

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) Навчально-науковий Інженерно-технічний**  
**інститут 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)

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ (підпис)  
**Микола ЯКИМЧУК**  
\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 133 «Галузеве машинобудування» \_\_\_\_\_  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв  
на тему Модернізація барабанної сушарки цукру-піску з розробкою системи  
очистки сушильного агенту

Виконав: здобувач II курсу, групи ОХ-2-3М

**Мисько Віталій Іванович**  
\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник **Олішевський Валентин Вікторович**  
\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, 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(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої 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

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування  
Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва)

Освітня програма «Інжиніринг харчових виробництв»  
(шифр і назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТОКТП

\_\_\_\_\_ Микола ЯКИМЧУК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

\_\_\_\_\_ Миська Віталія Івановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Модернізація барабанної сушарки цукру-піску з розробкою системи очистки сушильного агенту

керівник проекту (роботи) Олішевський Валентин Вікторович, проф., д.т.н.

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 20» 11 2023 р. № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2024р.

3. Вихідні дані до роботи

1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат; Зміст; Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (за необхідністю); Вступ; Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження; Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження; Дослідна частина та узагальнення результатів; Розрахункова частина; Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування; Заходи з охорони праці та охорони довкілля; Маркетингове обґрунтування проекту; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

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

Загальний вигляд обладнання – 1 аркуш; Деталі та вузли обладнання – 1 аркуш; Схема автоматизації – 1 аркуш; Технологічна карта збирання вузла – 1 аркуш, Наукова частина – 6 аркушів.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 21.11.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	25.11.2023 р.	
2	<i>Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження</i>	28.11.2023 р.	
3	<i>Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження</i>	03.12.2023 р.	
4	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	15.12.2023 р.	
5	<i>Розрахункова частина</i>	20.12.2023 р.	
6	<i>Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування</i>	25.12.2023 р.	
7	<i>Заходи з охорони праці та охорони довкілля</i>	04.01.2024 р.	
8	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	06.01.2024 р.	
9	<i>Висновки</i>	08.01.2024 р.	
10	<i>Список використаних джерел</i>	15.01.2024 р.	
11	<i>Додатки</i>	28.01.2024 р.	
12	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	30.01.2024 р.	
13	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.02.2024 р.	

Здобувач

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Віталій МИСЬКО

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Валентин ОЛШЕВСЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему «Модернізація барабанної сушарки цукру-піску з розробкою системи очистки сушильного агенту» виконана згідно виданому завданню та поставлених задач.

В даній магістерській роботі вирішена задача з модернізації барабанної багатотрубною сушильно-охолоджувальною установкою з розробкою системи очистки сушильного агенту, що покращує технологічні параметри цукру на виході з сушарки та забезпечує ефективне очищення відпрацьованого повітря в технологічній схемі сушильного відділення.

В даній магістерській роботі вирішена задача з модернізації барабанної багатотрубною сушильно-охолоджувальною установкою з розробкою системи очистки пилогазового потоку відпрацьованого сушильного агенту з використанням скрубера мокрого очищення, що покращує технологічні параметри цукру на виході з сушарки та забезпечує ефективне очищення відпрацьованого повітря в технологічній схемі сушильного відділення.

В пояснювальній записці представлено: аналіз сучасного стану об'єкта дослідження; дослідна частина та узагальнення результатів; розрахункова частина; заходи з охорони праці та охорони довкілля; маркетингове обґрунтування проекту.

Магістерська робота містить пояснювальну записку, яка викладена на аркушах формату А4. Графічна частина представлена на листах формату А1.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності процесу очищення пилогазового потоку відпрацьованого сушильного агенту в фільтраційних установках.

**Об'єктом дослідження** є процес очищення пилогазового потоку відпрацьованого сушильного агенту сушарки цукру-піску.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олещівський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько В.І.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Реферат</b>	221874.КР.20.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд.</i> ---	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/3

**Предметом дослідження** є апарати з внутрішньою циркуляцією рідини для здійснення очищення пилогазового потоку, забрудненого дрібнодисперсними частинками цукру, зменшення енерговитрат процесу пиловловлення та підвищення екологічної безпеки.

**Ключові слова:** ефект очистки, сушильного агенту, барабанна сушарка, пилогазовий потік.

## REVIEW

The master's thesis on "Modernisation of a drum sugar-sand dryer with the development of a drying agent cleaning system" was carried out in accordance with the assignment and tasks.

This master's thesis solved the problem of modernisation of the drum multi-pipe drying and cooling unit with the development of a drying agent cleaning system that improves the technological parameters of sugar at the dryer outlet and ensures effective cleaning of the exhaust air in the technological scheme of the drying department.

This master's thesis solves the problem of modernising a drum multi-pipe drying and cooling plant by developing a system for cleaning the dust and gas flow of the spent drying agent using a wet cleaning scrubber, which improves the technological parameters of sugar at the dryer outlet and ensures efficient cleaning of the exhaust air in the technological scheme of the drying department.

The explanatory note includes: analysis of the current state of the research object; research part and summary of results; calculation part; labour and environmental protection measures; marketing justification of the project.

The master's thesis contains an explanatory note, which is presented on A4 sheets. The graphic part is presented on A1 sheets.

**The purpose** of the study is to improve the efficiency of the process of cleaning the dust and gas flow of the spent drying agent in filtration plants.

**The object** of research is the process of cleaning the dust and gas stream of the spent drying agent of a sugar-sand dryer.

**The subject** of the study is devices with internal liquid circulation by safe artificial ionisation for purification of the dust and gas stream contaminated with fine sugar particles, reduction of energy consumption of the dust collection process and improvement of environmental safety.

