

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)

(підпис) Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)

«__»_____2024 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) Микола ЯКИМЧУК
(ім'я та прізвище)

«__»_____2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв
на тему: Удосконалення гріючої камери вакуум-апарата А2-ПВЕ-60 продуктивністю 60 тон утфелю за одну варку

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ОХ-4-2

(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Слюсенко Андрій Михайлович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти	_____ (ім'я та прізвище)	_____ (підпис)
	_____ (ім'я та прізвище)	_____ (підпис)
	_____ (ім'я та прізвище)	_____ (підпис)
Рецензент	_____ (ім'я та прізвище)	_____ (підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Інститут *ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого*
Кафедра *Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування*
Освітній ступінь *бакалавр*
Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*
(код і назва)
Освітньо-професійна програма *Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв*
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТОКТП
Микола ЯКИМЧУК

“___” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Саянін Артем Ярославович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Удосконалення гріючої камери вакуум-апарата А2-ПВЕ-60 продуктивністю 60 тон утфелю за одну варку*

керівник роботи *Слюсенко Андрій Михайлович, доктор філософії*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закл. вищої осв. від “05” *квітня* 2024 року № *256-кс*

2. Строк подання здобувачем роботи *04 червня 2024 р.*

3. Вихідні дані до роботи *технічний паспорт обладнання; кресленики обладнання; навчальна, нормативна та спеціальна література*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *анотація, зміст; перелік умовних позначень, термінів; вступ, порівняльний аналіз технічних рішень, техніко-економічне обґрунтування, характеристика вихідної сировини і готового продукту, опис запропонованого технічного рішення, будова та принцип роботи обладнання, розрахункова частина, вибір конструкційних матеріалів, технологічний маршрут виготовлення деталі, вимоги щодо монтажу і технічного сервісу, опис системи управління, заходи щодо охорони праці, загальні висновки, список використаних літературних джерел, специфікація.*

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд вакуум-апарата А2-ПВЕ-60, гріюча камера вакуум-апарата А2-ПВЕ-60, деталювання вакуум-апарата А2-ПВЕ-60, технологія виготовлення деталі

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Технологія машинобудування</i>	<i>Бойко Ю.І., доц. кафедри МАХФВ</i>		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Анотація, зміст; перелік умовних позначень, термінів</i>	<i>20.04.24</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>22.04.24</i>	
3	<i>Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі</i>	<i>28.04.24</i>	
4	<i>Техніко-економічне, соціальне обґрунтування</i>	<i>30.04.24</i>	
5	<i>Характеристика вихідної сировини і готового продукту</i>	<i>02.05.24</i>	
6	<i>Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи обладнання</i>	<i>04.05.24</i>	
7	<i>Розрахункова частина</i>	<i>08.05.24</i>	
8	<i>Вибір конструкційних матеріалів</i>	<i>10.05.24</i>	
9	<i>Технологічний маршрут виготовлення деталі</i>	<i>14.05.24</i>	
10	<i>Вимоги щодо монтажу і технічного сервісу</i>	<i>16.05.24</i>	
11	<i>Опис системи управління</i>	<i>18.05.24</i>	
12	<i>Заходи щодо охорони праці</i>	<i>20.05.24</i>	
13	<i>Загальні висновки</i>	<i>22.05.24</i>	
14	<i>Список використаних літературних джерел</i>	<i>24.05.24</i>	
15	<i>Графічна частина: 5 аркушів</i>	<i>28.05.24</i>	
16	<i>Подання ДП на кафедру</i>	<i>01.06.24</i>	

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Артем САЯПІН _____
(ім'я та прізвище)

Андрій СЛЮСЕНКО _____
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано технічне рішення по удосконаленню гріючої камери вакуум-апарата А2-ПВЕ-60. Суть розробки полягає у виконанні гвинтових канавок на трубах гріючої камери. Дане технічне рішення приведе до інтенсифікації процесу теплообміну та прискорення нагрівання продукту за рахунок штучної турбулізації потоку.

Кваліфікаційна робота включає аналіз існуючого обладнання аналогічного призначення, розрахункову частину, розрахунки технологічного маршруту виготовлення деталі «Фланець». Описано заходи з монтажу, технічного сервісу, системи управління, заходи з охорони праці.

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальною записки на _____ сторінках формату А4 та графічної частини на _____ аркушах формату А1.

Ключові слова: вакуум-апарат, гріюча камера, гвинтові канавки, утфель, уварювання.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Анотація		082612.KP.14.000.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2

ABSTRACT

This qualification paper offers a technical solution for improving the heating chamber of the A2-PVE-60 vacuum apparatus. The essence of the development consists in the execution of screw grooves on the tubes of the heating chamber. This technical solution will lead to intensification of the heat exchange process and acceleration of product heating due to artificial flow turbulence.

The qualification work includes the analysis of existing equipment of a similar purpose, the calculation part, calculations of the technological route of manufacturing the "Flange" part. Installation, technical service, management system, and labor protection measures are described.

The qualification paper consists of an explanatory note on ____ pages of A4 format and a graphic part on ____ sheets of A1 format.

Key words: vacuum apparatus, heating chamber, screw grooves, utfel, cooking.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі.....	9
2. Техніко-економічне, соціальне обґрунтування.....	28
3. Характеристика вихідної сировини і готового продукту.....	30
4. Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи обладнання.....	34.
5. Розрахункова частина.....	37
6. Вибір конструкційних матеріалів.....	50
7. Технологічний маршрут виготовлення деталі.....	52
8. Вимоги щодо монтажу і технічного сервісу.....	70
9. Опис системи управління.....	74
10. Заходи щодо охорони праці.....	76
Висновки.....	84
Список використаних літературних джерел.....	85
Додатки.....	88

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа		
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Зміст	082612.КР.14.000.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	

ВСТУП

Актуальним напрямом розвитку цукрової галузі є зменшення витрат природних ресурсів, передусім газу та електроенергії, необхідних для виробництва цукру [1–3]. Спектр енергозберігаючих заходів на виробництві може бути досить широким і всі вони, маючи теплотехнічний характер, напряду пов'язані з такими важливими технологічними показниками, як вихід і якість цукру. Вважається, що при дотриманні нормативної величини відкачки дифузійного соку найбільшу економію паливно-енергетичних ресурсів на цукровому заводі можна досягти саме в продуктовому відділенні [2].

Під час отримання цукру-піску на цукрових заводах загальний сироп (сироп з клеровкою) після сульфитування та фільтрування надходить на уварювання, де з нього додатково випаровується вода (такий розчин стає перенасиченим і в результаті виділяються кристали сахарози). Одержаний після уварювання продукт представляє собою суміш кристалів цукру та міжкристальної патоки та називається утфелем.

Кінцевою метою уварювання цукрових сиропів є кристалізація сахарози з багатокомпонентної суміші нецукрів, які входять до складу загального сиропу. Уварювання сиропів приводить до їх згущення в результаті випарювання води. Для цього застосовуються вакуум-апарати, що працюють під розрідженням, завдяки чому сироп кипить при температурі 70–72 °С. Застосування низьких температур під час уварювання утфелів є важливим заходом, що запобігає втратам сахарози від термічного розкладу. Крім того низькі температури під час уварювання сприяють інтенсифікації процесу випаровування води у вакуум-апаратах за рахунок збільшення корисної різниці температур між гріючою парою та киплячим сиропом [4].

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Вступ	082612.KP.14.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

Для уварювання утфелей на цукрових заводах застосовують двох- чи трьохкристалізаційні схеми чи їх модифікації. Двокристалізаційна схема простіша. Її застосовують на заводах, які отримують сироп із чистотою не більше 92 %. Застосування двокристалізаційної схеми допускається для заводів зі старою технічною базою. На сьогодні типовою є трьохкристалізаційна схема, за якою афінацію (підвищення якості) жовтого цукру III кристалізації проводять за допомогою першого відтоку утфелю I кристалізації. Перевагою трьохкристалізаційної схеми є одержання цукру підвищеної якості [1].

З метою інтенсифікації процесу теплообміну та прискорення уварювання утфелю в даній кваліфікаційній роботі розроблене технічне рішення щодо модернізації гріючої камери вакуум-апарата А2-ПВЕ-60.

1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

1.1 Класифікація та основні вузли вакуум-апарата для уварювання утфелю

Існуючі на сьогодні вакуум-апарати для уварювання утфелю класифікують за такими ознаками:

- за принципом дії: періодичної дії та безперервної дії (вакуум-апарати періодичної дії подібні до випарних апаратів);
- за конструкцією корпусу: циліндричні, сферичні та сундучні;
- за розташуванням у просторі: вертикальні та горизонтальні;
- за конструкцією поверхні нагріву: з кільцевою поверхнею, із змієвиковою поверхнею, з трубчастими камерами тощо;
- за конструкцією надутфельного простору: апарати з нормальним та розширеним надутфельним простором.

Основними складовими частинами (вузлами) будь-якого вакуум-апарата, що призначений для уварювання утфелю, є: корпус певної форми, гріюча камера, сепаратор, спускний пристрій та пристрій для підводу пари в гріючу камеру (рис. 1.1).

Форма корпусу апарата залежить від його конструкції і буває циліндричною, циліндричною з розширеною верхньою частиною, сферичною або прямокутною з напівкруглою кришкою.

У гріючих камерах вакуум-апаратів нагрівальним елементом є водяна пара. Гріюча камера буває різної конструкції. Найбільш поширеними є вакуум-апарати з підвісними гріючими камерами (рис. 1.2), в яких верхні та нижні трубні решітки мають різну форму: конічну, сферичну, двосхилу та ін.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі		082612.KP.14.001.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/19

У таких вакуум-апаратах пара рухається по міжтрубному простору гріючої камери, а продукт, який уварюють, рухається всередині труб. Діаметр гріючої камери в більшості конструкцій вакуум-апаратів є меншим за діаметр їх корпусу. Завдяки цьому між стінками гріючої камери та корпусом вакуум-апарата утворюється кільцевий простір, по якому циркулює утфель.

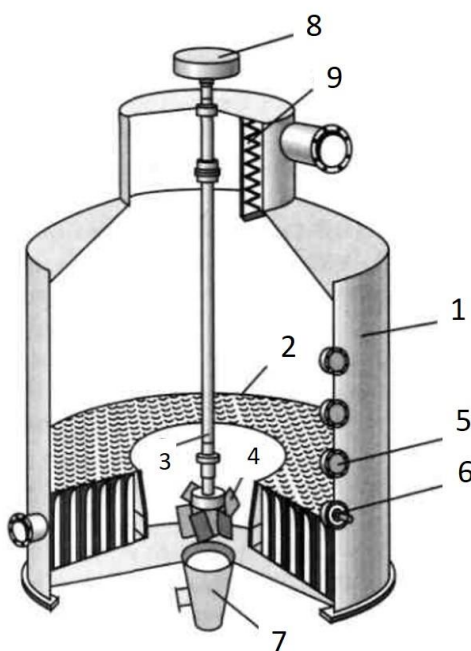


Рис. 1.1. Схема вакуум-апарата для уварювання утфелю: 1 – корпус; 2 – гріюча камера; 3 – вал; 4 – турбинка; 5 – наглядні скельця; 6 – пробний кран; 7 – затвор для вивантаження утфелю; 8 – привод; 9 – сепаратор (передрук. з [5])

Відокремлення вторинної пари від крапель продукту у вакуум-апаратах здійснюється за рахунок сепаратора. Оскільки у вакуум-апаратах продукт має високу в'язкість, використовують сепаратори лише інерційного типу, котрі встановлюють над утфельним простором, у верхній частині корпусу вакуум-апарата.

У нижній частині корпусу встановлене днище, на якому знаходиться спускний пристрій для утфелю. Останні бувають шиберного та клапанного типу з гідравлічним та механічним управлінням.

До нижньої частини корпусу вакуум-апарата приварені лапи або кільце, за допомогою яких він встановлюється на балки.

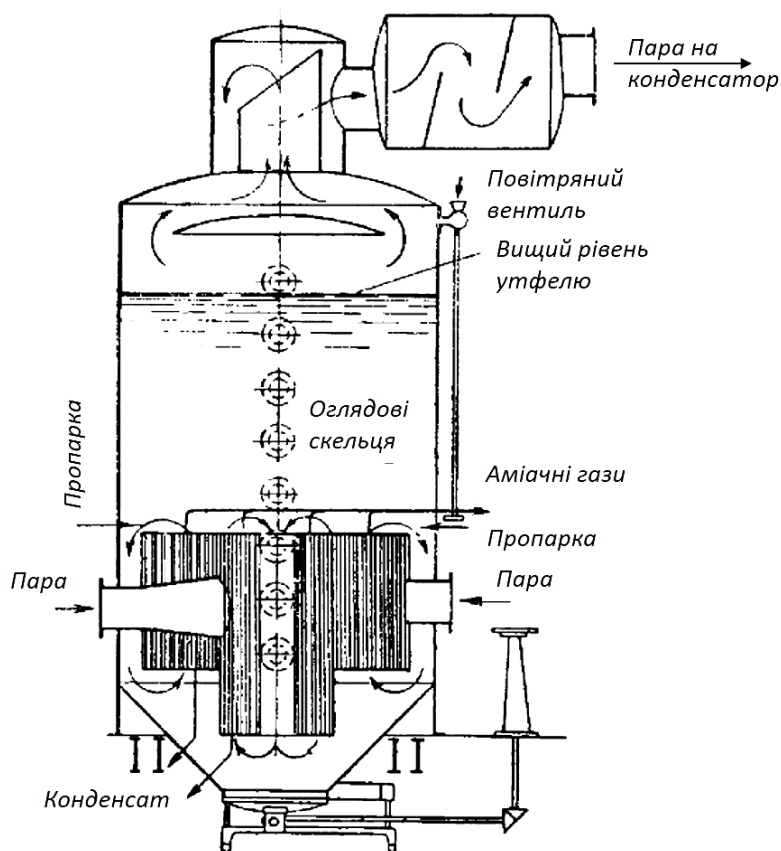


Рис. 1.2. Вакуум-апарат з підвісною гріючою камерою (передрук. з [6])

1.2 Характеристика стадій уварювання сиропу

Процес уварювання сиропу протікає в наступній послідовності:

1) Підготовка вакуум-апарата. Полягає в пропарюванні поверхні нагріву з метою її очищення від залишків утфелю; проводиться перевірка вентилів і всієї арматури.

2) Згущення сиропу до введення кристалів. Перед початком уварювання апарат підключають до лінії розрідження та створюють у ньому вакуум. Потім його наповнюють вихідним продуктом до тих пір, поки гріюча камера повністю не покриється продуктом. Після введення необхідної

кількості сиропу в апарат паровий вентиль повільно відкривають повністю та при залишковому тиску близько 0,015 МПа починають згущувати сироп випарюванням. У таких умовах сироп кипить при температурі 70–72 °С, що забезпечує досить високу корисну різницю температур між гріючою парою та киплячим сиропом. Крім того це дозволяє проводити згущення сиропу з невеликими втратами сахарози. При згущенні сиропу до вмісту в ньому 82–83 % сухих речовин (так звана «проба»), що відповідає коефіцієнту пересичення 1,25–1,3, температура кипіння сиропу при незмінному розрідженні підвищується до 73–75 °С. Це підвищення температури пов'язано зі збільшенням вмісту сухих речовин в киплячому розчині до концентрації, достатньої для введення кристалів. Ступінь пересичення та готовність розчину до введення кристалів визначають за зовнішніми ознаками: рухливість уварюваного сиропу, швидкість стікання бризків сиропу по наглядному склу, інтенсивність підйому бульбашок пари, проба «на волосину», а також електропровідність уварюваної маси.

3) Введення кристалів цукру. Коли згущений сироп має коефіцієнт пересичення 1,2–1,3, система є нестабільною і виникає найбільш підходящий момент для введення в апарат кристалів. Для цього температуру кипіння розчину підвищують на 4–5 °С та через пробний кран вводять затравку у вигляді тонкоподрібненої цукрової пудри, просіяної через шовкове сито (з розрахунку 50 г на 40 т утфелю). Затравка слугує імпульсом для виникнення нових центрів кристалізації. Одночасно для утворення рівномірних кристалів у вакуум-апарат підкачують невелику кількість сиропу. Ознакою того, що процес кристалізації проходить з максимально можливою швидкістю, є поява в сиропі невеликої кількості нових центрів кристалізації. При цьому чим більше центрів кристалізації утворюється під час «заправки», тим меншими будуть розміри утворених кристалів і навпаки. Утфель, у якому нарощено великі кристали, легше центрифугувати та промивати, однак довше уварювати; при цьому випадає більше «муки». Як тільки в уварюваній масі

після введення затравки з'явиться достатня кількість кристалів, проводять підкачку сиропом в 2–3 прийоми (закріплююча підкачка) і таким чином знижують коефіцієнт пересичення до 1,11–1,12. При такому коефіцієнті нові кристали не утворюються, а лише збільшуються. Сиропи для закріплюючих підкачок беруть невеликими порціями, щоб не допустити утворення ненасиченого розчину та не розчинити утворені зародки кристалів. Подальше нарощування кристалів проводять при залишковому тиску не вище 0,015 МПа.

4) Нарощування кристалів цукру. На цьому етапі проводиться постійна підкачка сиропом малими порціями для підтримання коефіцієнта пересичення в межах 1,1–1,12. Також забезпечується енергійна циркуляція утфелю та достатня площа поверхні кристалізації. Головним завданням даної стадії є нарощування вже існуючих кристалів. Дрібні кристали («мука»), що зароджуються в цей період, потрібно розчиняти шляхом підвищення температури, зменшенням розрідження в вакуум-апараті або збільшенням підкачки сиропом.

5) Остаточне згущення та вивантаження утфелю. Після того, як в вакуум-апарат надійшла остання порція сиропу, починають остаточно згущувати утфель, необхідний для більш повного знецукрення міжкристального розчину. Згущення проводиться до досягнення вмісту сухих речовин 92–92,5 %, а точніше – до необхідної кількості води, що залишається в утфелі. При цьому маса кристалів в утфелі збільшується до 52–56%. Подальше згущення є недоцільним, оскільки густий утфель дуже повільно згущується та погано центрифугується. В кінці уварювання его температура не повинна перевищувати 73 °С. Перед вивантаженням утфелю припиняють подачу пари в гріючу камеру вакуум-апарата та відключають систему розрідження, потім відкривають вентиль, який з'єднує верхню частину вакуум-апарата з атмосферою, та спускний клапан, який управляється за допомогою гідравлічного циліндра [4].

