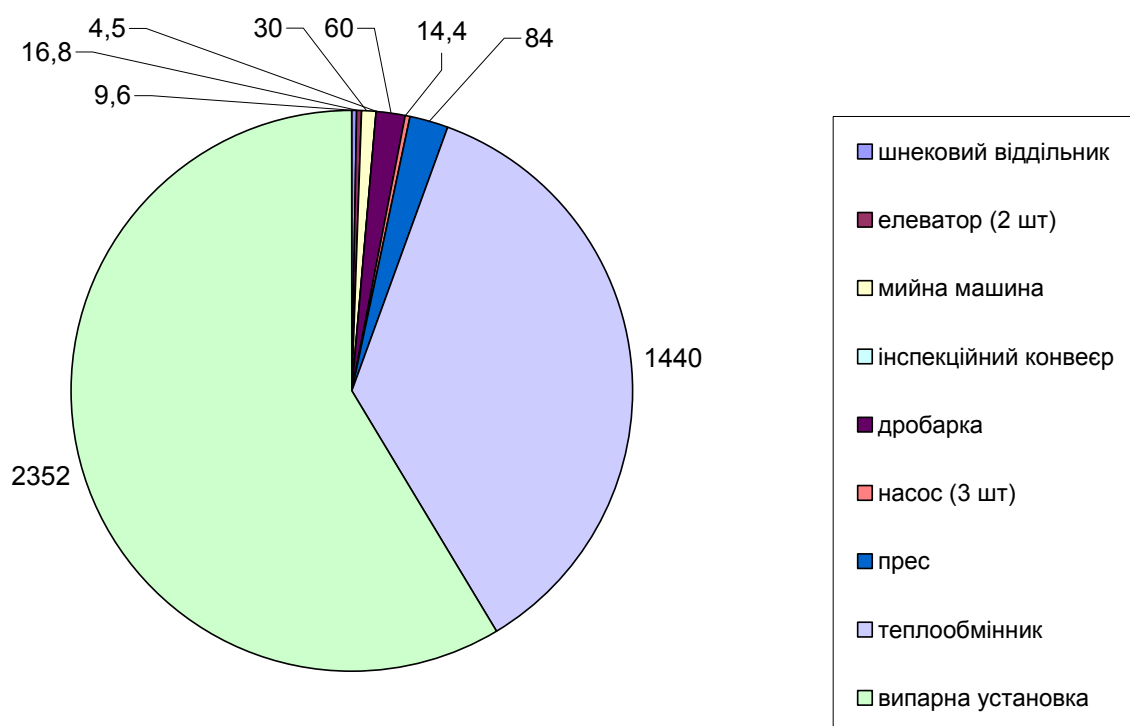


Рис. 19. Питомі енерговитрати лінії по виробництву яблучного соку застосуванням апарата із РТС

Питомі енерговитрати зменшаться на 1000,8 кДж/(кг продукції)

8. Техніка безпеки і правила експлуатації машини

1) При розробці машина забезпечує виконання вимог до безпеки обслуговуючого персоналу відповідно до:

- ДСТУ 27-00-216-75 «Система стандартів безпеки праці, машини та обладнання продовольчі. Загальні вимоги безпеки»;
- «Інструкція з техніки безпеки до виробничої санітарії для консервної, харчоконцентратної та овочесушильної промисловості»;

2) Звукова потужність, що випромінюється працюючою машиною в режимі номінальної продуктивності у виробничому приміщенні не повинна створювати на робочому місці рівня звуку та рівня звукового тиску в октавних смугах частот спектра, що перевищують допустимі Гігієнічними нормами звукового тиску та рівня на робочих місцях № 1004-73.

Чисельна величина підлягає визначенню при приймальних випробуваннях відповідно до ДСТУ 8.055-73;

3) Рівні віброшвидкості в октавних смугах частот на робочому місці у жорстко закріпленої машини, що працює в режимі номінальної продуктивності, не повинні перевищувати допустимі «Санітарні норми СН-245-71».

Чисельна величина підлягає визначенню при приймальних випробуваннях відповідно до ДСТУ 13731-68.

Необхідними умовами безпечної експлуатації апарату є:

- виготовлення і монтаж апарату в точній відповідності з проектною та монтажною документацією;
- підгонка та приєднання всіх трубопроводів у відповідності з технологічною схемою, набивка и затяжка фланцевих з'єднань та їх герметизація;
- приєднання допоміжних пристроїв та механізмів, установка арматури контрольно-вимірювальних приборів, установка огорожень;
- випробування апарату на міцність, герметичність і здача інспектору;

- проведення пробної експлуатації;
- проведення теплоізоляційних робіт;
- наявність інструкцій, затверджених у встановленому порядку, у відповідності з якими повинна проводитись експлуатація теплообмінника;
- своєчасне проведення ремонтних робіт;
- систематична перевірка запобіжних клапанів.

Порядок безпечної експлуатації апарату.