**Keywords:** cleaning effect, drying agent, drum dryer, dust and gas flow.

## ВСТУП

Цукор займає важливе місце в раціоні харчування людини. Біля половини енергії, що витрачається людиною, відновлюється вуглеводами, з них 1/3-цукром.

При сушінні тонкодисперсних матеріалів найбільш часто використовують апарати наступних конструкцій: камерні, конвеєрні, барабанні, шнекові, з псевдозрідженим шаром, струмами високої частоти. Вибір конструкції сушильних установок залежить від багатьох факторів, а саме: від властивостей матеріалу, вимог, що пред'являються до висушеному матеріалу, технологічних режимів сушіння, виду сушильного агента і його параметрів, способу підведення теплоти, виду теплоносія, компактності установки, умов її обслуговування та ін. Сушіння продуктів проводиться з метою запобігання або уповільнення фізико-хімічних, біологічних, та інших процесів, підвищення термінів зберігання, зменшення площі складських приміщень при зберіганні, зниження транспортних витрат.

Від якості роботи сушильного відділення залежить безпечність, якість зберігання та транспортування цукру. Задачею сушильного відділення є надання цукру таких параметрів, при яких цукор можна буде зберігати у силосах і мішках.

На цукрових заводах України підвищення продуктивності сушильних відділень вирішується за рахунок модернізації та вдосконалення їх технологічних схем.

З метою зменшення забруднення навколишнього середовища та самого сушильного відділення, зниження ризику пожежо- та вибухонебезпеки виробництва за рахунок зменшення викидів цукрового пилу актуальним є розробка системи очистки сушильного агента.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олішевський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько ВІ	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вступ</b>		221874.КР.20.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимч ІВ			<i>Інд.</i> 000000	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

# ЗМІСТ

Сторінки

ВСТУП.....	
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	
1.1. Огляд літературних джерел, аналіз прогресивних конструкційних рішень.....	
1.2. Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети та завдання дослідження.....	
2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	
2.1. Розробка і опис нового технічного рішення, устрій та принцип його роботи.....	
3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ...	
3.1. Об'єкт та предмет дослідження.....	
3.2. Опис експериментальної установки.....	
3.3. Методика проведення дослідження.....	
3.4. Дослідження ефективності пиловловлення.....	
4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	
4.1. Розрахунок продуктивності модернізованого обладнання.....	
4.2. Підбір конструкційних матеріалів.....	
4.3. Розрахунки на міцність елементів конструкції модернізованого обладнання.....	
4.4. Технологія машинобудування.....	
4.5. Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання.....	
5. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ.....	
6. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ.....	
7. МАРКЕТИНГОВЕ ОБґРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТКИ.....	

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олшівський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i>  <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько ВІ	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Зміст</b>	221874.KP.20.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимч ІВ		<i>Інд.</i> .....	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

# 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1. Огляд літературних джерел, аналіз прогресивних конструкційних рішень

При сушінні тонкодисперсних матеріалів найбільш часто використовують апарати наступних конструкцій: камерні, конвеєрні, барабанні, шнекові, з псевдозрідженим шаром, струмами високої частоти. Вибір конструкції сушильних установок залежить від багатьох факторів, а саме: від властивостей матеріалу, вимог, що пред'являються до висушеному матеріалу, технологічних режимів сушіння, виду сушильного агента і його параметрів, способу підведення теплоти, виду теплоносія, компактності установки, умов її обслуговування та ін. [19-22].

Класифікацію сушильних установок (рис.1.1) та способів сушіння цукру-піску можна провести за такими факторами:

- конструкцією сушарок (барабанні, стрічкові, секційні);
- температурним режимом (високотемпературні, низькотемпературні);
- способом передачі теплоти (конвективні, кондуктивні, змішані);
- родом сушильного агента (повітря, надвисокі частоти електромагнітних хвиль);
- характером шару продукту (нерухомий, віброкиплячий, псевдозріджений, з перемішуванням).

Найбільш розповсюдженим є спосіб з використанням барабанних сушильних установок. Сушильним агентом є гаряче повітря. Барабанні сушилки - апарати безперервної дії.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олшевський В	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько ВІ.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Аналітичний огляд стану питання</b>		<b>221874.KP.20.001 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Якимч ІВ		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/19</b>	

Основний вузол сушилки - циліндричний зварний барабан, встановлений на роликів опорах з нахилом (1-4°) в бік вивантаження продукту.

Барабанні сушилки, перед шахтними, ромбічними або іншими сушилками, мають ряд переваг. Такі сушилки універсальні, надійні в роботі і прийнятні за ціною, споживають мало електроенергії і просто монтуються, так як для їх запуску не потрібні капітальні споруди. Вони рівномірно нагрівають і сушать частки продукту за рахунок посиленого помішування матеріалу. Головна відмінність сушилок барабанного типу – відрізняються високою продуктивністю, сушка в них відбувається набагато швидше, ніж в шахтних сушилках. Вологий продукт направляється на просушування в обертний барабан. Після чого він проходить наступні процедури: розсівання, охолодження, кондиціонування та упаковку.

На вітчизняних цукрових заводах найбільшого поширення набули барабанні сушарки прямої дії (прямоточні). Ці сушарки можуть відрізнятися розмірами, формою та кількістю насадок, деякими іншими конструктивними особливостями, але принципи їх роботи однаковий. До переваг такого типу сушарок можна віднести надійність у роботі, можливість висушувати різні види сировини. Недоліками використання барабанних сушарок являється вміст дрібних частинок цукру у процесі сушіння через нерівномірний розподіл температур вздовж перерізу барабана, значна питома металоемність.