Як показано в роботі [2], підвищення концентрації сиропу та клеровки є найбільш вагомим технологічним чинником економії пари на стадії уварювання утфелю, тобто збільшення концентрації сиропу приводить до суттєвого зменшення витрат пари на уварювання утфелю і кристалізації. Проте на певному етапі уварювання утфелю при певній концентрації сиропу з клеровкою необхідно збільшувати водяні та сокові підкачки з метою розчинення «муки». Як наслідок, витрати пари на уварювання утфелю при підвищеній концентрації сиропу з клеровкою не тільки не зменшуються, але можуть навіть збільшуватися. Для кожного заводу величина такої граничної концентрації сиропу з клеровкою є індивідуальною та значною мірою залежить від конструкції, технічних параметрів та рівня автоматизації вакуум-апаратів.

1.3 Найбільш поширені конфігурації вакуум-апаратів, які застосовують на цукрових і рафінадних заводах

У цукробуряковому виробництві широко використовують вакуум-апарати ПВА-400, ПУ-2А-0 (ВАЦ-60) та ПУ-2А-80 (ВАЦ-80). На деяких заводах встановлені апарати типу ЯВА. У цукрорафінадному виробництві застосовують апарати типу ВАР-150 місткістю 15 т.

Вакуум-апарати типів ПУ-2А, ЯВА та ВАР. Ці апарати відрізняються один від одного конструкцією гріючої камери та її розміщенням (рис. 1.3).

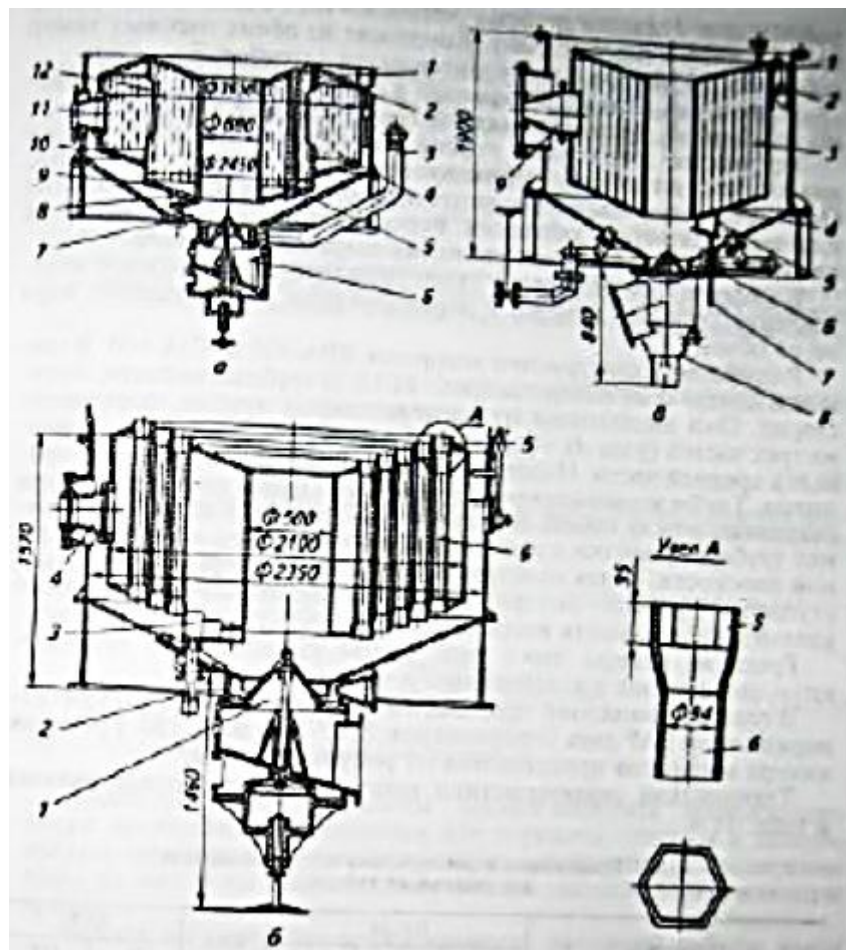


Рис. 1.3. Гріючі камери вакуум-апаратів: а – ПУ-2А-60-70: 1, 2, 9, 10 – трубні решітки; 3 – труба для підведення продукту; 4 – зовнішня частина гріючої камери; 5 – внутрішня частина гріючої камери; 6 – пристрій для спуску утфелю; 7 – патрубок для відведення конденсату; 8 – камера для конденсату; 11 – пристрій для підведення пари; 12 – отвір; б – типу ЯВА: 1 – пристрій для спуску утфелю; 2 – труба для відведення конденсату; 3 – кишень; 4 – штуцер для відведення пари; 5 – надставка; 6 – середня частина гріючої труби; в – типу ВАР: 1, 4 – трубні решітки; 2 – кронштейн; 3 – корпус; 5 – кишень; 6 – ущільнення; 7 – труба; 8 – пристрій для спуску утфелю; 9 – штуцер для підведення пари (передрук. з [7])

Гріюча камера апарата ПУ-2А-60-70 (рис. 1.3а) складається з двох частин – зовнішньої (4) і внутрішньої (5). Для підведення пари у внутрішню частину в корпусі передбачені отвори (12). Форма верхньої трубної решітки

парової камери – плоска двосхила. Трубна решітка (1) зовнішньої частини камери має ухил до корпусу апарата, а решітка (2) внутрішньої частини – до циркуляційної труби. Така будова верхньої трубної решітки при великих діаметрах апарата значно покращує циркуляцію утфелю при уварюванні. Нижні труби та решітки (9) і (10) обох частин камер мають ухил в один бік. Конденсат із обох парових камер збирається в камері (8) і відводиться через патрубок (7). Пристрій (11) для підведення пари в гріючу камеру обладнано мембраною, що сприймає температурні розширення.

Пристрій для спуску утфелю з апарата є аналогічним за конструкцією до пристрою, що застосовується в апаратах типу ПВА. Він відрізняється наявністю гвинтового штурвала для стопоріння клапана в закритому стані. Верхня та нижня частини апарата поставляються окремими вузлами, їх зварюють на місці.

До недоліків апаратів цього типу належать складне виготовлення гріючої камери та нерівномірний розподіл пари по її об'єму.

У конструкціях апаратів ЯВА-400 та ЯВА-600 гріюча камера не має трубних решіток (рис. 1.3б). Вони виконані з нагрівальних трубок, що складаються з трьох частин (вузол А) – середній (6) та двох надставок (5), приварених до середньої частини. Надставки відштамповані у вигляді шестигранників. Труби встановлюють ступінчасто і грані шестигранників зварюють між собою. В результаті утворюються верхня та нижня трубні решітки з деяким кутом нахилу до горизонтальної площини. Така конструкція гріючої камери покращує надходження утфелю всередину трубок і дещо збільшує питому поверхню нагріву камери.

Гріючі камери цього типу мають істотні недоліки: вони складні у виготовленні та ремонті.

У цукрорафінадній промисловості застосовують вакуум-апарати типу ВАР двох типів: ВАР-75 та ВАР-150. Гріюча камера апаратів представлена на рис. 1.3в. Технічні характеристики вакуум-апаратів представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технічні характеристики вакуум-апаратів для уварювання утфелю

Показник	ПУ-2А			ЯВА	ВАР	
	350	500	600-700		75	150
Маса увареного утфелю, т	85	50	60-70	40	7,5	18
Площа поверхні нагріву гріючої камери, м ²	190	255	395	224	40	70
Діаметр гріючих трубок*, мм	102/98	102/98	102/98	102/98	102/98	102/98
Робочий тиск у гріючій камері, МПа	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Діаметр корпусу апарата	-	4296	4930	2700	2000	2400
Загальна висота, мм	-	9874	10775	7175	7100	7500
Маса без продукту, кг	19039	28650	38820	-	6450	8475

Примітка. В чисельнику вказано зовнішній діаметр, в знаменнику – внутрішній.

Вакуум-апарати з механічним циркулятором. Промисловістю виробляється вакуум-апарат типу ВАВ-60, який є апаратом періодичної дії з механічним циркулятором. Вакуум-апарат (рис. 1.4) являє собою вертикальну циліндричну посудину зварної конструкції з конусними верхнім і нижнім днищами (4). У нижній частині апарата розташована вбудована парова камера циліндричної форми з вертикальними трубами поверхні нагріву. Кінці кожної труби (верхній та нижній) вварені в трубні решітки. В центрі парової камери розташована вертикальна циркуляційна труба, що звужується донизу (ухил 2°), до верхнього кінця якої приварений дефлектор (розтруб). Внизу камери знаходиться конічний пояс по формі поверхні, яка описується зовнішніми кромками лопатей турбінки циркулятора.

Внаслідок того, що апарат не має периферійних циркуляційних каналів (парова камера є вбудованою), вздовж зовнішньої стінки камери (з внутрішнього боку) розташовується вертикальний канал для утфелю. Вздовж

цього каналу зверху до внизу розташовуються пробний кран та кран для введення олії в апарат. Під пробним краном знаходиться зливний бачок для води. Пара підводиться в камеру з обох боків через штуцери.

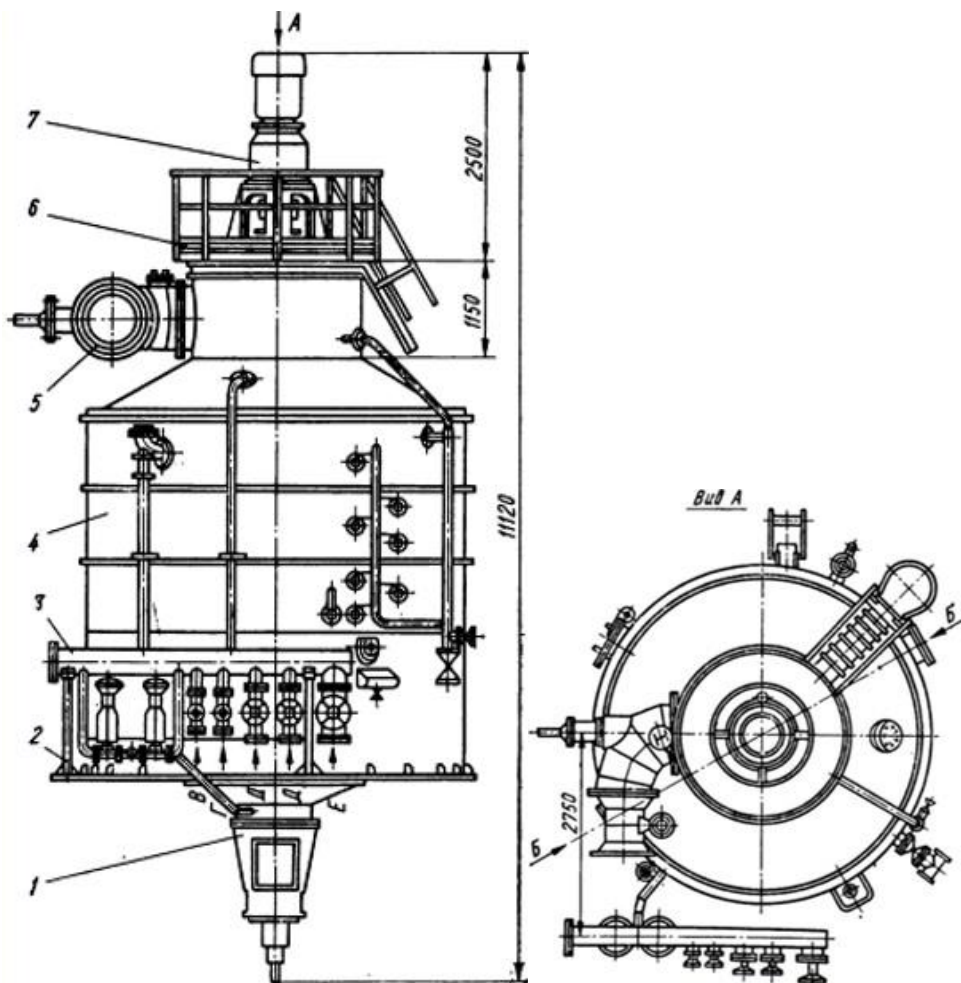


Рис. 1.4. Вакуум-апарат типу ВАВ-60 (передрук. з [8])

Гази, що не конденсуються, видаляються з парової камери відтяжками, розташованими у верхніх її точках. Конденсат відводиться із нижньої частини парової камери через зливні коробки, приварені до зовнішньої стінки. Для спостереження за його стоком конденсатні відводи обладнані конденсатними ліхтарями. Зовнішня стінка парової камери є частиною стінки корпусу апарата.

У нижній частині корпусу розташований опорний фланець (2) верхня частина корпусу укріплена трьома кільцями жорсткості. До нижньої частини корпусу приварено конусне днище, укріплене конусною обичайкою. Нижня

центральна частина днища – знімна з фланцевим з'єднанням, що дозволяє монтувати або демонтувати турбінки циркулятора.

Для вивантаження утфелю з апарата до нижнього днища кріпиться спускний затвор, на якому встановлені два гідроциліндри: для його закривання та фіксації в закритому положенні.

Сироп, патока, вода та пара для пропарювання підводяться через колектор (3) в нижню частину апарата по кільцевому зазору над спускним затвором. На верхньому конусному днищі встановлена пастка для вловлювання частинок рідини, захоплених вторинною парою.

Пастка має штуцер для відведення вторинної пари на конденсатор. До штуцера кріпиться повітряний затвор (5), який приводиться в дію від гідроциліндра дистанційно. Під пасткою всередині апарата підвішений відбійний щит, який являє собою конус, звернений вершиною вгору.

Для примусової циркуляції киплячого утфелю в апараті є циркулятор, який має наступну будову. По осі апарата розташований вертикальний вал, на нижньому кінці якого кріпиться трубка циркулятора. Вал має дві опори: верхню – два радіально-упорних кулькопідшипники в одному корпусі, нижню – підшипник ковзання з текстолітовою втулкою. Під верхньою опорою вала розташоване сальникове ущільнення, що не допускає засмоктування повітря із зовнішнього середовища всередину апарата. Вал циркулятора приводиться в обертання за допомогою пружної втулково-пальцевої муфти від приводу (7), який складається з двоступінчастого планетарного редуктора та тришвидкісного електродвигуна змінного струму. У міру згущення уварюваної маси в апараті обороти вала циркулятора зменшуються.

Для обслуговування приводу циркулятора апарат забезпечений сходами та майданчиком обслуговування (6). Апарат має засоби контролю та автоматизації.

Технічні характеристики вакуум-апарата типу ВАВ-60 представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Технічні характеристики вакуум-апарата типу ВАВ-60

Маса утфелю, звареного за одне варіння, т	60
Поверхня нагріву, м ²	321
Розрідження в апараті, МПа	0,093
Робочий тиск гріючої пари, МПа	0,35
Привод вала циркулятора:	
двигун-редуктор	МП02-268-55/64
електродвигун	А02-92-8/6/4
Частота обертання вала циркулятора, с ⁻¹	1,07; 0,7; 0,53
Потужність, кВт/год	50, 40, 36
Габаритні розміри, мм:	
діаметр	4768
висота	11120
Маса без системи автоматизації, кг	36030
Завод-виробник	Смілянський машинобудівний Мінлегхарчмашу

Вакуум-апарати з циркулятором і конфузором

Для створення сприятливих умов кристалізації сахарози необхідно підтримувати швидкість руху утфелю в апараті в інтервалі 0,5–1 м/с протягом усього процесу. Цього можна досягти за рахунок механічного перемішування утфелю за допомогою лопатевого циркулятора (рис. 1.5). Апарат влаштований наступним чином. По осі апарату встановлений вертикальний вал (3) з верхнім приводом (1), на нижньому кінці якого кріпиться турбінка (7). Вал має дві опори: верхню з двох кулькових підшипників, нижню (6) – з підшипника ковзання з текстолітової втулкою. Під верхньою опорою вала розташовано сальникове ущільнення (2), що не

допускає проникнення в апарат повітря. Вал циркулятора обертається від привода, що складається з двоступінчастого редуктора та тришвидкісного електродвигуна змінного струму потужністю 50 кВт (для апарату місткістю 60 т утфелю). У міру згущення маси, що уварюється, частота обертання циркулятора зменшується від 64 до 43, а потім до 32 хв⁻¹.

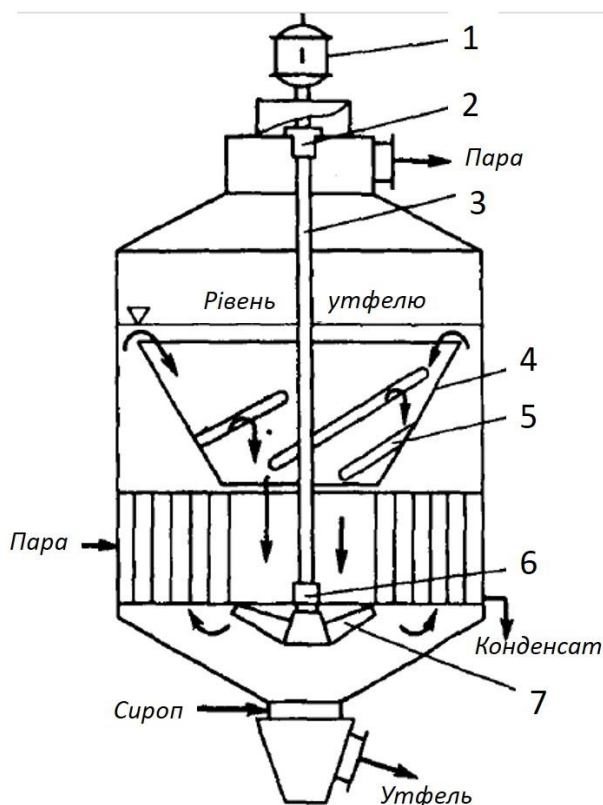


Рис. 1.5. Вакуум-апарат з механічним циркулятором і конфузуром: 1 – привод; 2 – сальникове ущільнення; 3 – вал циркулятора; 4 – конфузур; 5 – заслонки, що відкриваються; 6 – нижня опора вала; 7 – турбінка (передрук. з [4])

Оскільки наприкінці процесу уварювання швидкість циркуляції утфелю знижується до 0,02–0,03 м/с, потрібно додатково інтенсифікувати циркуляцію. Поліпшити організовану циркуляцію утфелю в надтрубному просторі вакуум-апаратів дозволяє присутність конічного конфузора (4), що має декілька рядів заслонок, які відкриваються (5).

Сьогодні промисловістю виробляється вакуум-апарат ПВА-400 з конфузором виробництва ТОВ «Фарсал» (рис. 1.6).