Перш за все, апарат повинен працювати в оптимальному тепловому режимі, який відповідає технологічному режиму теплової обробки продукту. Апарат повинен забезпечуватись системою автоматичного регулювання температури та тиску теплоносія, що входить і температури продукту, що виходить. Для візуального контролю за параметрами теплоносія і продукту підігрівник забезпечується:

- ртутним термометром кл.0,5 ДСТУ 28679-80 0-150 (контроль температури води);
- ртутним термометром кл.0,5 ДСТУ 28679-80 0-100 (контроль температури продукту, що виходить);
- манометром 0-1,5 атм ДСТУ 28679-80 кл.0,2 (контроль тиску)

Оскільки теплообмінник відноситься до судів, які підлягають інспектуванню, він повинен періодично оглядатись:

1. Зовнішній огляд, без попередження підприємства, не рідше 1 разу на рік. Одночасно повинні контролюватись правильність експлуатації та рівень технічної підготовки персоналу;
2. Внутрішній огляд не рідше 1 разу на 3 роки, при огляді перевіряється стан внутрішніх поверхонь та зварних швів;
3. Гідравлічне випробування з попереднім внутрішнім оглядом рідше 1 разу в 6 років на міцність та герметичність. У випадку, якщо апарат не знаходився в експлуатації більше року або ремонтувався, зв'язаного з нанесенням заплат и т.п., то перед пуском він повинен бути гідравлічно випробуваний. При

усунені наслідків аварії повинні бути встановлені причини, винуватці аварії, а також розроблені заходи, направлені проти повторення подібних випадків.

4. Систематична очистка поверхонь теплообміну від забруднень, способи очистки підбираються в залежності від виду та ступеню забруднень (механічний, хімічний, гідравлічний, термічний).

Техніка безпеки при експлуатації апаратів.

Серед мір, які повинні прийматися керівництвом підприємства по створенню безпечних умов труда, слід назвати наступні:

1. Реєстрація апарату в місцевій інспекції;
2. Оформлення спеціальної книги для реєстрації результатів випробувань та затвердження;
3. Організаційно-технічні заходи по створенню безпечних умов праці: затвердження інструкції по техніці безпеки для кожного робочого місця, інструктажі на робочому місці з проведенням реєстрації в спеціальному журналі, аналіз причин виникнення нещасних випадків та розробка заходів для попередження подібного у майбутньому;
4. Організація здачі техмінімуму по обслуговуванню теплообмінника;
5. Заборона підвищення тисків і температур в апараті і трубопроводах вище допустимих меж;
6. Внутрішній огляд апарату допускається проводити лише при температурі не вище 30°C, напруга живлення освітлювальної апаратури та електроінструменту повинно бути 12В.
7. Вивішування забороняючих табличок в місцях, де можлива подача пари, продукту и т.п.
8. Використання лише регламентованого та справного інструменту.

Використані літературні джерела

1. Продукти концентровані. Загальні технічні умови ДСТУ 5081:2008
2. ДСТУ 4084-2001. Консерви фруктові пюреподібні для дитячого харчування
3. Безбах, І. В. Інтенсифікація термообробки неньютонівських харчових рідин в апараті з ротаційним термосифоном : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.12 "Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв" / Безбах Ігор Віталійович ; наук. кер. О. Г. Бурдо ; Одес. нац. акад. харч. технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2002. – 17 с.
4. Стренк Ф. Перемішування та апарати з мішалками. Польща, 1971. Пров. з польськ. за ред. Щупляка І. А. Л., "Хімія", 1975. 384 стр
5. ДСТУ 27-00-216-75 «Система стандартів безпеки праці, машини та обладнання продовольчі. Загальні вимоги безпеки»;

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
Справ. №					Документація					
				РТС 04. 00. 00 СК	Складальне креслення					
					Збірні одиниці					
		1	РТС 04. 01. 00	Кришка	1					
		2	РТС 04. 02. 00	Корпус	1					
					Деталі					
Подп. и дата										
				3 РТС 04. 00. 03	Прокладка	1				
					Стандартні вироби					
		10		Штифт 10x45 ГОСТ 12207-79	2					
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
Инв. № подл.	Разраб.	Дядченко	Пров.	Бездах	Н.контр.	Утв.	Бурдо	Кришка нижня	ОНТУ	

РТС 04. 00. 00 СК

Копировал

Формат А4

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №					Документація			
				РТС 00. 00. 00 СК	Складальне креслення			
					Збірні одиниці			
		1	РТС 01. 00. 00	Камера нагріву	1			
		2	РТС 02. 00. 00	Випарник	1			
		3	РТС 03. 00. 00	Крышка верхня	1			
		4	РТС 04. 00. 00	Крышка нижня	1			
		5	РТС 05. 00. 00	Рама	1			
		6	РТС 06. 00. 00	Привід	1			
		7	РТС 07. 00. 00	Розгалуджений РТС	1			
Подп. и дата				8	РТС 08. 00. 00	Шарнір	1	
				9	РТС 09. 00. 00	Колектор	1	
					Деталі			
Взам. инв. №								
Инв. № дубл.								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Изм. Лист								
Разраб.								
Пров.								
Н.контр.								
Утв.								

РТС 00.00.00 СК

Енергоефективна
випарна установка

Лит. Лист Листов

П 1 2

ОНТУ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

2

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №						Документація		
					РТС 05. 00. 00 СК	Складальне креслення		
						Збірні одиниці		
			1	РТС 05. 01. 00	Лоток	1		
			2	РТС 05. 02. 00	Шарнір	2		
			3	РТС 05. 03. 00	Полка			
						Деталі		
Подп. и дата								
			5	РТС 05. 00. 05	Стійка	2		
			6	РТС 05. 00. 06	Стійка	2		
			7	РТС 05. 00. 07	Поперечина	4		
			8	РТС 05. 00. 08	Платик	4		
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Изм. Лист								
Разраб.								
Пров.								
Н.контр.								
Утв.								
					РТС 05. 00. 00 СК			
					Рама			
					Лит. Лист Листов			
					П 1 2			
					ОНТУ			