Розроблені більш сучасні конструкції барабанних сушарок, в яких для зменшення витрат палива використовується протигечія і перехресний рухом теплоносія та матеріалу, збільшена частка променевої складової в загальному теплообміні, скорочений час перебування матеріалу в барабані.

Двобарабанна сушильно-охолоджувальна установка повинна включати конвективний сушильний барабан і охолоджувальний барабан такого самого типу (рис.1.2). Вологий цукор подають в сушильний барабан, що опирається бандажами на дві пари роликів, нахилений під кутом до горизонту не більше

ніж 4° за напрямом пересування цукру й обертається з частотою не більше ніж 4 об/хв.

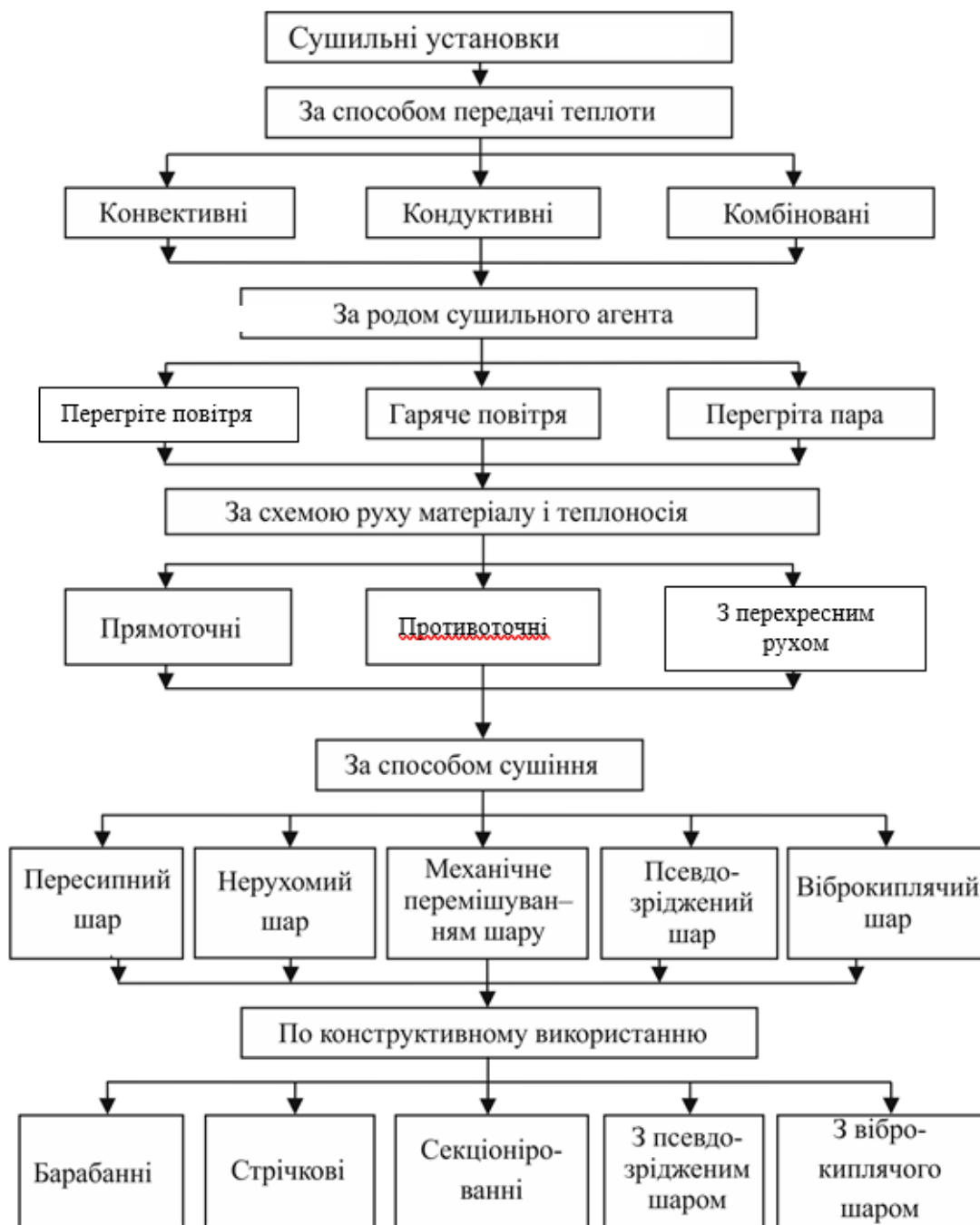


Рисунок 1.1 - Класифікація способів сушіння і сушильних установок для цукрову-піску