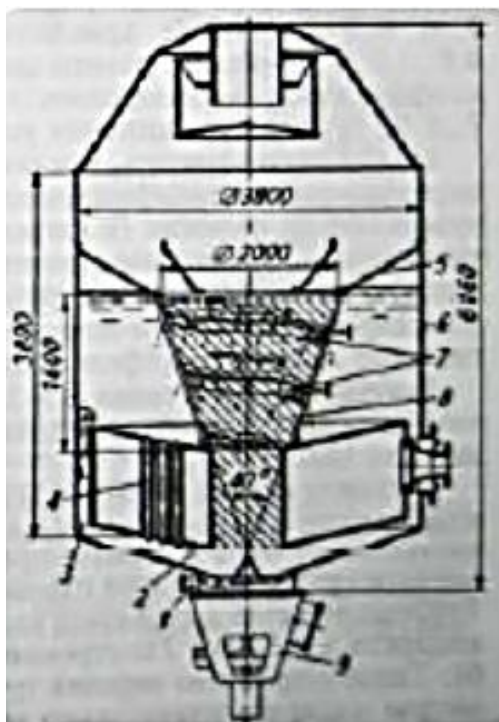


Рис. 1.6. Апарат ПВА-400 з конфузором: 1 – патрубок; 2 – центральний циркуляційний канал; 3 – кільцевий циркуляційний канал; 4 – нагрівальні трубки; 5 – розпірки; 6 – корпус; 7 – вирізи; 8 – конфузор; 9 – спусковий пристрій (передрук. з [7])

У корпусі апарата над циркуляційним каналом (2) встановлюють конфузор (8), що являє собою усічений конус. Він забезпечує кращу організацію циркуляційних потоків у надтрубному просторі гріючої камери та чітке виділення зони седиментації кристалів. Висота конуса відповідає максимальному рівню утфелю в апараті. Нижня частина конуса спирається на парову камеру, а верхня фіксується розпірками (5).

У стінках конфузора виконані вікна, розташовані по гвинтовій лінії, або суцільні вирізи (7), що забезпечує циркуляцію утфелю при будь-якому його рівні в апараті та зменшує утворення застійних зон. Потoki утфелю рухаються в циркуляційному контурі, що складається з нагрівальних трубок

(4), вирізів (7) стінки конфузора, центрального (2) і кільцевого (3) циркуляційних каналів. Для зменшення втрат напору в конфузори кут його розкриття прийнято рівним 35–40°. Для пропарювання поверхні конфузора подається пара.

В результаті порівняльних дослідів уварювання утфелю в апаратах без конфузоров та з конфузорами встановлено, що за наявності конфузора цикл уварювання утфелю І скорочується на 5–6 %; вміст кристалів в утфелі збільшується на 0,8–1,0 % і середній розмір кристалів зростає на 10–20 %; коефіцієнт неоднорідності кристалів зменшується на 7–8 %; температура кипіння утфелю знижується на 2–3°C.

Варто відзначити, що конфузор не замінює механічні циркулятори, що інтенсифікують масообмін в основному в зоні бульбашкового кипіння (у нагрівальних трубах) і біля дна вакуум-апарата. Спільне застосування конфузора та механічних циркуляторів забезпечує рівномірне перемішування утфелю по всьому об'єму вакуум-апарата, значно покращує технологічні показники утфелю та скорочує цикл його уварювання.

Вакуум-апарат з механічним циркулятором марки ВАЦМ виробництва ТОВ «ТМА» (Яготинський механічний завод) є апаратом періодичної дії та призначений для уварювання утфелів із сиропу та/або відтоків методом випарювання розчинника (води) під розрідженням (рис. 1.7).

Вакуум-апарат складається з циліндричного вертикального корпусу (1) з конічною верхньою частиною, вбудованої трубчастої парової камери (2) з центральною циркуляційною трубою (3), блюдцеподібного днища (4), механічного шестилопатевого циркулятора (5), оснащеного двигун-редуктором з електроприводом (6), який встановлюється на верхній частині пастки-сепаратора (7). Безфланцеве виконання корпусу забезпечує надійну підтримку необхідного вакууму в апараті під час роботи. Сироп/відтоки, що надходять на уварювання, подаються в кільцевий колектор у днище апарата, з якого потім надходять в утфельний простір апарата. У нижній частині

днища встановлено пристрій для вивантаження увареного утфелю. Парова камера обладнана патрубками для підведення пари в міжтрубний простір, відтяжками для відведення газів, що не конденсуються (аміачна відтяжка), патрубками для відведення конденсату. Пастка-сепаратор оснащена патрубком для підключення апарата до вакуумної магістралі. Спостереження за процесом варіння ведеться через наглядові скельця. Зовні на корпусі розміщуються пробний кран, люк (лаз), патрубки для підведення пропарки, наявні штатні місця для установки контрольно-вимірювальних приладів і автоматики.

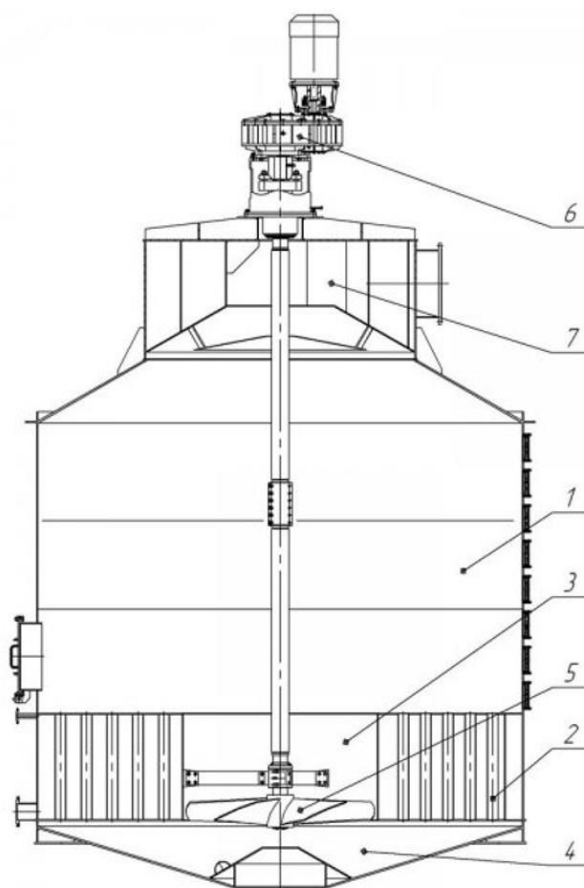


Рис. 1.7. Вакуум-апарат марки ВАЦМ: 1 – корпус; 2 – парова камера; 3 – циркуляційна труба; 4 – днище; 5 – циркулятор; 6 – електропривод; 7 – пастка-сепаратор (передрук. з [8])

Перевагами такого вакуум-апарата є можливість уварювання утфелей із сиропів концентрацією 68–72 %; мінімальний об'єм початкового набору;

високоєфективний циркулятор з частотно-регульованим приводом; низька вартість у порівнянні з аналогічним обладнанням європейських виробників; широкий параметричний ряд апаратів, що дозволяє використовувати їх при реконструкціях заводів різної потужності; повна автоматизація процесу уварювання утфелю. Технічні характеристики апарата приведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Технічні характеристики вакуум-апарата з механічним циркулятором
марки ВАЦМ

Найменування	ВАЦМ-40	ВАЦМ-50	ВАЦМ-60	ВАЦМ-70	ВАЦМ-80	ВАЦМ-90
Маса утфелю одного варіння, т	40	50	60	70	80	90
Корисний об'єм, м ³	28	35	42	55	57	64
Площа поверхні теплообміну, м ²	200	257,9	292,8	364,2	406,2	471,5
Об'єм початкового набору, м ³	8,6	11,37	13,2	16,9	18,3	22,1
Те ж саме в % до корисного об'єму	30,7	32,5	32,0	34,5	32,1	34,4
Циркуляційне співвідношення	2,47	2,71	2,38	2,9	2,94	2,93
Встановлена потужність двигуна, кВт	30	37	45	55	75	75
Число обертів валу циркулятора (max), об/хв	60	60	60	64	64	64
Габаритні розміри, мм						
H	7800	7790	8140	7790	8130	8145
D	3824	4260	4530	5040	5050	5560
Маса, кг	18250	23100	25280	31400	34540	39300

Інший вакуум-апарат періодичної дії з механічним циркулятором, а саме апарат ТВА-Т-40 призначений для випарної кристалізації під вакуумом

утфелів першого, другого та третього продуктів із сиропу та патоки цукрового виробництва. Він складається з корпусу, гріючої камери, сепаратора, опорного днища та механічного циркулятора з приводом, який комплектується редуктором, асинхронним електродвигуном, частотним перетворювачем. Такий вакуум-апарат характеризується великою питомою поверхнею нагріву, що дозволяє отримувати більш якісний товарний цукор, та сприяє досягненню хороших енергетичних показників цукрового заводу. Його технічні характеристики представлені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Технічні характеристики вакуум-апаратів типу ТВА-Т

Технічні характеристики	Тип обладнання		
	ТВА-Т-40	ТВА-Т-60	ТВА-Т-75
Діаметр внутрішній, мм	4000	4500	5000
Діаметр циркуляційної труби, мм	1500	1800	1900
Частота обертання валів, об/хв	85	85	85
Площа поверхні нагріву, м ²	330	380	460
Корисний об'єм апарата, м ³	27,6	41,4	52
Маса звареного утфелю, т	40	60	75

Компанією «ВМА» (Німеччина) виробляється вертикальний вакуум-апарат ВКТ безперервної дії (рис. 1.8), який складається з чотирьох однакових розташованих одна над одною кристалізаційних камер (2). Кожна камера апарата являє собою вакуум-апарат періодичної дії з механічним циркулятором (5). Тип і потужність привода циркулятора відповідає в'язкості утфелю. Те, що циркулятор введений в апарат зверху, а також легкий доступ до його привода в проміжних царгах (4), забезпечують його безперешкодне техобслуговування.

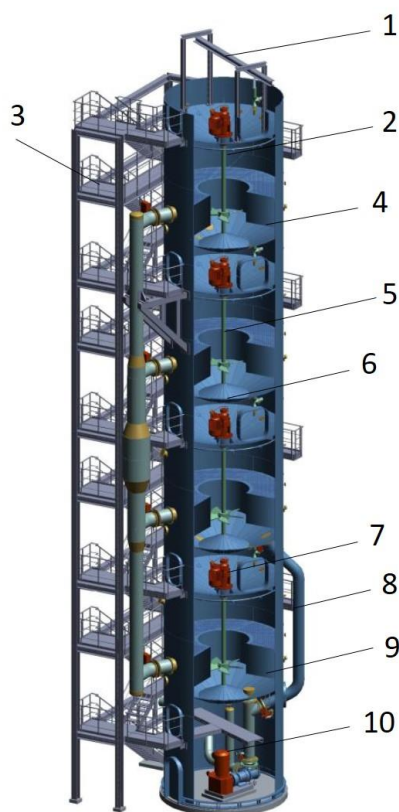


Рис. 1.8. Схема апарата VKT виробництва «ВМА»: 1 – каркас для підйомного обладнання та демонтажу привода циркулятора; 2 – кристалізаційна камера; 3 – баштова сходовою клітка з майданчиками обслуговування; 4 – проміжна царга; 5 – циркулятор; 6 – двоконусне зливне днище; 7 – гріюча камера; 8 – переливний трубопровід утфелю; 9 – вертикальна царга з опорним кільцем; 10 – насос утфелю.

Кожна камера має двоконусне зливне днище (6) обтічної форми. Така форма днища одночасно із застосуванням циркулятора виключає формування застійних зон під нижньою трубною решіткою гріючої камери, де утфель охолоджується і може відбуватися повторне кристалоутворення.

Гріючі камери (7) виконані як трубчасті камери. Ділянки впуску та випуску вварних кип'ятильних труб мають хороші аеродинамічні характеристики та виконані врівень з трубними решітками. Вторинна пара відводиться з камер через вбудовані в камери краплєвловлювачі, в яких затримуються віднесені парою краплі підкачки або утфелю. Апарат VKT обладнаний баштовою сходовою кліткою з майданчиками обслуговування (3), з яких забезпечується доступ до всіх кристалізаційних камер, клапанів та вимірювальних приладів.

Механічна циркуляція утфелю в апараті VKT забезпечує високий вміст кристалів, який може досягати 55% утфелю I продукту, що дозволяє отримати вихід цукру з центрифуг близько 50% до маси утфелю [2].

2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Наявність постійної конкурентної боротьби на товарних ринках вимагає постійного вдосконалення існуючих технологій виробництва, котрі б дозволили отримувати конкурентоздатний високоякісний продукт. Це стосується й виробництва цукру, так як цукрова промисловість є однією зі стратегічних галузей в аграрному комплексі України.

Оскільки цукор є високоліквідним товаром для внутрішнього та зовнішнього ринків, то успішний стан цукрової галузі може суттєвим чином покращити економіку нашої держави [10, 11]. Зважаючи, що галузь тісно пов'язана з великою кількістю інших виробництв, її можна вважати складовою продовольчої незалежності країни [10]. Разом з тим необхідно враховувати, що цукрове виробництво є ресурсо- та енергозатратним, а з огляду на теплотехнологічні процеси та їх апаратне оформлення воно є складним [12]. Саме тому питання ефективного використання природних ресурсів, передусім газу та електроенергії, що витрачаються на виробництво цукру, знаходяться в числі найважливіших завдань галузі.

Спектр енергозберігаючих заходів на виробництві може бути досить широким і всі вони, маючи теплотехнічний характер, напряду пов'язані з такими важливими технологічними показниками, як вихід і якість цукру. Вважається, що при дотриманні нормативної величини відкачки дифузійного соку найбільшу економію паливно-енергетичних ресурсів на цукровому заводі, можна досягти саме за рахунок вдосконалення продуктового відділення [2].

З-поміж усіх стадій виробництва цукру саме вакуум-апарати є найбільшими споживачами пари. Вдосконалення технологічних і теплотехнічних процесів у продуктовому відділенні можна проводити за

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Слюсенко А.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Саяпін А.Я.	<i>Назва, додаткова назва</i> Техніко-економічне, соціальне обґрунтування		082612.KP.14.002.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

рахунок інтенсифікації процесу кристалізації цукру за допомогою, наприклад, механічного чи гідродинамічного підсилення циркуляції. Встановлено, що підсилення циркуляції утфелю дає можливість застосовувати гріючу пару більш низького потенціалу, зменшити об'єми сокових або водяних підкачок, підвищити якість цукру та скоротити час уварювання на 15–20% [13, 14].

Цукрова промисловість належить до екологічно небезпечних видів діяльності [15]. Виробнича діяльність підприємств цієї галузі пов'язана зі значним забрудненням повітря, водних ресурсів та виснаженням земель. При цьому основною екологічною проблемою цукрових заводів є високе водоспоживання та високі об'єми забруднених стічних вод [16].

Зокрема велика кількість води витрачається під час роботи вакуум-апаратів з метою охолодження під час конденсації пари та одержання вакууму для уварювання утфелю, а також для охолодження напівпродуктів виробництва (утфелю останньої кристалізації), охолодження та промивання сатураційного газу та для охолодження обладнання або його складових частин.

У зв'язку з цим раціональне використання води в цукровому виробництві, передусім зниження витрат свіжої води та об'ємів стічних вод, є надзвичайно актуальним завданням для галузі. Крім того утворення небезпечних відходів і збільшення масштабів забруднення навколишнього природного середовища напряду пов'язані з використанням застарілого природоохоронного обладнання та застарілої матеріально-технічної бази, що досі використовується на цукрових підприємствах. Вирішення цих питань дозволить не лише зменшити витрати на виробництво цукру, але й покращити екологічну ситуацію в Україні.

Одним з етапів запровадження ефективних заходів з підвищення ефективності процесу уварювання утфелю є вдосконалення гріючої камери вакуум-апарата А2-ПВЕ-60.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ І ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

Вакуум-апарат А2-ПВЕ-60 використовують на стадії уварювання та кристалізації утфелів.

На цукрових заводах як правило використовується трьохкристалізаційна схема, яка включає афінацію цукру ІІ кристалізації за допомогою розбавленого першого відтоку утфелю І кристалізації до масової частки сухих речовин (СР) 74–76 %. Це дозволяє одержувати цукор відповідної якості згідно з ДСТУ4623:2023 з мінімальним вмістом цукру в мелясі.

Сульфітований сироп з клеровкою (загальний сироп), що надходить на уварювання утфелю І кристалізації, повинен містити не менше 65 % масової частки СР, бути прозорим, мати рН в межах 7,0–8,2, вміст оксиду кальцію СаО не повинен перевищувати 0,5 % на 100% СР, забарвленість не вище 30 ум.од. Утфель уварюють у вертикальних вакуум-апаратах періодичної дії місткістю 40, 60, 80 т [16]. Повний цикл уварювання утфелю за трьохкристалізаційною схемою представлено на рис. 3.1.

Згущення сиропу проводиться при максимально високому розрідженні в вакуум-апараті. Готовність згущеного сиропу до утворення центрів кристалізації визначають за такими зовнішніми ознаками, як рухомість сиропу, форма та інтенсивність підняття бульбашок пари, швидкість стікання крапель сиропу по оглядову склу, проба «на волосину». Масова частка СР в такому сиропі повинна складати 82–83 %.