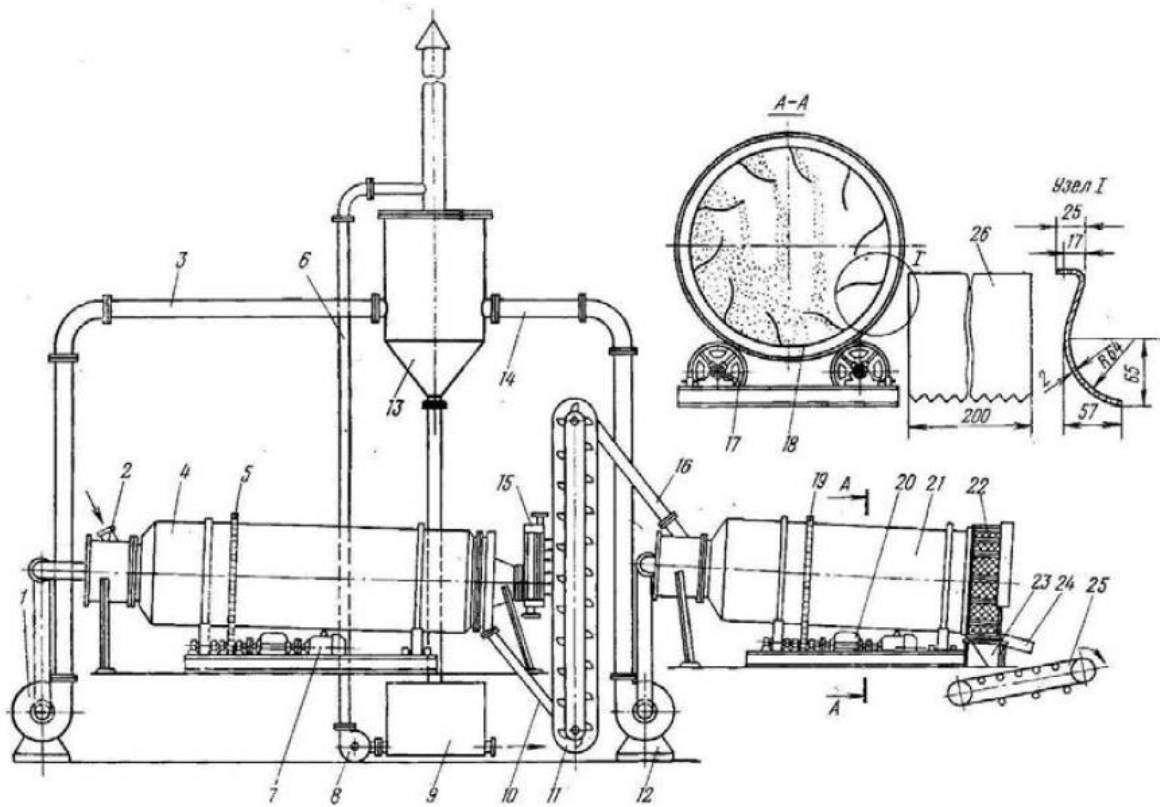


Рисунок 1.2 – Двохбарабанна (типу Фальцмана) сушарка цукру-піску:

1,12 – вентилятори; 2, 10, 16, 24 – лотки; 3, 14 – повітряні комунікації; 4 – сушильний барабан; 8 – насос; 9 – збірник; 11 – елеватор; 13 – циклон; 15 – калорифер; 21 – охолоджуючий барабан; 22 – пояс сит; 25 – транспортер; 26 – лопатки

Вологий цукор сушать очищеним у фільтрі і нагрітим у калорифері повітрям, яке всмоктується в апарат вентилятором 1. В вихідному патрубку через вісь встановлюють заслінку з противагою. При виході цукру заслінка під його вагою відхиляється вниз і пропускає цукор. Під час припинення виходу цукру заслінка під дією противаги закриває вихідний патрубок, попереджаючи засмоктування повітря в апарат.

Висушений цукор з протилежного кінця надходить в охолоджувальний барабан, через який вентилятором пропускають очищене у фільтрі охолоджувальне повітря. За своєю конструкцією охолоджувальний барабан подібний сушильному, але на виході частина суцільної поверхні замінено на

сито. Окремі кристали цукру проходять через сито, а грудочки через край сита надходять у клерувальну мішалку.

Повітря для охолодження повітря засмоктується в ситову частину барабана і відсмоктується з протилежного кінця, куди спрямовують гарячий цукор.

Під час роботи установки в сталому режимі необхідно контролювати:

- розсіювання цукру за перерізом барабана, повне відділення грудочок, температуру гарячого і холодного повітря;
- температуру і вологість цукру; при підвищенні вологості цукру, який вивантажують, підвищувати температуру повітря, що надходить в сушильний апарат; у разі підвищення температури цукру більше ніж 25 °С під час його вивантажування, збільшувати кількість холодного повітря.

Якщо цього недостатньо, то знижують температуру гарячого повітря, яке надходить для сушіння цукру; контролюють роботу мокрих пиловловлювачів, слідкують за надходженням соку II-ї сатурації або чистої води на пиловловлювачі, кількість яких залежить від їх типу, та виводом клеровки.

Недоліками двобарабанних сушарок цукру є складність та громісткість. Ці недоліки особливо відчужаються із збільшенням продуктивності сушарок. Продуктивність сушарок такого типу пропорційна діаметру барабанів. При збільшенні діаметра барабана не тільки ускладнюється його виготовлення та установка, але й зростає подрібнення цукру при сушінні, погіршується його якість та гранулометричний склад.

Тому на цукрових заводах України сушарки такого типу залишилися на підприємствах застарілою технічною базою.

Більшість цукрових заводів оснащено однобарабанними сушильно-охолоджуючими установками (рис.1.3).

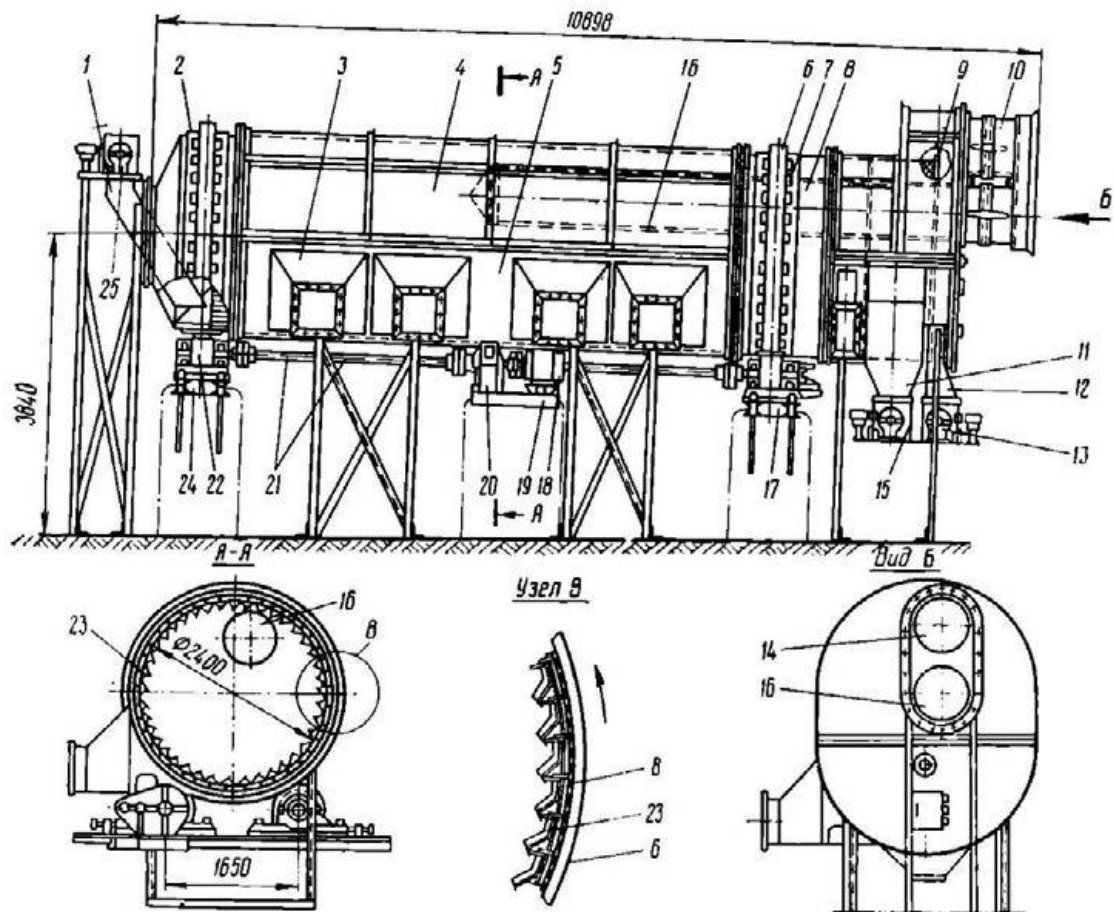


Рисунок 1.3 - Однobarанна сушильно-охолоджувальна установка з поперечним продуванням повітрям.

Сушарка складається із перфорованого барабана 8, всередині якого встановлені фігурні лопаті - 23, які не дають просипатися цукру при обертанні барабану, а також слугують для розподілення та транспортування цукру. Зовні барабан закритий кожухом - 6 в який через патрубки 3 подається гаряче та холодне повітря. Зазвичай перші два патрубка слугують для подачі гарячого повітря, а через інші два подається холодне повітря. Для того, щоб гаряче та холодне повітря не перемішувалися кожна камера підведення повітря відділені резиновими ущільненнями між кожухом та барабаном. Для того, щоб холодне і гаряче повітря в барабані не перемішувалися по центру барабана до середини його введено трубу для відсмоктування гарячого повітря.

Висушений та охолоджений цукор виводиться через бункер 12, а суміш відпрацьованого гарячого і холодного повітря очищається від цукрового пилу в вировому уловлювачі - 10.

Сушильні установки такого типу мають задовільні технологічні показники, досить компактні, але збільшення їх продуктивності можливе лише через підвищення температури гарячого повітря, що негативно впливає на якість висушеного цукру та призводить до збільшення енерговитрат.

Технологічну схему з використанням апарату для сушіння і охолодження цукру в псевдокиплячому стані представлено на рис.1.4.