Утфель І кристалізації з чистотою 89–92% одержують при уварюванні суміші сиропу та клеровки цукру ІІ кристалізації й афінованого цукру ІІІ кристалізації. Технологічні параметри процесу уварювання утфелю І кристалізації приведено в табл. 3.1.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Характеристика вихідної сировини і готового продукту		082612.KP.14.003.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/4

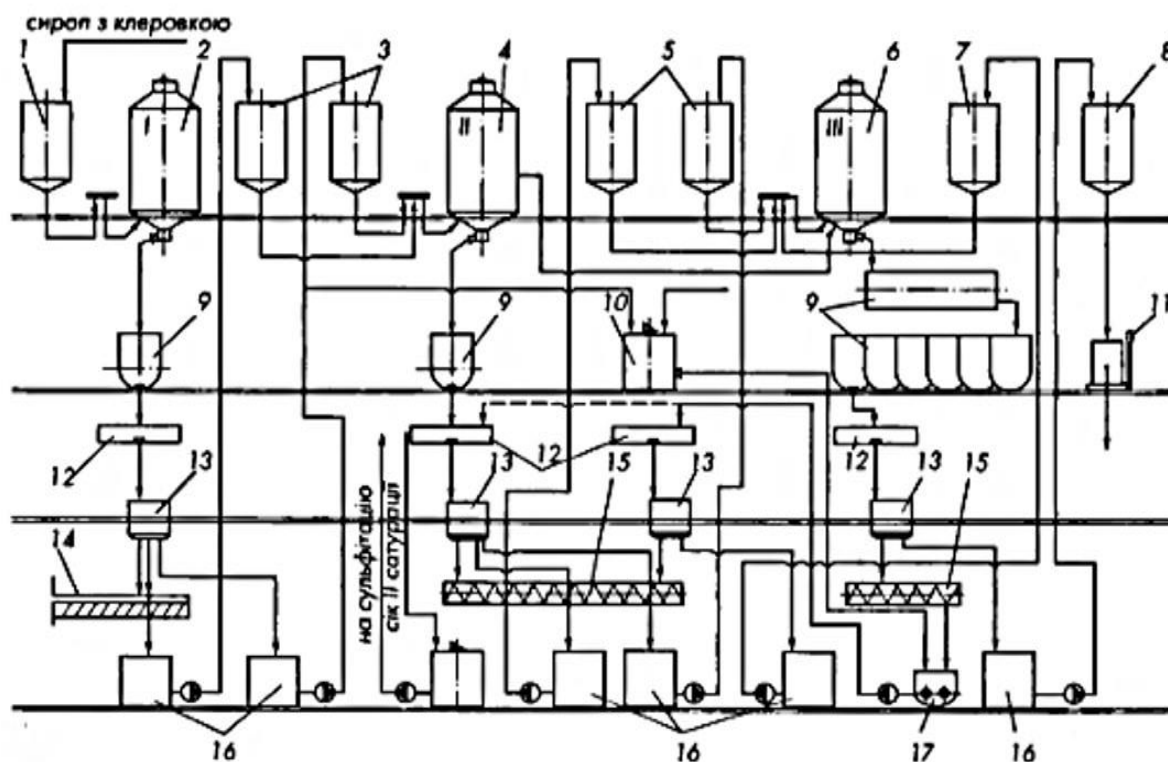


Рис. 3.1. Трьохкристалізаційна технологічна схема: 1 – збірник сиропу; 2, 4, 6 – вакуум-апарати I, II, і III кристалізації; 3, 5 – збірники I та II відтоку I та II кристалізації; 7 – збірник афінаційного відтоку; 8 – збірник меляси; 9 – утфелемішалки; 10 – мішалка афінувального розчину; 11 – ваги меляси; 12 – утфелерозподільники; 13 – центрифуга; 14 – віброконвеєр; 15 – шнеки жовтого цукру; 16 – збірники відтоків після центрифуг; 17 – афінаційна мішалка.

Таблиця 3.1

Технологічні параметри процесу

1	Масова частка сухих речовин в утфелі, %	91,5–92,5
2	Температура кипіння утфелю, °C	74–78
3	Ефекти кристалізації, %, не менше	12
4	Чистота утфелю, %	90–92

Утфель І кристалізації надходить на центрифугування в гарячому стані. Під час його промивання відбирають два відтоки. Різниця по чистоті відтоків повинна бути в межах 5–7%.

Утфель ІІ кристалізації з чистотою 84–86% одержують при уварюванні другого чи першого відтоків утфелю І кристалізації (залежно від їх чистоти). Технологічні параметри процесу уварювання утфелю ІІ кристалізації приведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Технологічні параметри процесу

1	Масова частка сухих речовин в утфелі, %	92,0–93,0
2	Температура кипіння утфелю, °С	65–76
3	Ефекти кристалізації, %, не менше	5
4	Чистота утфелю, %	84–86

Утфель ІІ кристалізації надходить на центрифугування в гарячому стані. За потреби цукор ІІ кристалізації промивають гарячою водою, клерують соком ІІ сатурації та направляють у суміші з сиропом на сульфитацію.

Утфель ІІІ кристалізації з чистотою 74–74% одержують при уварюванні відтоків утфелю ІІ кристалізації та афінаційного відтоку. Технологічні параметри процесу уварювання утфелю ІІІ кристалізації приведено в табл. 3.3

Таблиця 3.3

Технологічні параметри процесу

1	Масова частка сухих речовин в утфелі, %	94,0–95,0
2	Температура кипіння утфелю, °С	68–72
3	Ефекти кристалізації, %, не менше	10
4	Чистота утфелю, %	74–77

Афінований цукор подають у клерувальну мішалку та розчиняють фільтрованим соком II сатурації. Потім розчин подається на сульфитацію у суміші з сиропом та клеровкою цукру II кристалізації.

Зварений утфель являє собою масу, яка містить 40–55% кристалів цукру та 60–45% міжкристального розчину. Як правило, утфель I кристалізації містить приблизно 55% кристалів, утфель II кристалізації – 45%, а утфель кристалізації – 40%. Вміст кристалів в утфелі залежить від його чистоти (доброякісності). Чим нижче чистота утфелю, тим більше міститься в ньому нецукрів, більше його в'язкість (нецукри підвищують в'язкість розчину) і, відповідно, менше кристалів, так як вони теж підвищують в'язкість утфелю. При вищому вмісті кристалів утфель буде дуже в'язким і його важко перемішувати в мішалках.

З метою відокремлення кристалів цукру від рідини зварений утфель далі надходить на центрифугування.

4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано таке технічне рішення. Пропонується виконати накатку у вигляді гвинтових канавок на трубах (рис. 4.1) гріючої камери (рис. 4.2) вакуум-апарата А2-ПВЕ-60. Це приведе до інтенсифікації процесу теплообміну та прискорить нагрівання продукту, який уварюється.

Накатка на трубах гріючої камери забезпечить цілеспрямовану штучну турбулізацію (завихрення) потоку уварюваної маси в пристінній зоні труб за рахунок створення невеликих вихрових зон біля стінки, які є джерелом додаткової турбулізації потоків.

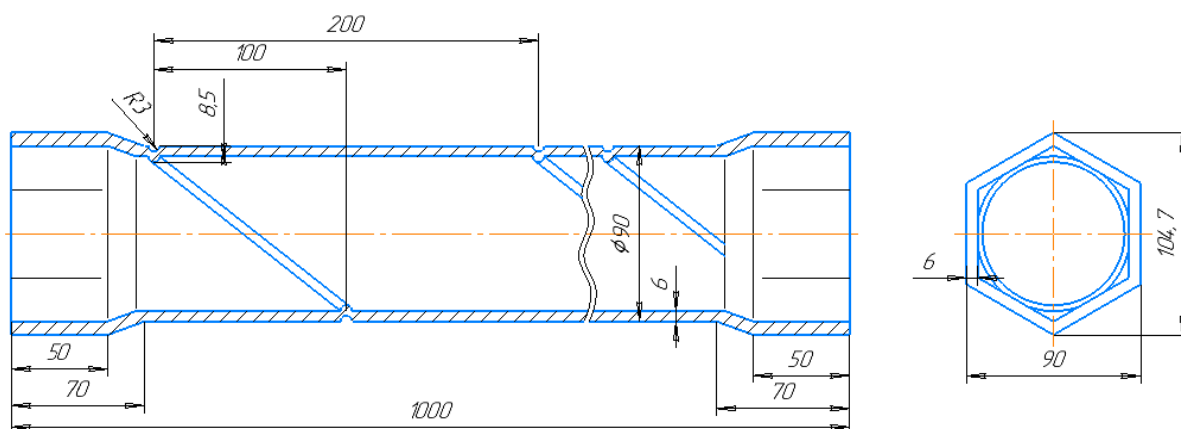


Рис. 4.1. Гріюча трубка

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи обладнання		082612.KP.14.004.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3

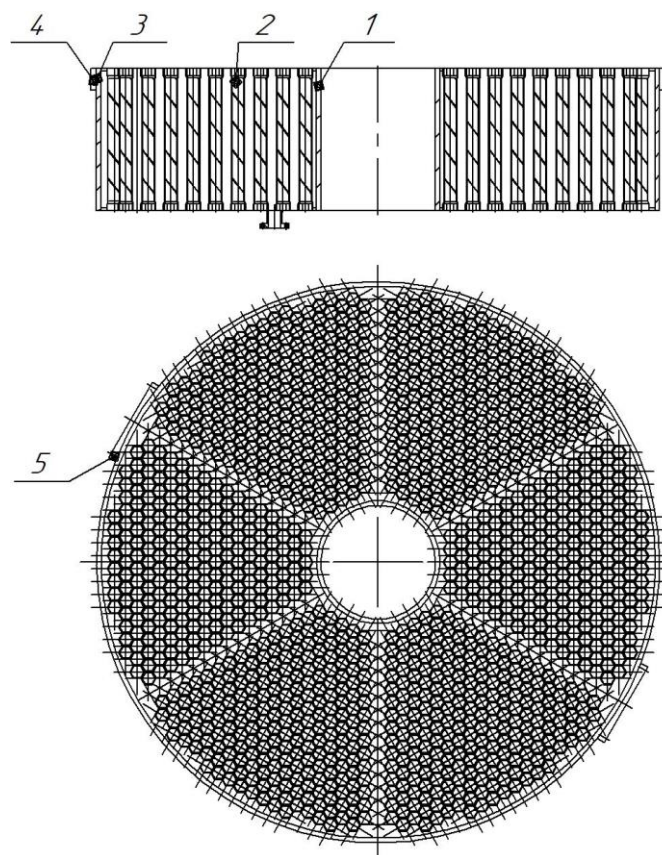


Рис. 4.2. Гріюча камера: 1 – циркуляційна труба; 2 – гріюча трубка;
3 – обичайка; 4 – кільце; 5 – патрубок

Модернізований вакуум-апарат А2-ПВЕ-60 (рис. 4.3) складається з верхнього 2 та нижнього 3 циліндричного корпусу, гріючої камери 1 з центральною циркуляційною трубою, до якої підводиться гріюча пара через патрубок 9. Цукровий розчин подається через патрубки в конічному днищі до циркулятора 8. Відведення готового продукту відбувається через затвор 4.

Вакуум-апарат працює наступним чином. Апарат через патрубки в конічному днищі заповнюється свіжим сиропом до покриття ним гріючої камери 1. Після цього через патрубки подачі пари 9 здійснюється подача гріючої пари в гріючу камеру 1 та починається процес уварювання розчину, який супроводжується нарощуванням кристалів. Подача цукрового розчину виконується на лопаті циркулятора 8, який забезпечує переміщення і перемішування утфельної маси всередині апарата. Розчин при проходженні через гріючу камеру 1 завдяки гвинтовим накаткам, які виконані на її

трубках, додатково переміщується, що приводить до інтенсифікації процесу теплообміну та прискорення нагрівання продукту.

Подальша підкачка свіжого сиропу у вакуум-апарат здійснюється періодично до заданого рівня. Після завершення процесу уварювання (нарощення кристалів цукру до нормованої величини), відбувається вивантаження продукту через спусковий затвор 4.

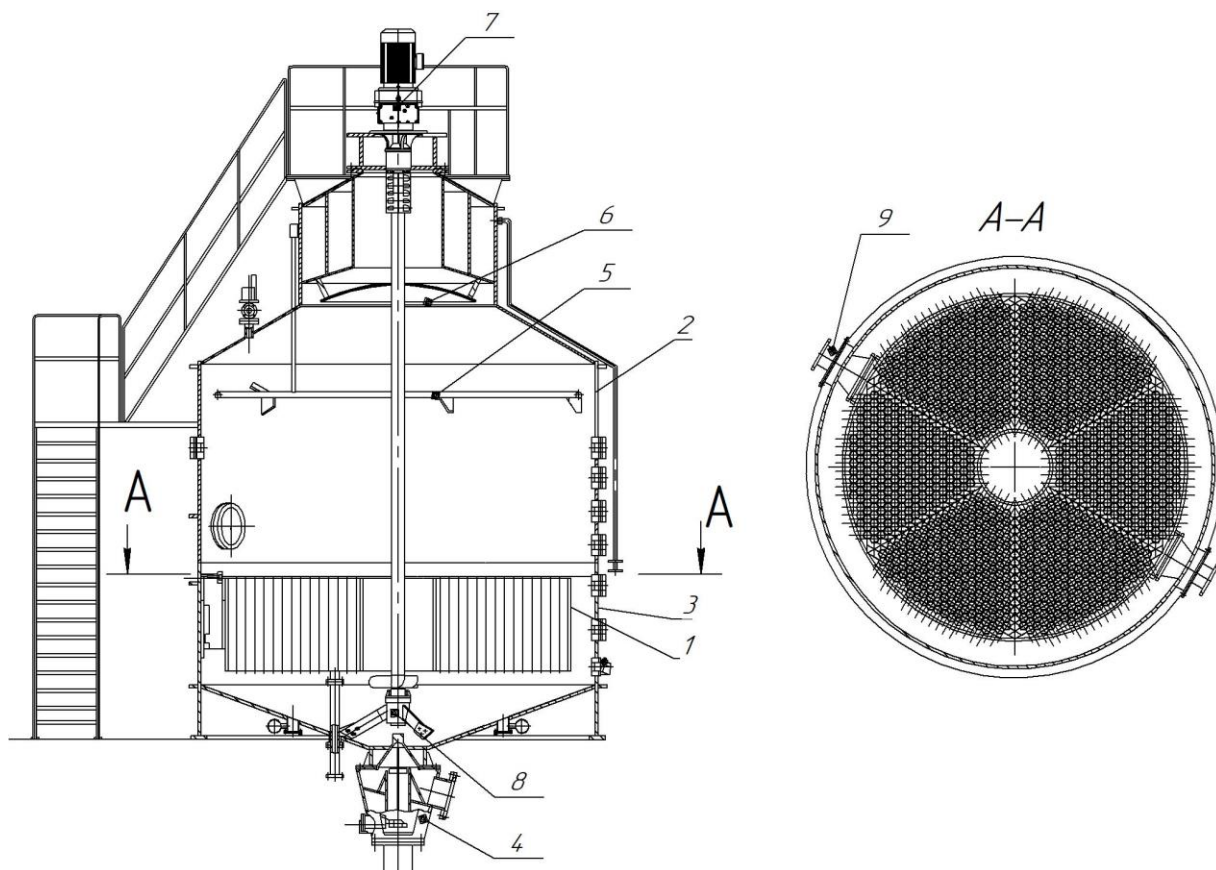


Рис. 4.3. Модернізований вакуум-апарат А2-ПВЕ-60: 1 – гріюча камера;
2 – верхній корпус; 3 – нижній корпус; 4 – спусковий затвор;
5 – пропарювальний пристрій; 6 – сепаратор; 7 – привід; 8 – циркулятор;
9 – пристрій подачі пари

5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок діаметра підвідних та відвідних патрубків

Розрахуємо діаметр патрубка для гріючої пари (м) за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot \omega}};$$

де d – внутрішній діаметр патрубка;

V – витрата пари, $V = 39088 \text{ м}^3/\text{Год}$;

$\omega_{\text{гр.п.}}$ – швидкість гріючої пари, $\omega_{\text{гр.п.}} = 25 \text{ м/с}$.

Тоді,

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 39088}{3600 \cdot 3,14 \cdot 25}} = 0,744;$$

Розрахуємо діаметр патрубка для вторинної пари (м), приймаючи, що $\omega_{\text{вт.п.}} = 35 \text{ м/с}$:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 47586}{3600 \cdot 3,14 \cdot 35}} = 0,693;$$

Приймаємо $d = 730 \text{ мм}$. Визначимо діаметр патрубка для відводу конденсату (м), приймаючи, що $\omega_k = 0,7 \text{ м/с}$:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 68,05}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,7}} = 0,185;$$

З конструктивних міркувань приймаємо три патрубки діаметром 0,098 м.

Визначаємо діаметр патрубка для підводу соку (м), прийнявши, що $U_c = 1 \text{ м/с}$:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 120}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1}} = 0,2;$$

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слясенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Розрахункова частина		082612.KP.14.005.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/13

Для більш рівномірного підводу соку приймаємо один патрубок діаметром 0,25 м (основний) і три допоміжних патрубки діаметром 0,15 м.

Визначимо діаметр патрубка для відбору увареного соку (м), приймаючи, що $\omega_{в.с.} = 0,7$ м/с:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 53}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,7}} = 0,16;$$

Приймаємо $d = 0,25$ м.

5.2 Розрахунок діаметра циркуляційної труби

Визначимо приведену швидкість пари на виході з труб поверхні теплообміну за формулою:

$$\omega'' = \frac{W_g}{3600 \cdot f_k \cdot \rho''};$$

де W_g – кількість випаруваної води за годину;

f_k – сумарна площа перерізу труб поверхні теплообміну (м²), яка визначається за формулою:

$$f_k = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n = \frac{3,14 \cdot 0,03^2}{4} \cdot 4990 = 3,525;$$

Тоді:

$$\omega''_I = \frac{63600}{3600 \cdot 3,525 \cdot 1,316} = 3,8;$$

Визначаємо швидкість циркуляції (м/с) за формулою:

$$\omega = 0,33 \cdot (\omega'')^{0,38} \cdot \left(\frac{L_{yp}}{L} \right)^x \cdot \frac{\rho^g}{\rho^p};$$

де L_{yp} – рівень соку у трубах поверхні теплообміну ($L_{yp} = 1,25$ м);

L – довжина труб поверхні теплообміну ($L = 4,3$ м);

x – допоміжна величина, $x = 7,1 \cdot (\omega'')^{-0,58} = 3,27$ – для режиму I корпусу.

Тоді:

$$\omega_I = 0,33 \cdot (3,8)^{0,38} \cdot \left(\frac{1,25}{4,3}\right)^{3,27} \cdot \frac{940}{1060} = 0,0085;$$

Допустиму втрату напору в циркуляційній трубі (без урахування рівня розчину над верхньою трубною решіткою) визначимо за формулою:

$$\Delta P_u = \rho^p \cdot g \cdot 0,8 \cdot (L - L_{yp});$$

Тоді:

$$\Delta P_{uI} = 1060 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \cdot (4,3 - 1,25) = 25372;$$

Максимально допустиму швидкість у циркуляційній трубі визначимо за формулою (м/с):

$$\omega_u = \sqrt{\frac{\Delta P_u \cdot 2}{\rho^p \cdot (\sum \xi_m + \frac{L_u}{d_u} \cdot \lambda)}};$$

де $\sum \xi_m$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів, що розраховується за формулою:

$$\sum \xi_m = \xi_{вх} + \xi_{вих} + \xi_{повор} = 0,5 + 1,0 + 1,1 = 2,6;$$

d_u – передбачуваний діаметр циркуляційної труби ($d_u = 0,8$ м);

λ - коефіцієнт тертя ($\lambda = 0,015$).

Максимально допустима швидкість у циркуляційній трубі для режиму роботи першого корпусу (м/с):

$$\omega_{uI} = \sqrt{\frac{25372 \cdot 2}{1060 \cdot (2,6 + \frac{4,3}{0,8} \cdot 0,015)}} = 4,22;$$

Максимально допустима швидкість у циркуляційній трубі для режиму роботи IV корпусу (м/с):

$$\omega_{uIV} = \sqrt{\frac{19690 \cdot 2}{1300 \cdot (2,6 + \frac{4,3}{0,8} \cdot 0,015)}} = 3,36;$$

Мінімально-допустимий діаметр циркуляційної труби (м) розрахуємо за формулою:

$$d_u = \sqrt{\frac{0,03^2 \cdot n \omega}{n_u \cdot \omega_u}};$$

Мінімально-допустимий діаметр циркуляційної труби для режиму роботи першого корпусу (м):

$$d_u = \sqrt{\frac{0,03^2 \cdot 4990 \cdot 0,0085}{1 \cdot 4,22}} = 0,095; \quad (< 0,8);$$

Таким чином, прийнятий діаметр циркуляційної труби $d_u = 0,8$ м здатний забезпечувати режим циркуляції у вакуум-апараті нашої продуктивності.

5.3 Розрахунок сепараційного пристрою

Сепараційний пристрій апаратів типу А2-ПВЕ для всіх поверхонь теплообміну комплектується уніфікованими жалюзійними пакетами з вільним входним перерізом $S_{пак} = 0,1$ м².

Необхідна кількість пакетів в залежності від площі поверхні теплообміну (шт) визначається за формулою:

$$Z = \frac{W^6}{\rho'' \cdot 3600 \cdot \omega_p \cdot S_{пак}};$$

де W^6 – кількість випаруваної води за годину;

ρ'' – густина вторинної пари при тиску випарювання;

ω_p – розрахункова швидкість пари на вході в жалюзійну насадку.

Також кількість пакетів з достатньою точністю можна визначити за емпіричною формулою:

$$Z = 0,0131 \cdot F;$$

де F – площа поверхні теплообміну.

Тоді:

$$Z = 0,0131 \cdot 2120 \approx 28.$$

Фактично встановлено, що $Z = 32$ шт.

5.4 Розрахунок поверхні теплообміну

Проведемо розрахунок відповідно до наступних вихідних даних і технологічних параметрів процесу:

1. Діаметр теплообмінних труб: 90 мм;
2. Робоча довжина теплообмінних труб: 1000мм;
3. Кількість труб: 1362 шт;
4. Матеріал труб: сталь 12Х18Н10Т;
5. Внутрішній тиск у гріючій і надсоковій камерах: до 0,4 МПа;
6. Зовнішній тиск (розрідження):
у надсоковій камері: до 0,09 МПа;
у гріючій камері: до 0,04 МПа;
7. Температура кипіння соку: до 126 °С;
8. Внутрішній діаметр корпусу апарата: 4500 мм;
9. Матеріал корпусу апарата: Ст3кп.

Розрахуємо площу поверхні теплообміну (m^2) за формулою:

$$F = \pi \cdot d \cdot L_{ак} \cdot n = 3,14 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot 1362 = 385 m^2$$

5.5 Розрахунок товщини стінки корпусу апарата

Товщину стінки апарата визначимо за формулою (мм):

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P};$$

де S_p – товщина стінки корпусу апарата;

P – розрахунковий внутрішній тиск ($P = 0,4$ МПа);

D – внутрішній діаметр корпусу апарата ($D = 4500$ мм);

$[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу оболонки апарата при роботі під тиском і розрідженням, відповідно до [7] приймаємо $[\sigma] = 126$ МПа;

φ_p – коефіцієнт міцності поздовжнього зварного шва, відповідно до [7]
приймаємо $\varphi_p = 0,9$.

Тоді:

$$S_p = (0,4 \cdot 4500) / (2 \cdot 126 \cdot 0,9 - 0,4) = 7,95$$

Виконавчу товщину стінки корпусу визначимо за формулою:

$$S = S_p + C;$$

де C – прибавка до розрахункової товщини (мм), що становить:

$$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

де C_1 – прибавка для компенсації корозії й ерозії, приймаємо $C_1 = 1,0$;

C_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску, приймаємо $C_2 = 0,8$;

C_3 – технологічна прибавка, приймаємо $C_3 = 0$.

Тоді:

$$C = 1 + 0,8 + 0 = 1,8;$$

Виконавча товщина стінки корпусу становить:

$$S \geq 7,95 + 1,8 = 9,75;$$

Приймаємо товщину стінки корпусу апарата $S = 12$ мм.

5.6 Розрахунок та підбір привода циркулятора

Циркулятор повинен бути закріплений вертикально у верхній частині вакуум-апарата. Вал циркулятора повинен спиратися на збільшений підшипниковий вузол двигун-редуктора. Двигун-редуктор циркулятора кріпиться до вакуум-апарата за допомогою фланця.

Якщо внизу вала потрібна опора, то вона повинна бути самозмащуваною. Проте краще спроектувати підшипниковий вузол так, щоб уникнути розміщення нижньої опори всередині апарата.

Ущільнення повинні не допускати проникнення повітря в простір між валом і корпусом вакуум-апарата. Цього найкраще досягти шляхом застосування пакетного ущільнення.

Існує два варіанти виконання привода циркулятора:

- від дво-швидкісного двигуна з механізмом вимикання;
- від одно-швидкісного двигуна з прямим керуванням крутного моменту.

Привод з двошвидкісним двигуном. При використанні дво-швидкісного двигуна необхідно, щоб виконувалася умова рівності споживання потужності при малій та великій швидкостях обертання. Для передавання потужності від двигуна до редуктора потрібно використовувати паси та шків.

Одношвидкісний двигун змінного струму із прямим керуванням крутного моменту. При такому виконанні привода швидкість потрібно програмувати так, щоб вона була максимально можливою, а також знаходилася в межах допустимої потужності двигуна в залежності від споживаного крутного моменту.

Приведений нижче графік (рис. 5.1) показує залежність сили струму двигуна від часу кипіння. За цим експериментальним графіком можна розрахувати потужність привода циркулятора.

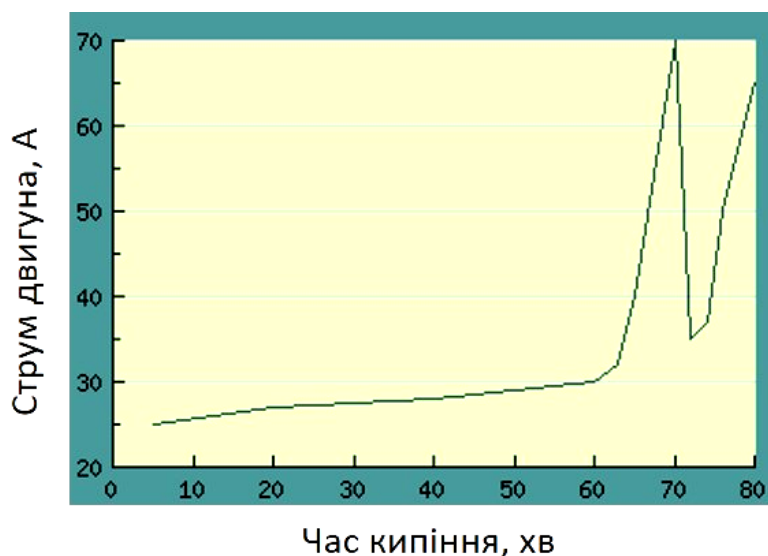


Рис. 5.1. Залежність сили струму від часу кипіння

Таким чином, більш економічно-доцільним є привод із дво-швидкісним двигуном і двигун-редуктором із збільшеним підшипниковим вузлом типу RM.

Для розрахунку потужності двигуна циркулятора застосовуємо критеріальні рівняння.

Розрахуємо критерій Рейнольдса при $n = 48/60 = 0,8$ об/с

$$Re = nd^2\rho/\mu = (0,8 \cdot 2,8^2 \cdot 1460)/0,0115 = 796271,30$$

де n – кількість обертів циркулятора (об/с);

d – діаметр лопатей (м);

ρ – густина утфелю (кг/м);

μ – в'язкість утфелю (Н/м²·с).

Критерій потужності обчислимо за формулою:

$$K_N = 1,581 Re_e^{0,88} \left(\frac{D}{d} \right)^{0,26}$$

де D – внутрішній діаметр апарата (м).

Тоді,

$$K_N = 1,581 \cdot 796271,30^{0,88} (4,5/2,8)^{0,26} = 278894,39$$

Потужність на перемішування обчислимо за формулою:

$$N = K_N \mu n^2 d^3 = 278894,39 \cdot 0,0115 \cdot 0,8^2 \cdot 2,8^3 = 45060,05 \text{ Вт}$$

Приймаємо $N=50$ кВт та $n=1500$ об/хв. Відповідно до потужності обираємо двигун-редуктор.

Каталог та технічні характеристики

Технічні характеристики електродвигунів 50 кВт

Паспортні характеристики	Значення електродвигунів 50 кВт			
Потужність Р, кВт (сучасні аналоги)	50			
Умовна частота обертання поля статора Nн, об/хв	3000	1500	1000	750
Фактична частота обертання валу Nф, об/хв	2930	1460	970	730
Умовний габарит двигуна	225		250	280
Тип мережі, частота	Трифазна, 50 Гц			
Напруга живлення УД/У, Вольт	220/380/660			
Принцип дії	Асинхронний/Індукційний			
Число полюсів	2	4	6	8
Ступінь захисту від пилу та вологи	IP 55			
Клас ізоляції обмотки (нагрівостійкість)	F (150 °C)			
Режим роботи	Тривалий – S1			
Кліматичне виконання та категорія розміщення	У1, У2, У3, Т2			
Стандарт прив'язки потужності до габаритів	ГОСТ 51689-2000			
Стандарт номінальних даних та робочих характеристик	ГОСТ 28173-89			

Так, можна обрати двигун-редуктори виробництва компанії «Sew Eurodrive» (Німеччина) серії RM (рис. 5.2), які мають наступні особливості:

1) редуктори з подовженою маточиною вихідного підшипника; 2) спеціально розроблені для мішалок; 3) десять розмірів рами; 4) передаточні числа редукторів до $i = 289,74$; 5) придатні для великих згинальних і осьових навантажень, а також крутних моментів.

З каталогу фірми «Sew Eurodrive» обираємо параметри для подальших розрахунків:

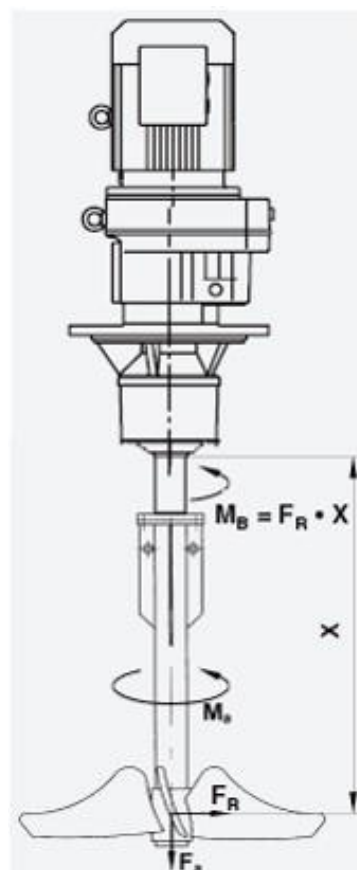


Рис. 5.2. Розрахункова схема перевірки двигун-редуктора серії RM «Sew Eurodrive»

Коефіцієнт перерахунку a	$a = 1091$
Коефіцієнт перерахунку b	$b = 91$
Редукторна стала C_F	$C_F = 30038700$
Допустиме осьове навантаження F_A	$F_{Aa} = 3990 \text{ Н}$
Редукторна стала	$F_F = 756 \text{ Н}$
Зовнішнє радіальне навантаження під час роботи	$F_R = 1470 \text{ Н}$
Допустиме зовнішнє радіальне навантаження (при $x = 1000 \text{ мм}$)	$F_{Ra} = 11100 \text{ Н}$

Перевіряємо радіальне навантаження:

$$F_{xL} = F_{Ra} \cdot \frac{a}{(x + b)} = 11100 \cdot \frac{1091}{(6000 + 91)} = 1988 \text{ Н} > F_R = 1470 \text{ Н}$$

Отже, підшипникова опора двигун-редуктора може сприймати все радіальне навантаження.

Визначаємо необхідність встановлення нижньої опори циркулятора. Для цього розрахуємо осьове навантаження під час роботи (від ваги циркулятора):

$$F_A = m \cdot g = 300 \cdot 9,81 = 2940 \text{ Н} < F_{Aa} = 3990 \text{ Н}.$$

Отже, нижня опора не потрібна. Таким чином, завдяки спеціальному редуктору зі збільшеним підшипниковим вузлом можна обійтися без двох складальних одиниць – нижньої та верхньої підшипникових опор.

5.7 Розрахунок вала циркулятора

Розрахунок вала циркулятора виконуємо з урахуванням залежності міцності від крутного моменту:

$$d = 1,713 \sqrt{\frac{M_{kp}}{\tau_d}} + C$$

Прибавку на корозію та ерозію (C) приймаємо рівними нулю.

Допустиме напруження на кручення τ_{∂} приймаємо рівним:

$$\tau_{\partial} \approx 0,6\sigma_{\partial}, \text{ МПа}$$

де σ_{∂} – допустиме напруження на розтяг (Н/м²):

$$\sigma_{\partial} = \frac{\sigma_{\epsilon}^t}{n_{\epsilon}} \cdot \eta$$

$$\sigma_{\partial} = \frac{\sigma_t^t}{n_t} \cdot \eta$$

де σ_{ϵ}^t – границя міцності на розтяг при робочій температурі (МПа);

n_{ϵ} та n_t – коефіцієнти запасу міцності при згинальних та дотичних напруженнях. Як матеріал вала приймаємо сталь 45.

Тоді,

$$n_{\epsilon} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \cdot \sigma_a + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m}$$

де $\sigma_a = \sigma$ – амплітуда номінальних напружень згину;

W_0 – осьовий момент опору круглого перерізу, м³;

ψ_{σ} – коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу напружень при згині;

$K_{\sigma D} = 1,6$ – коефіцієнт концентрації напружень.

$$K_{\sigma D} = \frac{K_{\sigma} + K_{\sigma}^n - 1}{E_{\sigma}}$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} \cdot \tau_a + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}$$

де $\tau_a = \tau_m = \tau/2$ – амплітуда та середнє значення номінальних напружень кручення;

$K_{\tau D}$ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень при крученні;

$K_{\sigma}^n = 1,18$ – коефіцієнт, який залежить від шорсткості;

$E_{\sigma} = 0,78$ – коефіцієнт впливу абсолютних розмірів деталей

$$K_{\tau D} = \frac{K_{\tau} + K_{\tau}^n - 1}{E_{\tau}}$$

де $K_{\tau} = 1,4$ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень для

полірованого зразка;

$K_{\tau}^n = 1,18$ – коефіцієнт стану поверхні;

$E_{\tau} = 0,78$ – коефіцієнт впливу абсолютних розмірів деталей.

$$K_{\sigma D} = \frac{1,6 + 1,18 - 1}{0,78} = 2,282$$

$$K_{\tau D} = \frac{1,4 + 1,18 - 1}{0,78} = 2,02$$

За табличними даними [19, 20] для вала діаметром $d > 100$ мм, виготовленого зі сталі 45, $K_{\sigma D} = 2,45$, $K_{\tau D} = 1,9$. Приймаємо більші значення, тобто $K_{\sigma D} = 2,45$, $K_{\tau D} = 2,02$.

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p}, \text{ МПа}$$

де W_p – полярний момент опору;

$M_{кр}$ – крутний момент, Н/м²;

τ – напруження при крученні, МПа.

Тоді,

$$\tau = \frac{8078,66}{0,000538} \approx 15 \text{ МПа}$$

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,14^3}{16} = 0,000538 \text{ м}^3$$

$$\sigma_{\partial} = \frac{420}{8} \cdot 0,85 = 44,62 \text{ МПа}$$

$$n_{\tau} = \frac{150}{2,45 \cdot 7,5 + 0,05 \cdot 7,5} = 8$$

$$d = 1,713 \sqrt[3]{\frac{8078,66}{26,772 \cdot 10^6}} + 0 = 114,69 \text{ мм}$$

Розрахуємо діаметр вала:

Приймаємо діаметр верхнього вала у найменшому перерізі рівним $d = 115$ мм.

5.8 Розрахунок шпонки

Для з'єднання двох валів використовується фланцева муфта з двома шпонками. Розрахунок зводиться до перевірки шпонки за умовою міцності за формулою:

$$M \leq 0,5dl_pk[\sigma]_{cm}$$

де d – діаметр вала (мм);

l_p – робоча довжина шпонки (мм);

k – робоча висота шпонки (мм);

$[\sigma]_{ст}$ – границя міцності матеріалу (МПа);

M – крутний момент (Н·м).

Таким чином,

$$0,5 \cdot 140 \cdot 7,4 \cdot 130 = 9427600 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 9428,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тоді, $M = 8494 \text{ Н} \cdot \text{м} < 9428,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Умова виконується.

6. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Вакуум-апарат А2-ПВЕ-60 належить до уніфікованих вакуум-апаратів, які використовуються на цукрових заводах для уварювання утфелей 1-го, 2-го та 3-го продуктів кристалізації. Апарат є автоматизованим і представляє собою циліндричну посудину з конічною верхньою частиною та днищем. У верхній частині апарата знаходиться пастка та повітряний шибер, а в нижній частині – гріюча камера підвісного типу з центральною циркуляційною трубою, парова камера та спускний затвор.

Уварений утфель є сумішшю кристалів цукру та міжкристальної рідини. Він є кінцевим продуктом, який одержують за допомогою вакуум-апарата А2-ПВЕ, і одним з основних напівпродуктів стадії кристалізації продуктового відділення цукрового виробництва.

При центрифугуванні утфелю відтік міжкристальної рідини утворює патоку. При двокристалізаційній технологічній схемі одержують два види утфелів: утфель I та утфель II кристалізації, в той час, як при трьохкристалізаційній технологічній схемі одержують також утфель III кристалізації. При центрифугуванні утфелю I кристалізації отримують білий цукор, білу та зелену патоки, а при центрифугуванні утфелю II кристалізації – жовтий цукор, буру патоку та мелясу.

У середньому утфель містить 40–50 % кристалів цукру, 23–32 % розчиненої сахарози та деяку кількість нецукрів (до 4 % в утфелі I кристалізації та до 20 % в утфелі II кристалізації).

Уварювання утфелю III кристалізації характеризується тим, що у вакуум-апарат надходять відтоки, котрі містять значно більше нецукрів у порівнянні з I і II ступенями кристалізації. Це призводить до значного підвищення вмісту сухих речовин і в'язкості уварюваної маси при досягненні

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Вибір конструкційних матеріалів		082612.KP.14.006.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2

необхідного пересичення, а також зниження швидкості кристалізації. В наслідок цього повний цикл уварювання утфелю III кристалізації стає в 1,5–2,5 рази довшим за цикл уварювання утфелю II кристалізації.