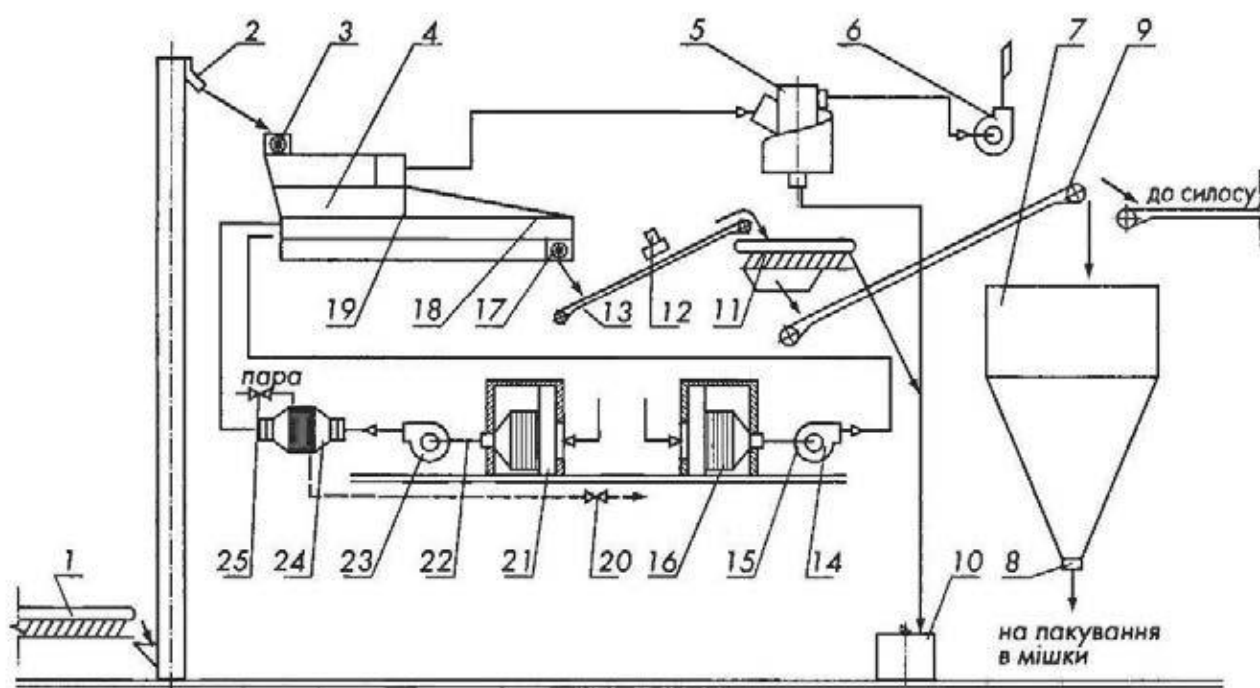


Рисунок 1.4 - Сушильно-охолоджуючий апарат з псевдокиплячим шаром:

1 – віброконвеєр; 2 – елеватор; 3, 17 – турнікети; 4 – сушильно-охолоджувальний апарат; 5 – пилоуловлювач; 6, 14, 23 – вентилятори; 7 – бункер; 8 – ваговий дозатор; 9, 13 – конвеєри; 10 – клерувальна машина; 11 – браційний грудковіддільник; 12 – магнітний сепаратор; 15, 22 – засувки; 16, 21 – очисні камери; 18, 19 – пороги; 20, 25 – вентилялі; 24 – калорифер

Після центрифуг білий цукор подають віброконвеєром 1 в елеватор 2 і далі в сушильно-охолоджувальний апарат цукру 4. В сушильній камері апарату вологий, а в охолоджувальній камері висушений цукор переводять потоком повітря в псевдозріджений стан. Повітря, яке нагнітають в апарат вентиляторами 14 і 23, попередньо очищають від механічних домішок в притокових камерах 16 і 21. Для герметизації апарата і утворення в ньому розрідження в місцях завантаження і вивантаження цукру встановлюють турнікети 3 і 17.

Кількість повітря регулюють за допомогою засувки 15 і 22. Повітря перед подаванням в сушильну камеру підігрівають в калориферах 24. Режим роботи калориферів регулюють вентилями 20 і 25.

Висоту шару і час перебування білого цукру в сушильній і охолоджувальній камерах регулюють за допомогою порогів 18 і 19. Відпрацьоване повітря відводять з апарата вентилятором 6 і подають в пиловловлювач 5 для очищення.

Висушений і охолоджений білий цукор через турнікети направляють на конвеєр 13 з магнітним сепаратором 12, а потім на вібраційний грудковіддільник 11, де грудочки відділяють і направляють в клерувальну мішалку 10, а цукор конвеєром 9 подають в бункери 7 або в силоси. З бункерів цукор надходить на установку для зважування 8 і на пакування.

Під час роботи сушильної установки в сталому режимі:

- слідкують за показниками контрольно-вимірювальних приладів;
- підтримують псевдозріджений стан цукру;
- при підвищенні вологості вихідного продукту збільшують температуру і кількість повітря, що подається в сушильну камеру, а також час перебування цукру в сушильній камері, збільшивши порогом висоту шару продукту;
- при підвищенні температури цукру, який вивантажують, більше ніж 25 °С, збільшують: кількість повітря, яке подають в охолоджувальну камеру,

час перебування цукру в охолоджувальному відділенні за рахунок збільшення порогу висоти шару продукту.

Сушильно-охолоджуючі апарати з псевдокиплячим шаром цукру мають високу інтенсивність процесів тепло та масообміну, компактні. Цукор в таких апаратах піддається меншим механічним навантаженням, що може позитивно вплинути на його якісні показники. Але вадою таких апаратів є налипання цукрової пудри на стінках та жалюзях апарата, а також підвищені витрати електроенергії при їх експлуатації.

Важливим показником якості цукру є рівномірність гранулометричного складу. Наявність, перш за все, дрібних фракцій ускладнює обробку білого цукру та погіршує умови його зберігання. Особливо негативно дрібні фракції позначаються при безтарному зберіганні в силосах, де дрібні фракції можуть слугувати основою для «цементації» значних об'ємів цукру. Щоб цьому запобігти застосовують відсів дрібної фракції. Певна частина цукрового пилу взагалі втрачається, а частина пилу, дрібної фракції, що уловлюються, піддаються клеруванню, що також призводить до втрат цукру та перевитрат.

Причинами утворення дрібної фракції можуть бути як недоліки варіння утфелю, так і подрібнення цукру під час сушки та транспортування. Кристали цукру відносяться до досить крихких матеріалів і легко піддається подрібненню при висушуванні та транспортуванні. В промислових умовах було визначено, що в барабанних сушарках величина подрібнення кристалів цукру може досягати 38 %.

Причому подрібнюються в основному кристали розміром 0,5-1,5 мм. За даними Сапронова О.Р. та ін. через багатократне пересипання в сушильному та охолоджувальному барабанах подрібнюється до 15-20% кристалів білого цукру, грані їх зтираються і втрачають блиск.

При транспортуванні, висушуванні та охолодженні білого цукру руйнуються конгломерати та більш крупні кристали. В результаті зменшується маса кристалів крупних і середніх фракцій (залишки на ситах 1,000 мм та 0,650 мм) і збільшується маса кристалів дрібних фракцій – на

ситах 0,500; 0,315; 0.200 мм та цукрового пилу. Крім того, внаслідок перетирання погіршується природний блиск кристалів.