Середовища зі складним комплексом розчинних і нерозчинних сухих речовин зумовлюють протікання в вакуум-апараті електрохімічних корозійних процесів, і отже, сприяють інтенсивному зношуванню поверхонь робочих вузлів обладнання. Таке зношування може бути корозійним, ерозійним та гідроабразивним [21].

Враховуючи умови роботи вакуум-апарата А2-ПВЕ-60 для виготовлення його основних вузлів приймаємо наступні матеріали:

- 1) Верхній та нижній вали циркулятора: Сталь 45 (ГОСТ 1050-74);
- 2) Муфта: Сталь 45 (ГОСТ 1050-74);
- 3) Лопаті циркулятора: Ст3 (ГОСТ 380-88);
- 4) Гріючу камеру виготовляємо штампуванням та зварюванням зі сталі Ст3 (ГОСТ 380-88).

7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

7.1 Вибір деталі й обґрунтування вибору матеріалу

Для розроблення технологічного маршруту виготовлення деталі обрано деталь типу «фланець». Дана деталь призначена для кріплення трубопроводу до корпусу вакуум-апарата. Деталь не має контакту з продуктом та не піддається дії динамічного навантаження, тому для її виготовлення можна використати сталь Ст3. Ст3 – це конструкційна вуглецева сталь звичайної якості, широко поширена в машинобудуванні.

Хімічний склад Ст3: залізо – 97%; вуглець – 0,14-0,22%; нікель, мідь, хром – кожен не більше 0,3%; марганець – 0,4-0,65%; кремній – 0,05-0,17%; миш'як до 0,08%; сірки не більше 0,05%; фосфор менш як 0,04%. Механічні показники Ст3: межа плинності 205-255 МПа; тимчасове опір розриву 370-490 МПа; відносне подовження 22-26%.

7.2 Перевірка фланця на відповідність умовам взаємозамінності, надійності і довговічності

Аналіз деталей та вузлів технологічного обладнання часто дає можливість їх згрупувати за призначенням, матеріалом виготовлення, ступенем подібності за формою, розміром та іншими характеристиками. Це необхідно для систематизації всіх комплектуючих і запасних частин обладнання з метою організації його вчасного технічного обслуговування.

Враховуючи наявність потокового методу виготовлення ряду деталей на машинобудівних заводах, є доцільним замовляти типові деталі для обладнання у відповідних виробників. Оскільки фланці є достатньо

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бойко Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Технологічний маршрут виготовлення деталі		082612.KP.14.007.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/18

розповсюдженою деталлю, яка поставлена на потокове виробництво з великим асортиментом форм і розмірів під різні потреби замовників, то дану деталь можна замовляти у виробників залежно від поточної необхідності.

Проаналізувавши умови експлуатації фланця з точки зору його надійності, міцності та зносостійкості, можна зробити висновок, що основними чинниками, який впливатимуть на експлуатаційний стан і зношуваність фланця, будуть перепади температур і тиску у вакуум-апараті. Ст3, з якої виготовляється фланець, забезпечить надійність і довговічність роботи деталі завдяки своїм механічним характеристикам.

7.3 Розроблення технологічного процесу виготовлення фланця

При розробленні плану операцій технологічного процесу виготовлення фланця обирають такі методи оброблення кріплень і базування заготовок, які б забезпечували точність їх виготовлення та надійність встановлення в технологічному обладнанні.

У випадку базування на необробленій поверхні потрібно дотримуватися таких принципів:

- 1) поверхня повинна бути простої форми з розмірами, достатніми для стійкого положення деталі під час оброблення;
- 2) заготовка не повинна деформуватися елементами кріплення;
- 3) в якості чорнових баз обирати поверхні, які в подальшому не будуть оброблятися.

7.4 Технологічний маршрут виготовлення фланця

№ п/п	Назва операції, переходу	Технологічне обладнання, інструмент оброблювальний, контрольний
10.	Заготівельна, У33	Вилити заготовку

20.	Токарна, УЗЗ	Токарно-гвинторізний верстат 16К40 3-х кулачковий патрон
20.1	Торцювати пов.1 Ø 610	Різець прохідний відігнутий правий $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$, Т15К6. Штангенциркуль ШЦ1
20.2	Точити пов.2 Ø 480 на $L = 17$ мм	Різець прохідний відігнутий правий $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$, Т15К6. Штангенциркуль ШЦ1
20.3	Точити канавку пов.3 Ø 490	Різець канавковий $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 90^\circ$, Т15К6. Штангенциркуль ШЦ1
20.4	Торцювати пов.4 Ø 480	Різець прохідний відігнутий правий $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$, Т15К6. Штангенциркуль ШЦ1
20.5	Точити пов.5 Ø 440 на $L = 41$ мм	Різець прохідний відігнутий правий $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$, Т15К6. Штангенциркуль ШЦ1
30.	Токарна, УЗЗ	Токарно-гвинторізний верстат 16К40 3-х кулачковий патрон
30.1	Торцювати пов.1 Ø 610	Різець прохідний відігнутий правий $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$, Т15К6. Штангенциркуль ШЦ1
30.2	Точити пов.2 Ø 610 на $L = 58$ мм	Різець прохідний упорний правий $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 90^\circ$, Т15К6. Штангенциркуль ШЦ1
40	Свердлильна, УЗЗ	Свердлильний верстат 2Н125, пристрій
40.1	Свердлити отвір (1) скрізний	Свердло Ø 12, Р6М5
40.2	Свердлити отвір (1) скрізний	Свердло Ø 24, Р6М5
40.3	Свердлити отвір (1) скрізний	Свердло Ø 30,5, Р6М5
40.4	Нарізати різьбу М 32	Мітчик М 32

7.5 Розрахунок припусків

Приймемо найточніший розмір $\varnothing$ 610. Мінімальний припуск на напівчисте точіння визначимо за формулою:

$$2 \cdot Z_{1\min} = 2 \cdot (R_{Z1} + D_1 + \sqrt{(T_{np1})^2 + \varepsilon_{y2}}),$$

де R_{Z1} , D_1 , T_{np1} – відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару й сумарна просторова похибка при чорновому точінні ($R_{Z1} = 50$ мкм, $D_1 = 50$ мкм, $T_{np1} = 100$ мкм); ε_{y2} – похибка установлення при напівчистому точінні ($\varepsilon_{y2} = 100$ мкм).

Тоді:

$$2 \cdot Z_{1\min} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{(100)^2 + 100^2}) = 2011 \text{ мкм.}$$

$$2 \cdot Z_{2\max} = 2 \cdot Z_{1\min} + T_1 - T_2,$$

де T_1 – допуск розміру при чорновому точінні; T_2 – допуск розміру при напівчистовому точінні. Приймемо $T_1 = IT13 = 390$ мкм; $T_2 = IT11 = 160$ мкм.

Тоді:

$$2 \cdot Z_{2\max} = 2011 + 390 - 160 \text{ мкм.}$$

$$2 \cdot Z_{2\text{nom}} = \frac{2 \cdot Z_{2\max} + 2 \cdot Z_{2\min}}{2} = \frac{2011 + 2241}{2} = 2126 \text{ мкм.}$$

Припуск на чорнове точіння обчислюємо за формулою:

$$2 \cdot Z_{1\min} = 2 \cdot (R_{Z0} + D_0 + \sqrt{(T_{np0})^2 + \varepsilon_{y1}}),$$

де R_{Z0} , D_0 , T_{np0} – відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару й сумарна просторова похибка (для заготовок масою від 2,5 до 4 кг $R_{Z0} = 160$ мкм, $D_0 = 200$ мкм, $T_{np0} = 400$ мкм); ε_{y1} – похибка установлення при чорновому точінні ($\varepsilon_{y1} = 100$ мкм).

Тоді:

$$2 \cdot Z_{1\min} = 2 \cdot (160 + 200 + \sqrt{(400)^2 + 100^2}) = 1544.$$

Розраховуємо сумарний припуск:

$$2 \cdot Z_{\text{сум}} = \sum 2 \cdot Z_{i\text{nom}} = 2126 + 1544 = 3670 \text{ мкм.}$$

Приймаємо $Z = 4$ мкм.

Коефіцієнт використання матеріалу обчислюємо за формулою:

$$K_M = \frac{M_{ДЕТ}}{M_{ЗАГ}} = \frac{2,69}{3,06} = 0,87$$

де $M_{ДЕТ}$ – маса деталі; $M_{ЗАГ}$ – маса деталі загальна.

7.6 Розрахунок режимів різання

20. Токарна операція

Перехід 20.1. Торцювати Ø 610 (пов.1). Глибина різання в даному випадку $t = 3$ мм.

Обираємо подачу. Для різців із перерізом різця 16×25 мм при обробленні сталей діаметром більше 100 мм і з глибиною різання до 3 мм робоча подача становитиме $S = 0,6\text{--}0,9$ мм/об. Приймаємо $S = 0,6$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання V за формулою:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{403}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}},$$

де T – стійкість різця, приймаємо $T = 90$ хв.

Тоді:

$$V = \frac{403}{90^{0.2} \cdot 2,5^{0.15} \cdot 0,6^{0.35}} = 206,4 \text{ м/хв.}$$

Потрібну частоту обертів шпинделя верстата знаходимо за формулою:

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 206,4}{\pi \cdot 610} = 107,75 \text{ об/хв.}$$

Зі стандартного ряду обертів шпинделя верстата вибираємо найближче менше значення, тобто $n_B = 100$ об/хв.

Дійсну швидкість різання при таких обертах шпинделя знаходимо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_B}{1000} = \frac{\pi \cdot 610 \cdot 100}{1000} = 191,54 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу обчислюємо за формулою:

$$t_{01i} = \frac{L}{n_B \cdot S},$$

де L – розрахункова довжина оброблення для переходу, визначається як:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3,$$

де l – довжина оброблення безпосередньо на деталі ($l = 610$ мм); l_1 – добавка довжини на підвід інструмента до початку різання з механічною подачею ($l_1 = 2$ мм); l_2 – величина врізання інструмента; l_3 – величина перебігу різця. Для упорного різця із основним кутом в плані $\varphi = 45^\circ$ сума $l_2 + l_3 = 5$ мм.

Тоді:

$$L = 610 + 2 + 5 = 617 \text{ мм.}$$

Тоді основний час на виконання переходу:

$$t_{0.1} = \frac{617}{1000 \cdot 0,6} = 1,03 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу обчислюємо за формулою:

$$t_{д1} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

де t_1 – допоміжний час, який пов'язаний безпосередньо із переходом для поперечного обточування та з установленням різця по упору чи грубо по лімбу на верстатах із висотою центрів до 200 мм при автоматичній подачі ($t_1 = 0,09$ хв); t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя та подачі ($t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв); t_3 – допоміжний час на інші дії при виконанні переходу. Оскільки потреби в заміні інструмента чи інших діях немає, то $t_3 = 0$.

Тоді:

$$t_{д1} = 0,09 + 0,1 = 0,19 \text{ хв.}$$

Перехід 20.2 Точити Ø 480, l = 17 мм (пов.2). Глибина різання в даному випадку:

$$t = \frac{d_3 - d_d}{2} = \frac{616 - 610}{2} = 3 \text{ мм.}$$

Обираємо подачу. Для різців із перерізом різця 16×25 мм при обробленні сталей діаметром менше 400 мм і з глибиною різання до 5 мм робоча подача становитиме $S = 0,8\text{--}1,0$ мм/об. Приймаємо $S = 0,8$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.45}} = \frac{4255}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.45}},$$

де T – стійкість різця, приймаємо $T = 90$ хв.

Тоді:

$$V = \frac{255}{90^{0.2} \cdot 3^{0.15} \cdot 0,8^{0.35}} = 101,96 \text{ м/хв.}$$

Потрібну частоту обертів шпинделя верстата знаходимо за формулою:

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 101,96}{\pi \cdot 480} = 87,6 \text{ об/хв.}$$

Зі стандартного ряду обертів шпинделя верстата 16К40 обираємо найближче менше значення, тобто $n_B = 100$ об/хв. (ряд: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 730, 800, 1000, 1250, 1600 об/хв).

Дійсну швидкість різання при таких обертах шпинделя визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_B}{1000} = \frac{\pi \cdot 480 \cdot 100}{1000} = 150,72 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу розрахуємо за формулою:

$$t_{02} = \frac{L}{n_B \cdot S},$$

де L – розрахункова довжина оброблення для переходу, визначається як:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

де l – довжина оброблення безпосередньо на деталі ($l = 17$ мм); l_1 – добавка довжини на підвід інструмента до початку різання з механічною подачею ($l_1 = 2$ мм); l_2 – величина врізання інструмента; l_3 – величина перебігу різця.

Для упорного різця із основним кутом в плані $\varphi = 45^\circ$ сума $l_2 + l_3 = 5$ мм.

Отже,

$$L = 17 + 2 + 5 = 24 \text{ мм.}$$

Тоді основний час на виконання переходу:

$$t_{0.2} = \frac{24}{250 \cdot 0,8} = 0,125 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу визначаємо за формулою:

$$t_{д2} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n,$$

де t_1 – допоміжний час, який пов'язаний безпосередньо із переходом для поздовжнього обточування і з установленням різця по упору чи грубо по лімбу на верстатах із висотою центрів до 200 мм при автоматичній подачі ($t_1 = 0,09$ хв); t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя та подачі ($t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв); t_3 – допоміжний час на інші дії при виконанні переходу. Так як потреби в заміні інструмента та інших діях немає, то $t_3 = 0$.

Тоді:

$$t_{д2} = 0,09 + 0,1 = 0,19 \text{ хв.}$$

Перехід 20.3. Точити канавку $\varnothing 490$ (пов.3). Глибина різання в даному випадку $t = 10$ мм.

Обираємо подачу. Для різців із перерізом різця 16×25 мм при обробленні сталей діаметром менше 400 мм і з глибиною різання до 5 мм робоча подача становитиме $S = 0,6\text{--}1,2$ мм/об. Приймаємо $S = 0,6$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання V за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,45}} = \frac{485}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,45}}$$

де T – стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

Тоді:

$$V = \frac{485}{60^{0,2} \cdot 1,7^{0,15} \cdot 0,6^{0,45}} = 177,2 \text{ м/хв.}$$

Потрібну частоту обертів шпинделя верстата визначаємо за формулою:

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_s} = \frac{1000 \cdot 177,2}{\pi \cdot 490} = 115,16 \text{ об/хв.}$$

Зі стандартного ряду обертів шпинделя верстата обираємо найближче менше значення, тобто $n_B = 100 \text{ об/хв.}$

Дійсну швидкість різання при таких обертах шпинделя визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_B}{1000} = \frac{\pi \cdot 490 \cdot 100}{1000} = 153,86 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу розрахуємо за формулою:

$$t_{03i} = \frac{L}{n_B \cdot S}$$

де L – розрахункова довжина оброблення для переходу, визначається як:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

де l – довжина оброблення безпосередньо на деталі ($l = 5 \text{ мм}$); l_1 – добавка довжини на підвід інструмента до початку різання із механічною подачею ($l_1 = 2 \text{ мм}$); l_2 – величина врізання інструмента; l_3 – величина перебігу різця.

Для упорного різця із основним кутом в плані $\phi = 45^\circ$ сума $l_2 + l_3 = 5 \text{ мм}$.

Отже, $L = 5 + 2 + 5 = 12 \text{ мм}$.

Тоді основний час на виконання переходу:

$$t_{0.3} = \frac{12}{100 \cdot 0,6} = 0,07 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу розраховуємо за формулою:

$$t_{ДЗ} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

де t_1 – допоміжний час, який пов'язаний безпосередньо із переходом для поперечного обточування і з установленням різця по упору чи грубо по лімбу на верстатах із висотою центрів до 200 мм при автоматичній подачі ($t_1 = 0,09 \text{ хв}$); t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя та подачі ($t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1 \text{ хв}$); t_3 – допоміжний час на інші дії при виконанні переходу. Так як потреби в заміні інструмента та інших діях немає, то $t_3 = 0$. Тоді:

$$t_{ДЗ} = 0,09 + 0,1 = 0,19 \text{ хв.}$$

Перехід 20.4 Торцювати Ø 480 (пов.4). Глибина різання в даному випадку $t = 3$ мм.

Обираємо подачу. Для різців із перерізом різця 16×25 мм при обробленні сталей діаметром менше 400 мм і з глибиною різання до 3 мм робоча подача становитиме $S = 0,6\text{--}1,2$ мм/об. Приймаємо $S = 0,6$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання V за формулою:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{403}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}},$$

де T – стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

Тоді:

$$V = \frac{403}{60^{0.2} \cdot 1,7^{0.15} \cdot 0,6^{0.35}} = 177,2 \text{ м/хв.}$$

Потрібну частоту обертів шпинделя верстата визначаємо за формулою:

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_s} = \frac{1000 \cdot 177,2}{\pi \cdot 480} = 117,57 \text{ об/хв.}$$

Зі стандартного ряду обертів шпинделя верстата обираємо найближче менше значення, тобто $n_B = 100$ об/хв.

Дійсну швидкість різання при таких обертах шпинделя визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_B}{1000} = \frac{\pi \cdot 480 \cdot 100}{1000} = 150,72 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу розраховуємо за формулою:

$$t_{01i} = \frac{L}{n_B \cdot S},$$

де L – розрахункова довжина оброблення для переходу, визначається як:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3,$$

де l – довжина оброблення безпосередньо на деталі ($l = 480$ мм); l_1 – добавка довжини на підвід інструмента до початку різання із механічною подачею ($l_1 = 2$ мм); l_2 – величина врізання інструмента; l_3 – величина перебігу різця.

Для упорного різця із основним кутом в плані $\varphi = 45^\circ$ сума $l_2 + l_3 = 5$ мм.

Отже, $L = 480 + 2 + 5 = 487$ мм.

Тоді основний час на виконання переходу:

$$t_{0.1} = \frac{487}{1000 \cdot 0,6} = 0,8 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу розраховуємо за формулою:

$$t_{д1} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

де t_1 – допоміжний час, який пов'язаний безпосередньо із переходом для поперечного обточування і з установленням різця по упору чи грубо по лімбу на верстатах із висотою центрів менше 200 мм при автоматичній подачі ($t_1 = 0,09$ хв); t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя та подачі ($t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв); t_3 – допоміжний час на інші дії при виконанні переходу. Так як потреби в заміні інструмента та інших діях немає, то $t_3 = 0$.

Тоді:

$$t_{д1} = 0,09 + 0,1 = 0,19 \text{ хв.}$$

Перехід 20.5. Точити $\varnothing 440$ на $L = 41$ мм (пов.5). Глибина різання в даному випадку:

$$t = \frac{d_3 - d_{д}}{2} = \frac{434 - 440}{2} = 3 \text{ мм.}$$

Обираємо подачу. Для різців із перерізом різця 16×25 мм при обробленні сталейних деталей діаметром менше 400 мм і з глибиною різання до 5 мм робоча подача становитиме $S = 0,8\text{--}1,0$ мм/об. Приймаємо $S = 0,8$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.45}} = \frac{4255}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.45}},$$

де T – стійкість різця, приймаємо $T = 90$ хв.