Практика показує, що подрібненню в сушарках найбільш піддаються кристали вже висушеного цукру, вологий цукор подрібнюється значно менше. Очевидно причиною є те, що волога розташована на поверхні кристалів цукру у вигляді плівки насиченого цукрового розчину. Тому, коли вологий цукор пересипається в сушильному барабані плівка цукрового розчину частково гасить силу удару між кристалами та стінкою барабана і через це подрібнення стає суттєво меншим.

Кристали висушеного цукру вже не мають такої захисної плівки, а покриті тонким скловидним шаром кристалічного цукру з прошарком невисушеного цукрового розчину, і тому удари кристалів будуть вже більш жорсткими, в результаті чого подрібнення кристалів значно зростає.

В сушарках до чисто механічного подрібнення додається також і термічний вплив, який може збільшити подрібнення. В зоні висушування, коли на поверхні кристалів мається рідина, температура кристалів практично не змінюється.

З метою зменшення подрібнення при сушінні закордонні фірми намагаються зменшити діаметри сушильних барабанів [22, 29, 30]:

- барабана багатотрубна сушильно-охолоджуюча установка (фірма Fives Cail, рис.1.5);

- сушильно-охолоджувальні комплекси із барабанною (монотрубною) сушаркою та горизонтальним охолоджувачем в режимі псевдокиплячого шару (фірма ВМА, рис. 1.6).

Багатотрубна сушильно-охолоджуюча установка складається з пакету 13 труб великого діаметра (від 800 до 1800 мм). Внутрішня частина сушарки-охолоджувача працює під вакуумом, залишаючи приміщення чистим і вільним від цукрового пилу.

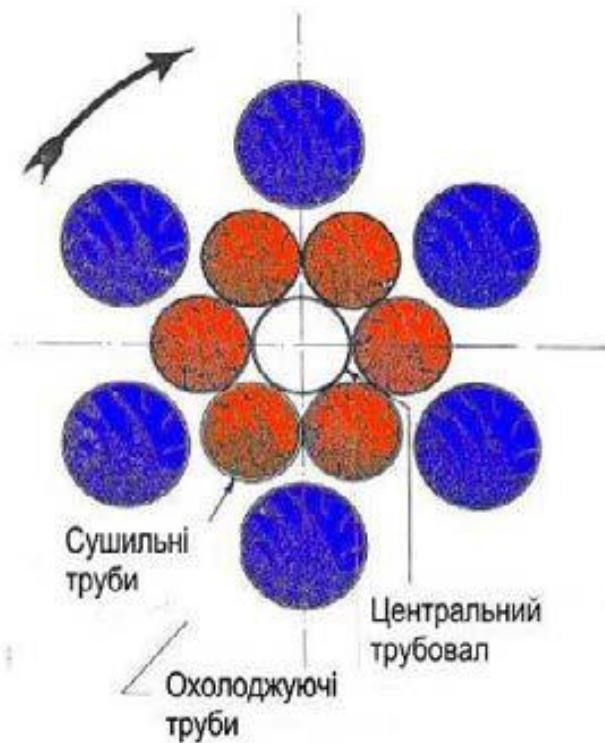
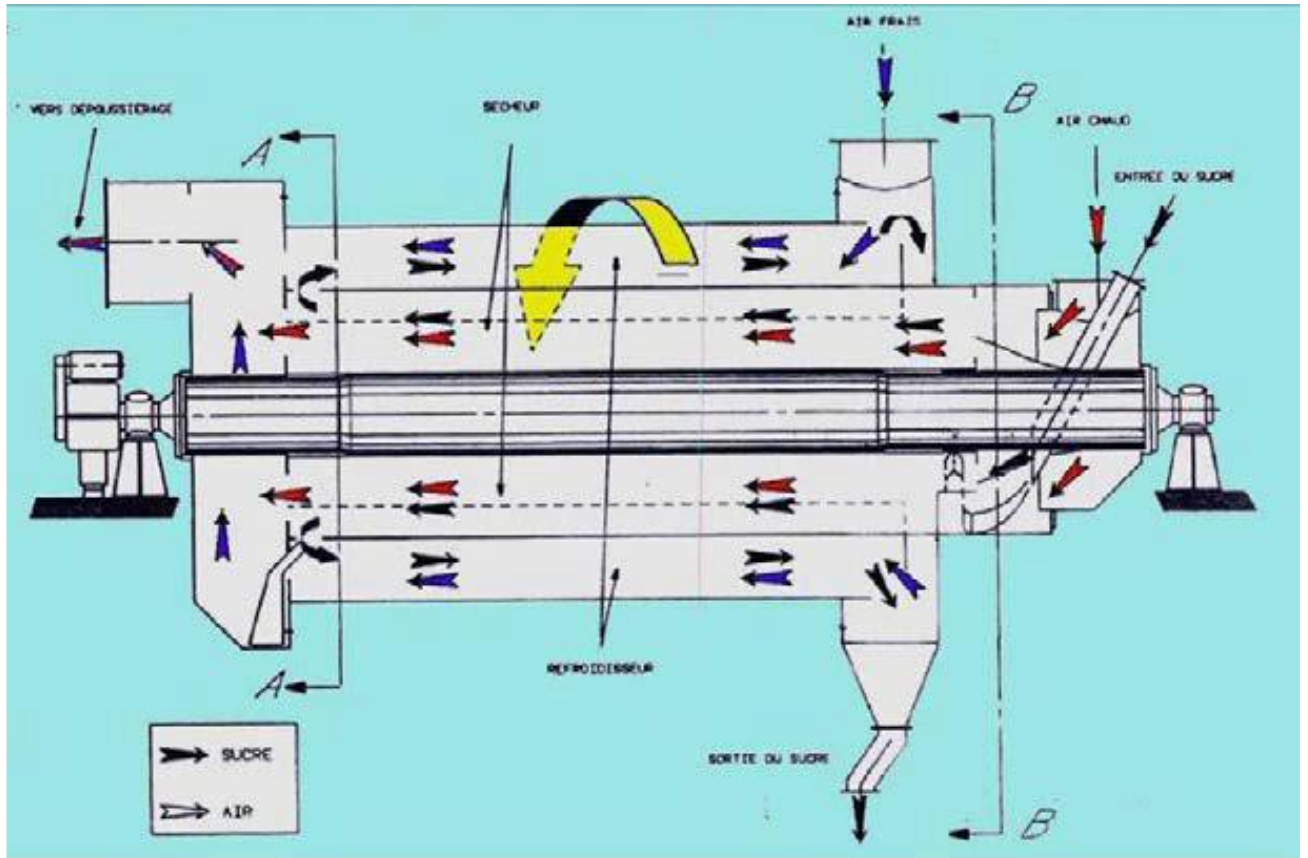