Тоді:

$$V = \frac{255}{90^{0.2} \cdot 3^{0.15} \cdot 0,8^{0.35}} = 101,96 \text{ м/хв.}$$

Потрібну частоту обертів шпинделя верстата визначаємо за формулою:

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_s} = \frac{1000 \cdot 101,96}{\pi \cdot 440} = 73,79 \text{ об/хв.}$$

Зі стандартного ряду обертів шпинделя верстата 16К40 обираємо найближче менше значення, тобто $n_B = 100 \text{ об/хв.}$

Дійсну швидкість різання при таких обертах шпинделя визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_B}{1000} = \frac{\pi \cdot 440 \cdot 100}{1000} = 138,16 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу визначаємо за формулою:

$$t_{04} = \frac{L}{n_B \cdot S},$$

де L – розрахункова довжина оброблення для переходу, визначається як:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

де l – довжина оброблення безпосередньо на деталі ($l = 41 \text{ мм}$); l_1 – добавка довжини на підвід інструмента до початку різання із механічною подачею ($l_1 = 2 \text{ мм}$); l_2 – величина врізання інструмента; l_3 – величина перебігу різця. Для упорного різця із основним кутом в плані $\varphi = 45^\circ$ сума $l_2 + l_3 = 5 \text{ мм}$.

Отже, $L = 41 + 2 + 5 = 48 \text{ мм}$.

Тоді основний час на виконання переходу:

$$t_{0,4} = \frac{48}{125 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу розраховуємо за формулою:

$$t_{Д4} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n,$$

де t_1 – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо із переходом для поздовжнього обточування і з установленням різця по упору чи грубо по лімбу на верстатах із висотою центрів менше 200 мм при автоматичній подачі ($t_1 = 0,09 \text{ хв}$); t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя

та подачі ($t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв); t_3 – допоміжний час на інші дії при виконанні переходу. Так як потреби в заміні інструмента та інших діях немає, то $t_3 = 0$. Тоді:

$$t_{д4} = 0,09 + 0,1 = 0,19 \text{ хв.}$$

Перехід 30.1. Торцювати Ø 610 (пов.1). Глибина різання в даному випадку $t = 3$ мм.

Обираємо подачу. Для різців із перерізом різця 16×25 мм при обробленні сталей деталей діаметром менше 400 мм і з глибиною різання до 3 мм робоча подача становитиме $S = 0,6\text{--}1,2$ мм/об. Приймаємо $S = 0,6$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{403}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}},$$

де T – стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

Тоді:

$$V = \frac{403}{60^{0.2} \cdot 1,7^{0.15} \cdot 0,6^{0.35}} = 177,2 \text{ м/хв.}$$

Потрібну частоту обертів шпинделя верстата визначаємо за формулою:

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_s} = \frac{1000 \cdot 177,2}{\pi \cdot 610} = 92,5 \text{ об/хв.}$$

Зі стандартного ряду обертів шпинделя верстата обираємо найближче менше значення, тобто $n_B = 100$ об/хв.

Дійсну швидкість різання при таких обертах шпинделя визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_B}{1000} = \frac{\pi \cdot 610 \cdot 100}{1000} = 191,54 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу розраховуємо за формулою:

$$t_{01i} = \frac{L}{n_B \cdot S},$$

де L – розрахункова довжина оброблення для переходу, визначається як:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3,$$

де l – довжина оброблення безпосередньо на деталі ($l = 610$ мм); l_1 – добавка довжини на підвід інструмента до початку різання із механічною подачею ($l_1 = 2$ мм); l_2 – величина врізання інструмента; l_3 – величина перебігу різця.

Для упорного різця із основним кутом в плані $\varphi = 45^\circ$ сума $l_2 + l_3 = 5$ мм.

Отже, $L = 610 + 2 + 5 = 617$ мм.

Тоді основний час на виконання переходу:

$$t_{0.1} = \frac{617}{100 \cdot 0,6} = 1,03 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу розраховуємо за формулою:

$$t_{д1} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

де t_1 – допоміжний час, який пов'язаний безпосередньо із переходом для поперечного обточування і з установленням різця по упору чи грубо по лімбу на верстатах із висотою центрів менше 200 мм при автоматичній подачі ($t_1 = 0,09$ хв); t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя та подачі ($t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв); t_3 – допоміжний час на інші дії при виконанні переходу. Так як потреби в заміні інструмента та інших діях немає, то $t_3 = 0$. Тоді:

$$t_{д1} = 0,09 + 0,1 = 0,19 \text{ хв.}$$

Перехід 30.2. Точити Ø 610 на $L = 58$ мм (пов. 2). Глибина різання в даному випадку:

$$t = \frac{d_3 - d_{д}}{2} = \frac{616 - 610}{2} = 3 \text{ мм.}$$

Обираємо подачу. Для різців із перерізом різця 16×25 мм при обробленні сталей діаметром менше 400 мм і з глибиною різання до 5 мм робоча подача становитиме $S = 0,8 - 1,0$ мм/об. Приймаємо $S = 0,8$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.45}} = \frac{327}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.45}},$$

де T – стійкість різця, приймаємо $T = 90$ хв.

Тоді:

$$V = \frac{327}{60^{0.2} \cdot 3^{0.15} \cdot 0.8^{0.35}} = 132,21 \text{ м/хв.}$$

Потрібну частоту обертів шпинделя верстата розраховуємо за формулою:

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_s} = \frac{1000 \cdot 132,21}{\pi \cdot 610} = 79,85 \text{ об/хв.}$$

Зі стандартного ряду обертів шпинделя верстата 16K40 обираємо найближче менше значення, тобто $n_B = 100$ об/хв.

Дійсну швидкість різання при таких обертах шпинделя визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_B}{1000} = \frac{\pi \cdot 610 \cdot 100}{1000} = 191,54 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу визначаємо за формулою:

$$t_{03} = \frac{L}{n_B \cdot S},$$

де L – розрахункова довжина оброблення для переходу, визначається як:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

де l – довжина оброблення безпосередньо на деталі ($l = 51$ мм); l_1 – добавка довжини на підвід інструмента до початку різання із механічною подачею ($l_1 = 2$ мм); l_2 – величина врізання інструмента; l_3 – величина перебігу різця.

Для упорного різця із основним кутом в плані $\varphi = 45^\circ$ сума $l_2 + l_3 = 5$ мм.

Отже,

$$L = 51 + 2 + 5 = 58 \text{ мм.}$$

Тоді основний час на виконання переходу:

$$t_{0.3} = \frac{58}{100 \cdot 0.8} = 0,5 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу визначаємо за формулою:

$$t_{дз} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n,$$

де t_1 – допоміжний час, який пов’язаний безпосередньо із переходом для поздовжнього обточування і з установленням різця по упору чи грубо по лімбу на верстатах із висотою центрів менше 200 мм при автоматичній подачі ($t_1 = 0,11$ хв); t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя ($t_2 = 0,1$ хв); t_3 – допоміжний час на інші дії при виконанні переходу. Так як потреби в заміні інструмента та інших діях немає, то $t_3 = 0$.

Тоді:

$$t_{дз} = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв.}$$

Перехід 40.1. Свердлити отвір Ø12 скрізний.

Розраховуємо глибину різання:

$$t = \frac{D_{св}}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ мм.}$$

Обираємо діапазон подач $S=0,2-0,24$ мм/об.

Після узгодження з паспортними характеристика верстату 2Н125 з ряду подач $S_6=0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4, \dots$ мм/об, приймаємо $S_6 = 0,2$ мм/об.

Розраховуємо критичну швидкість різання чавуну за емпіричною формулою:

$$V_c = \frac{14,2 \cdot d_{св}^{0,25}}{T^{0,125} \cdot S^{0,55}} = \frac{14,2 \cdot 10,5^{0,25}}{45^{0,125} \cdot 0,2^{0,55}} = 21,4 \text{ м/хв.}$$

де T – стійкість свердла, приймаємо $T = 45$ хв.

Розрахункову частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d_{св}} = \frac{1000 \cdot 21,4}{3,14 \cdot 12} = 649 \text{ об/хв.}$$

Узгоджуємо n_p із паспортними характеристиками верстата 2Н125, маючи заданий ряд обертів шпинделя: $n_b = 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400; 2000$ об/хв. У даному випадку приймаємо $n_6=710$ об/хв.

Дійсну швидкість свердління розраховуємо за формулою:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n_b}{1000} = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 710}{1000} = 23,4 \text{ м/хв}$$

Розрахункову довжину обробки знаходимо за формулою:

$$L = l_{\text{ДЕТ}} + l_1 + l_2 + l_3 = 58 + 3 + 5 = 66 \text{ мм.}$$

де $l_{\text{ДЕТ}}$ – довжина деталі; l_1 – підвід інструмента ($l_1 = 3$ мм); l_2, l_3 – врізання та перебіг інструмента ($l_2 + l_3 = 5$ мм).

Основний час на перехід 40.1 знаходимо за формулою:

$$t_0 = \frac{L_3}{S_g \cdot n_g} = \frac{66}{0,2 \cdot 2000} = 0,15 \text{ хв};$$

Допоміжний час на перехід 40.1 приймаємо $t_{01} = 0,08$ хв.

Перехід 40.4. Нарізання різьби виконуємо за профільною схемою із радіальною подачею.

Перехід виконуємо профільним різцем з пластиною із твердого сплаву Т15К6. При цьому:

кількість проходів: чорнових – 3

чистових – 2.

За один прохід знімаємо припуск $t = 0,2$ мм.

Розрахункову швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V_p = \frac{C_v \cdot i^{xv}}{T^m \cdot S^{yv}} K_v, \text{ м/хв.}$$

де T – стійкість різця ($T = 60$ хв); i – кількість проходів ($i = 5$); K_v – узагальнений поправочний коефіцієнт, що враховує зміни умов обробки відносно табличних, визначається як:

$$K_v = K_{Mv} K_{Uv} K_{Cv},$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, що враховує вплив оброблюваного матеріалу ($K_{Mv} = 0,7$); K_{Uv} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструмента ($K_{Uv} = 1,0$); K_{Cv} – коефіцієнт, що враховує спосіб нарізання різьби ($K_{Cv} = 0,75$).

Тоді:

$$K_{Mv} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 0,525$$

Підставивши прийняті значення, отримаємо:

$$V_p = \frac{393}{60^{0,2} \cdot 3,5^{0,15} \cdot 0,3^2} = 195 \text{ м/хв.}$$

Розрахункову частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{n \cdot D_{заг}}, \text{ об/хв.}$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 195}{3,14 \cdot 35} = 1410 \text{ об/хв.}$$

За паспортними даними підбираємо $n_d = 1250 \text{ об/хв.}$

8. ВИМОГИ ЩОДО МОНТАЖУ І ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

При проведенні монтажу та технічного сервісу вакуум-апарата повинні виконуватися правила техніки безпеки, складені та затверджені у відповідності до діючого законодавства з охорони праці в цукровому виробництві [22]. Під час тривалого простою вакуум-апаратів чи за потреби виконання ремонтних робіт необхідно забезпечити їх повне звільнення від продуктів із наступним пропарюванням та відключенням апаратів від водяних, парових та продуктових трубопроводів шляхом встановлення заглушок із хвостовиками.

На попередньому підготовчому етапі монтажу потрібно змонтувати майданчик для обслуговування зі сходами у відповідності до проекту.

Перед початком монтажу виконують заміри товщини стінки верхнього конуса сепаратора. Дозволяється проводити монтаж за умови, що стінка має товщину не менше 8 мм. Якщо товщина стінки є меншою за 8 мм, то верхній конус сепаратора необхідно замінити чи укріпити, звернувшись до організації, яка розробила вакуум-апарат.

Роботи з монтажу підсилувача циркуляції повинні виконуватися спеціальною монтажною організацією чи бригадою монтажників, які пройшли спеціалізоване навчання та інструктаж з безпечного проведення даних монтажних робіт й отримали атестацію кваліфікаційної комісії.

Підйом та встановлення елементів підсилувача циркуляції здійснюється за допомогою механізмів відповідної вантажопідйомності за стропові петлі.

Для підготовки апарата до монтажу зрізають верхню частину апарата у відповідності до монтажних креслень, а також полоси, які кріплять зонт; у зонті прорізати отвір діаметром 165 мм. У верхньому конусі корпусу апарата вирізають отвір діаметром 1000 мм, через який буде проводитися монтаж

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Вимоги щодо монтажу і технічного сервісу		082612.KP.14.008.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/4

частин циркулятора, які знаходяться усередині вакуум-апарата.

Потім знімають спускний затвор вакуум-апарата та через його патрубок заводять усередину апарата під парову камеру нижню опору. Встановлюють опору в робоче положення та приварюють її. За допомогою відвісу встановлюють нижню опору співвісно з циркуляційною трубою парової камери.

За допомогою відвісу встановлюють опорний фланець основи циркулятора співвісно із циркуляційною трубою та нижньою опорою. Фланець виставляють горизонтально по рівню та проводять зварювання.

Опускають усередину апарата через отвір у верхньому конусі нижню частину циркулятора (без лопатей). Встановлюють нижній кінець його вала в підшипник нижньої опори.

Встановлюють на місце зонт.

Кладуть прокладку на опорний фланець, вкручують шпильки та встановлюють верхню частину циркулятора на місце. З'єднують деталі за допомогою шпильок та гайок.

У випадку недостатнього запасу висоти для монтажу вже зібраної верхньої частини циркулятора можна проводити її монтаж частинами та встановлювати верхній вал з середини апарата. У такому випадку монтаж нижньої частини проводять після монтажу верхньої частини циркулятора.

Потім від верхньої частини циркулятора від'єднують вал, знімають вузол підшипників кочення, а також втулку нажимну, кільце та набивку. Кладуть прокладку на опорний фланець, вкручують шпильки та встановлюють раму верхньої частини циркулятора. Закручують гайки.

Верхній вал опускають всередину вакуум-апарата, потім встановлюють його вертикально та піднімають вгору сепаратор. Як тільки верхній кінець вала вийде за верхню площину рами, на нього надягають у наступній послідовності: кільце, втулку нажимну, корпус підшипника кочення із

кільцем та підшипниками, гайки, прокладку, кришку підшипника із кільцем, кільце.

Редуктор встановлюють на рамі на прокладках, розташовуючи посадочним отвором над валом. Піднімаючи вал вгору, розміщують редуктор на валу так, щоб верхній кінець вала зрівнявся з верхнім зрізом редуктора.

Піднімають вал із редуктором вгору (одночасно їх зафіксувавши) настільки, щоб можна було зібрати вузол підшипника кочення, закрутити гайку та контргайку, закріпити шпильками кришку підшипника кочення та закріпити гвинтами кільце.

Опускають вал із редуктором, щоб фланець корпусу підшипника кочення став на раму, закріплюють його шпильками.

Встановлюють редуктор, надягають і закріплюють на валу кільце.

Встановлюють на місце зонт.

Опускають усередину апарата через отвір у верхньому конусі нижню частину циркулятора. Встановлюють нижній кінець вала в підшипник нижньої опори.

З'єднують верхній і нижній вали муфтою.

Встановлюють лопаті на нижню частину циркулятора. Подають до внутрішньої частини апарата та встановлюють на місце сектори та перегородки на кільцевому циркуляційному контурі.

Перебуваючи на верхній трубній решітці, прокручують вал циркулятора руками та впевнюються, що лопаті та вал не торкаються стінок циркуляційної труби та трубної решітки.

Вставляють набивку в вузол ущільнення, вкручують шпильки та затягують втулку нажимну.

Встановлюють електродвигун. Підключають електрообладнання згідно з ПУЕ. Вмикають привод на 10–15 с та впевнюються в нормальній його роботі.

Рівень мастила в редукторі перевіряють під час технічного огляду щотижня. Мастило в редукторі змінюють один раз на сезон.

Щити керування необхідно зберігати в закритих складських приміщеннях у заводській упаковці.

Упаковка та консервування повинні забезпечувати цілісність обладнання та комплектуючих виробів при їх транспортуванні та зберіганні не менше 12 місяців із моменту вивантаження. При терміні зберігання більше 12 місяців повинно бути передбачене переконсервування обладнання.

В таблиці 8.1 наведено перелік можливих несправностей вакуум-апарата.

Таблиця 8.1

Перелік можливих несправностей

Вид несправності	Можлива причина	Метод усунення
Витікання мастила з корпусу редуктора	Погано затягнуті болти фланця корпусу редуктора. Розрив манжети	Затягнути болти. Замінити манжету
Не обертається вал двигуна. Характерне гудіння обмоток відсутнє	Не надходить електроживлення мережі. Не встановлене огородження (не спрацював вимикач)	Ліквідувати обрив мережі. Встановити огородження
Не обертається вал двигуна. Наявне характерне гудіння обмоток	Лопаті циркулятора заклинило увареним утфелем. Обрив однієї фази	Вимкнути привод і закінчити уварювання без циркулятора. Негайно вимкнути привод, ліквідувати обрив
Вал двигуна обертається, вал – ні	Недостатній натяг пасків	Відрегулювати натяг
Підвищена вібрація, стукіт, скрегіт в апараті	Відсутня співвісність між валом циркулятора та циркуляційною трубою, непаралельність лопатей відносно трубної решітки	Виставити нижню опору та лопаті

9. ОПИС СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Успішне впровадження та експлуатація вакуум-апаратів на заводі залежить не лише від раціональності самої АСУ та принципу її функціонування, а й від сталості наступних технологічних параметрів: вміст сухих речовин у сиропі, %; температура сиропу та відтоків, °С; вміст сухих речовин у готовому утфелі, %; тиск, кПа (мм.рт.ст.); тиск гріючої пари, кПа.

Керування процесом уварювання здійснюється шляхом впливу на подачу вихідного розчину (сиропу) в апарат. Поточне значення його витрат встановлюють виходячи з умов теплообміну, які характеризуються кількістю води, що випаровується, та умов масообміну, рухомою силою якого є пересичення розчину, що створюється та підтримується випаровуванням води.

Процес теплообміну характеризується швидкістю випаровування води в залежності від швидкості зміни рівня розчину в апараті. Процес масообміну залежно від технологічних потреб характеризується швидкістю зміни рівня пересичення розчину. Відношення швидкості процесів тепло- та масообміну до швидкості зміни рівня дозволяє об'єднати ці процеси між собою.

У системі автоматичного управління вакуум-апаратом процес уварювання в автоматичному режимі здійснюється наступним чином.

Натискають кнопку «Пуск» та подають напругу на катушку крокового шукача блока, при цьому знеструмлюється електропневматичний перетворювач програмного блока, що подає сигнал на відкривання вакуумного клапана, та в апараті утворюється розрідження. Розрідження в апараті, яке вимірюється вакууметром, збільшується й при досягненні значення $P \geq P_{\min}$ відкривається засувка, що забезпечує подачу сиропу в апарат. Сироп надходить у апарат і коли досягає рівня $H \geq H_{\text{п.к.}}$ (гріюча камера

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Опис системи управління	082612.KP.14.009.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

покрита сиропом), електрична частина системи виконує наступний крок та подає команду на відкривання клапанів подачі пари. Одночасно з цим вмикається регулятор, який підтримує постійний рівень у апараті. Завдання регулятору встановлює задатчик. Рівень визначається за допомогою перетворювача перепаду тиску, сигнал від якого надходить через блок демпфування на прилад контролю, пропорціональний регулятор та програмний блок. Постійний рівень підтримується доти, доки опір розчин, який уварюється, не стане $R \geq R_{затр}$.

Після досягнення уварюванням розчином величини опору, за якого необхідно здійснювати «затравку», кроковий шукач виконує наступний хід та через перетворювач блока подає команду на відкривання клапана. Після його відкривання спрацьовує кінцевий вимикач, по команді якого клапан подачі закривається. Опір розчину, який уварюється, продовжує рости та при досягненні умови $R \geq R_{розк}$ повністю відкривається заслонка подачі сиропу в апарат й відбувається процес «розкачки». Опір розчину в апараті стрімко знижується та при $R_{огр} \geq R$ система сигналізує цикл «нарощування». Від цього моменту заслонкою подачі сиропу (відтоку) у апарат керує регулятор електроопору по рівню утфелю в апараті.

Значення $R_{затр}$, $R_{розк}$ та $R_{огр}$ виставляються за допомогою задатчиків.

Варіння в режимі спостереження продовжується до моменту досягнення максимального рівня $H \geq H_{макс}$. Потім апаратчик самостійно доводить електроопір продукту, що уварюється, до необхідного значення та задає команду «Стоп».

Дистанційне керування запорно-регулюючою апаратурою можна здійснювати за допомогою тумблерів, які розташовані на мнемосхемі. Там же розміщена сигнальна арматура, що відображає стадії варіння утфелю та положення клапанів. Для сигналізації використовується кінцеві вимикачі, які встановлені безпосередньо на клапанах.

10. ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ

10.1 Законодавство України про охорону праці

Основною законодавчою базою з охорони праці на виробництві є Закон України «Про охорону праці» та «Кодекс законів про працю України». Для цукрової промисловості державним галузевим нормативним актом з охорони праці є також «Правила охорони праці для працівників, зайнятих на цукровому виробництві» [22]. Даний ДНАОП встановлює вимоги щодо безпечного виконання робіт для роботодавців і працівників під час виробництва цукру.

Навчання та інструктаж працівників з охорони праці є обов'язковою складовою частиною системи управління охороною праці на підприємстві незалежно від його форми власності та проводиться з усіма працівниками в процесі їхньої трудової діяльності. Контроль і відповідальність за організацію навчання і періодичність перевірок знань з охорони праці працівників покладено на керівників підприємства.

10.2 Вимоги безпечної експлуатації вакуум-апаратів

Вакуум-апарат є технологічним обладнання, яке працює під тиском (наявна парова камера) і тому належить до обладнання з підвищеною небезпекою. Крім того продукти кристалізаційного відділення з високим вмістом сухих речовин (утфелі, відтоки, меляса) є вибухонебезпечними.

Експлуатація вакуум-апаратів повинна здійснюватися відповідно до наступних правил:

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Заходи щодо охорони праці		082612.KP.14.010.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/8

1) Вакуум-апарати укомплектовують вакуумметрами, термометрами, манометрами та надійною ізоляцією.

2) Циліндрична частина вакуум-апарата, починаючи від верхньої кромки парової камери до верхнього рівня увареного утфелю, має оглядові вікна з термостійкого скла, що розташовані таким чином, щоб забезпечувати контроль рівня по всій висоті апарата. Оглядові вікна вакуум-апаратів обладнані захисними пристроями.

3) Для уловлювання утфелю у випадку його перекидання з вакуум-апаратів використовують уловлювачі виносного типу, що мають гідравлічний затвор, їх встановлюють перед конденсаторами.

4) Спускні та повітряні шибери вакуум-апаратів мають приводи із дистанційним управлінням. У повітряних шиберів вакуум-апаратів для створення попереднього розрідження є байпас із дистанційно керованим вентилем.

5) У пробних кранів для відбирання проб утфелю з вакуум-апаратів є обмеження щодо піднімання пробок або вакуумне блокування.

При конструюванні, виготовленні та експлуатації вакуум-апаратів важливо знати та дотримуватися вимог відповідних нормативних актів з охорони праці.

Проектування, виготовлення, монтаж, налагодження, експлуатація й ремонт цього обладнання регламентується «Правилами охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском» [23].

Для проведення зовнішнього та внутрішнього огляду виконують попередню підготовку даного обладнання. Для цього вакуум-апарат охолоджують та ретельно очищають від залишків продукту та накипу. За потреби частково або повністю знімається обмурівка. Якщо товщина стінок обладнання зменшилася на 30 % і більше в порівнянні з розрахунковою, то посудина бракується.

Величини робочого та пробного тиску, що застосовуються при гідравлічних випробуваннях, наведено в табл. 10.1. При гідравлічному випробовуванні апарат перебуває під пробним тиском щонайменше 10 хвилин.

Результати технічного опосвідчення парової камери вносяться у паспорт обладнання уповноваженою особою Державної служби України з питань праці (представниками іншої організації, яка отримала відповідний дозвіл), а результати технічного опосвідчення вакуум-апарата – працівником підприємства, відповідальним за його безпечну експлуатацію.

Таблиця 10.1

Робочий і пробний тиск при гідравлічних випробуваннях парової камери та вакуум-апарата при їх технічному опосвідченні

Вид посудини	Тиск, МПа	
	робочий	пробний
Парова камера	0,4	0,63
Вакуум-апарат	0,092 (розрідження)	0,2

Трубопроводи, по яких подається пара до парової камери вакуум-апарата та відводиться з сепараційного простору, належать до трубопроводів IV категорії (температура середовища 115–250°C та надлишковим тиском 0,07–1,6 МПа) та не підлягають контролю органами Державної служби України з питань праці. Трубопроводи IV категорії реєструють і контролюють на підприємстві у встановленому порядку. Їх технічне опосвідчення проводиться в наступних випадках і з такою періодичністю:

- зовнішній огляд і гідравлічне випробування – до початку експлуатації заново змонтованих систем;
- зовнішній огляд – не рідше одного разу на 3 роки;

- зовнішній огляд і гідравлічне випробування – після ремонту з використанням зварювання та при пуску трубопроводів після консервації протягом понад 2 роки.

Гідравлічне випробування трубопроводів на міцність та щільність швів і з'єднань проводиться пробним тиском, що складає 1,25 робочого. Під пробним тиском трубопровід знаходиться щонайменше 5 хвилин, після чого тиск знижують до робочого значення.

Трубопроводи фарбують у розпізнавальні кольори в залежності від середовища, яке по ним транспортується. При цьому напрямок руху середовища вказується стрілкою. Окрім фарбування трубопроводи маркують попереджувальними кольоровими кільцями (їх кількість і колір залежать від ступеня небезпеки та робочих параметрів середовища).

Перед випробуванням змонтованого чи відремонтованого вакуум-апарата, парової камери або трубопроводів необхідно:

- ознайомити тих, хто бере участь у випробуванні, із порядком проведення робіт і відповідними заходами безпеки;
- провести перевірку кріплень фундаментних болтів, стану ізоляції та заземлення електричної частини обладнання, наявності та справності огороження, запобіжних пристроїв та контрольно-вимірювальних приладів;
- закрити доступ до обладнання, яке підлягає випробуванню, чи зону випробування для осіб, котрі не причетні до виконання даних робіт;
- впевнитися в достатньому рівні освітленості місць виконання робіт, додержанні протипожежних заходів та наявності інструкцій з техніки безпеки.

Небезпека під час експлуатації вакуум-апарата полягає в зриві болтів та кришок люків, випинанні й розриві днищ й інших видах руйнувань. До основних причин руйнувань належать дефекти виготовлення, корозійне, ерозійне та інші види пошкоджень, порушення технологічного режиму та правил експлуатації, несправності арматури та пристроїв безпеки.

Конструкція вакуум-апарата та парової камери має бути надійною, забезпечувати безпеку під час експлуатації, можливість внутрішнього огляду, очищення й ремонту. Зварні шви повинні бути стиковими та доступними для контролю при виготовленні, монтажі та експлуатації посудин. Матеріали, що призначені для їх виготовлення та ремонту, повинні мати сертифікати якості.

Вакуум-апарат обладнуються відповідними контрольно-вимірювальними приладами, запобіжними пристроями, засобами АСУ, запірною чи запірно-регулювальною арматурою.

Організація та проведення уварювання утфелю повинна виключати волого- та паровиділення, підвищення температури повітря у робочій зоні, газоутворення та газовиділення, розливання продуктів цукрового виробництва та води.

Викиди парів та газів від вакуумконденсатної системи й аміачних відтяжок відводять за межі приміщення.

Майданчика, на якому встановлені вакуум-апарати, мають підлогу з неслизького матеріалу, що легко прибирається.

Використання не за призначенням вакуум-апаратів, які виведені з експлуатації в резерв, забороняється (наприклад, як збірники для цукроконцентрованих продуктів – сиропу та відтоків). При виведенні вакуум-апаратів у резерв звільняють апарат від продуктів із наступним його пропарюванням, відкривають вентиль для набирання повітря в апарат та спускний шибєр, відключають апарат від водяних, парових і продуктових трубопроводів (для цього встановлюють заглушку з хвостовиками, що виходять назовні) відповідно до схеми відключення, вивішують табличку про те, що апарат знаходиться в резерві.

10.3 Пожежна безпека

Дотримання пожежної безпеки при експлуатації вакуум-апарата включає такі заходи:

- 1) дотримання режиму роботи відповідно до паспортних даних та технологічного регламенту;
- 2) використання обладнання відповідно до категорій приміщень за вибухопожежонебезпекою;
- 3) оснащення вакуум-апарата та циркулятора контрольно-вимірювальною апаратурою й іншими пристроями АСУ, які виключають можливість появи небезпечної ситуації чи сигналізують про небезпеку;
- 4) надійна герметизація обладнання;
- 5) теплоізоляція нагрітих поверхонь апарата та комунікацій;
- 6) оснащення системами періодичного та безперервного контролю й сигналізації;
- 7) дотримання термінів своєчасного змащення редуктора циркулятора;
- 8) встановлення на апараті граничних норм завантаження;
- 9) дотримання правил безпеки при зупинці обладнання з метою огляду та ремонту;
- 10) виключення проведення робіт з вогнем і одночасним розбиранням апарата та трубопроводів;
- 11) дотримання своєчасного проведення оглядів, профілактичного випробування та планово-попереджувального ремонту.

У випадку пожежі для її гасіння в початковій стадії застосовують вогнегасники, головним чином вуглекислотні, перевагами яких є висока ефективність гасіння пожежі, збереження електрообладнання за рахунок діелектричних властивостей вуглекислого газу.

Для гасіння пожежі в корпусах виробничої будівлі передбачені протипожежні крани із рукавами, пінні вогнегасники типу ВП-6, пісок, щити з пожежним інвентарем. Біля виробничого корпусу встановлено пожежний водопровід. Кількість вогнегасників у приміщеннях встановлюється з розрахунку 1 вогнегасник на 100 м²; вогнегасники встановлюються на стінах на зручній висоті.

Для евакуації людей під час пожежі передбачені запасні двері та виходи.

10.4 Гігієна праці й виробнича санітарія

Гігієна праці та виробнича санітарія на виробництві дотримується в основному за рахунок виконання вимог до мікроклімату й чистоти повітря у виробничих приміщеннях, вимог до освітленості робочих зон, обмеження впливу шуму та вібрації на робочий персонал.

Шкідливу дію на організм працівників у продуктовому цеху чинить теплове випромінювання та вологовиділення. Для зменшення їх впливу передбачено теплозахист і вентиляція.

При значних площах виробничих приміщень, невеликій кількості робочого персоналу та наявності постійних робочих місць (включаючи продуктове відділення цукрового заводу) є технічно обґрунтованим і економічно доцільним створювати необхідні метеорологічні умови й вистоту повітря безпосередньо на робочих місцях місцевими способами вентиляції, такими як витяжка (локалізована чи припливна).

Для працівників, які обслуговують вакуум-апарат, під час роботи доцільно створювати місцеву припливну вентиляцію (душування), що покращує мікроклімат у обмеженій зоні приміщення. До неї належать повітряні душі. Повітряне душування – це подача прохолодного припливного повітря у вигляді струменя, що спрямований на робоче місце. Повітряне душування використовують у випадку, якщо на працівника діє промениста теплота з інтенсивністю 350 Вт/м^2 і вище; при виділенні в робоче середовище парів, газів; у випадках, коли неможливо чи недоцільно застосовувати загальнообмінної вентиляції для цієї мети або коли місцева витяжна й загальнообмінна вентиляції не забезпечують необхідних параметрів повітря на робочому місці.

Повітря для душування в невеликих об'ємах подається з окремих установок, незалежних від систем припливної вентиляції. Швидкість і температура повітря, що подається, залежить від інтенсивності наявного теплового випромінювання, важкості робіт і періоду року та знаходяться в межах 0,5 – 3 м/с і 16 – 21 °С.

Для зменшення кількості надлишкової теплоти, яка надходить від вакуум-апарата у виробниче приміщення, його поверхні покривають теплоізоляційними матеріалами. Теплова ізоляція слугує ефективним і найбільш економічним заходом для зменшення не лише інтенсивності інфрачервоного випромінювання, яке виділяється нагрітою поверхнею, але й загальних тепловиділень, а також запобігає опікам при торканні до цих поверхонь. Згідно з ДСТУ 12.1.005-088 ССБТ «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» температура поверхонь обладнання не повинна перевищувати 45 °С, а у приміщеннях з пожежо- та вибухонебезпечним середовищем – 35 °С.

Освітленість на робочих поверхнях при штучному освітленні (газорозрядні лампи) при комбінованому освітленні повинна становити 200 лк (роботи малої точності з розміром об'єкта розрізнення від 1,0 до 5,0 мм), а при загальному освітленні за тих же розмірів – від 100 до 150 лк.

ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи проведено аналіз конструкцій вакуум-апаратів для уварювання утфеля та визначено їх недоліки.

З метою інтенсифікації процесу теплообміну та прискорення нагрівання розчину запропоновано модернізувати гріючу камеру вакуум-апарата А2-ПВЕ-60. Суть розробки полягає у виконанні гвинтових канавок на трубках гріючої камери. Дане технічне рішення забезпечує інтенсифікацію уварювання утфеля за рахунок штучної турбулізації потоку. Прискорення нагрівання та уварювання утфелю однозначно веде до економії енергетичних ресурсів.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенько А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Висновки	082612.КР.14.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петрова О. І., Крамаренко О. С. Технологія цукрового виробництва : методичні рекомендації для проведення лабораторних занять. Миколаїв : Миколаївський національний аграрний університет, 2020. 100 с.
2. Теплотехнічні та технологічні резерви продуктового відділення / К. О. Штангеев та ін. *Цукор України*. 2015. №5 (113). С. 18-21.
3. Штангеев К. О. Раціоналізація теплового господарства цукрових заводів : навчальний посібник. Київ : ІПДО НУХТ, 2006. 86 с.
4. Технологія цукру : підручник в 3 т. Т. 3. Кристалізація / А. А. Ліпєц, та ін. ; Експрес-об'ява. Київ, 2015. 208 с.
5. Загальні технології харчових виробництв : підручник / В. А. Домарецький та ін. ; Університет Україна. Київ, 2010. 814 с.
6. Технологические процессы в пищевой промышленности : монография / В. А. Домарецкий и др. ; Аскания. Киев, 2010. 664 с.
7. Справочник по технологическому оборудованию сахарных заводов / В. Г. Белик и др. Техніка. Київ, 1982. 304 с.
8. Кристаллизационное отделение - вакуум-аппараты с циркулятором ВАЦМ. URL:
<https://tma.ua/ru/%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5-%D0%BE%D1%82%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%B2%D0%B0%D0%BA%D1%83/>
9. Moor B., Rosettenstein S., Plessis N. Key considerations for high-performance continuous vacuum pans. *International Sugar Journal*. 2020. 122(1464). P. 852-858.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Саяпін А.Я.	Назва, додаткова назва Список використаних літературних джерел	082612.KP.14.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3	

10. Стан і проблеми ринку цукру в Україні / Д. С. Боляновська та ін. *Вісник Нац. універ. «Львівська політехніка»*. 2010. № 669. С. 167-171.
11. Красняк О. П. Тенденції розвитку ринку цукру України : проблеми та перспективи. *Зб. наук. праць ВНАУ*. 2011. №1. С. 49-55.
12. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків : правила усталеної практики 15.83-37-106:2007. Київ : Цукор України. 419 с.
13. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. Часть 2. / В. О. Штангеев и др. ; Цукор України. Киев. 2004. 320 с.
14. Скорик К. Д. Промислова кристалізація цукру : навчальний посібник. Київ : ТОВ «Сталь», 2004. 202 с.
15. Запольський А. К., Українець А. І. Екологізація харчових виробництв : підручник. Київ : Вища школа, 2005. 423 с.
16. Сорокін А. І. Оборотні системи охолоджувального водопостачання в бурякоцукровому виробництві та сучасні технології обробки оборотних вод : навчальний посібник. Київ : ПІДО НУХТ, 2009. 60 с.
17. ДСТУ 4623:2023. Цукор. Технічні умови.
18. Баскова О. О., Воропаєв Г. О. Вплив геометрії поглиблення гофрованої поверхні на структуру течії та інтенсивність теплообміну в трубі. *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики* : матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 24-27 квітня 2018 р., 2018. Т.1. С. 87.
19. Розрахунки на опір втомленості : навчально-методичний посібник / Б. М. Киркач та ін. ; НТУ «ХП», Харків, 2012. 104 с.
20. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Є. С. Опір матеріалів : підручник. Київ : Вища школа, 2004. 655 с.

21. Сухенко Ю. Г., Литвиненко О. А., Сухенко В. Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв : підручник. Київ : НУХТ, 2010. 547 с.

22. Правила охорони праці для працівників, зайнятих на цукровому виробництві: Наказ Міністерства соціальної політики України від 05 жовтня 2018 року № 1467.

23. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском: Наказ Міністерства соціальної політики України від 05.03.2018 № 333.