Рисунок 1.5 - Барабана багатотрубна сушильно-охолоджуюча установка

Зменшений діаметр труб зменшує ризик ерозії та пошкодження кристалів, а також полегшує зберігання і консервацію цукру. В цих сушарках центральна труба виконує роль несучого трубоваля на якому обертається весь пакет труб. Навколо центральної труби встановлено 6 паралельних труб, в які подається вологий цукор та гаряче повітря (паралельний напрям потоків). Багаторубні сушарки цукру характеризуються високою продуктивністю при забезпечення належних теплотехнічних та технологічних показників.

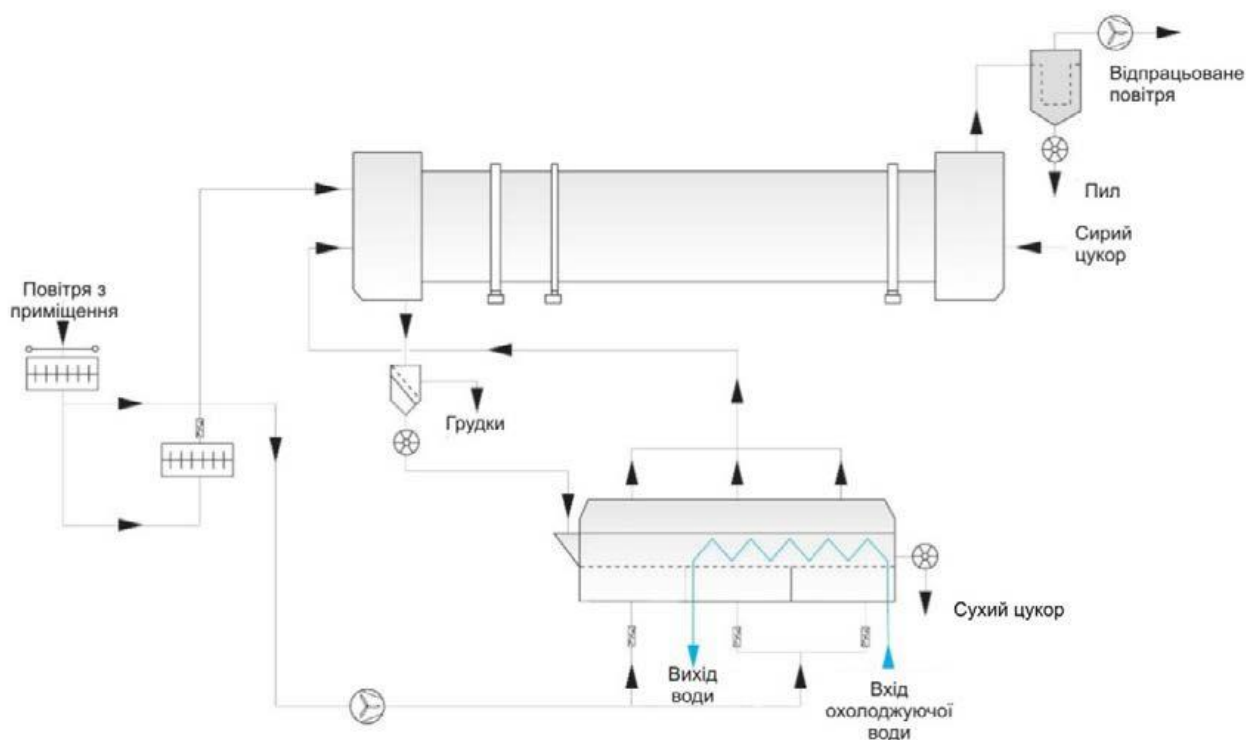


Рисунок 1.6 - Схема горизонтального сушильно-охолоджувального комплексу фірми ВМА.

Найбільш сучасною розробкою фірми ВМА для цукрової промисловості є компактна вертикальна установка з псевдозрідженим шаром для кондиціонування цукру (рис.1.7), як прийнятна альтернатива вище згаданій горизонтальній установці.

Вона забезпечує зниження витрати повітря та енергії при одночасному збереженні переваг псевдозрідженого шару. На рис.1.8 показана конструкція апарата для кондиціонування цукру. Завдяки великій вільній поверхні розподільчої пластини перепад тиску дуже низький. Кількість цукру всередині апарата регулюється за перепадом тиску у псевдозрідженому шарі. Завдяки створенню псевдозрідженого шару вертикальні кондиціонери з шаром, що кипить, мають в три-чотори рази вищу швидкість теплопередачі порівняно з колонними системами, в яких цукор переміщується без використання повітря, хоча обидві конструкції мають однаково компактні розміри.

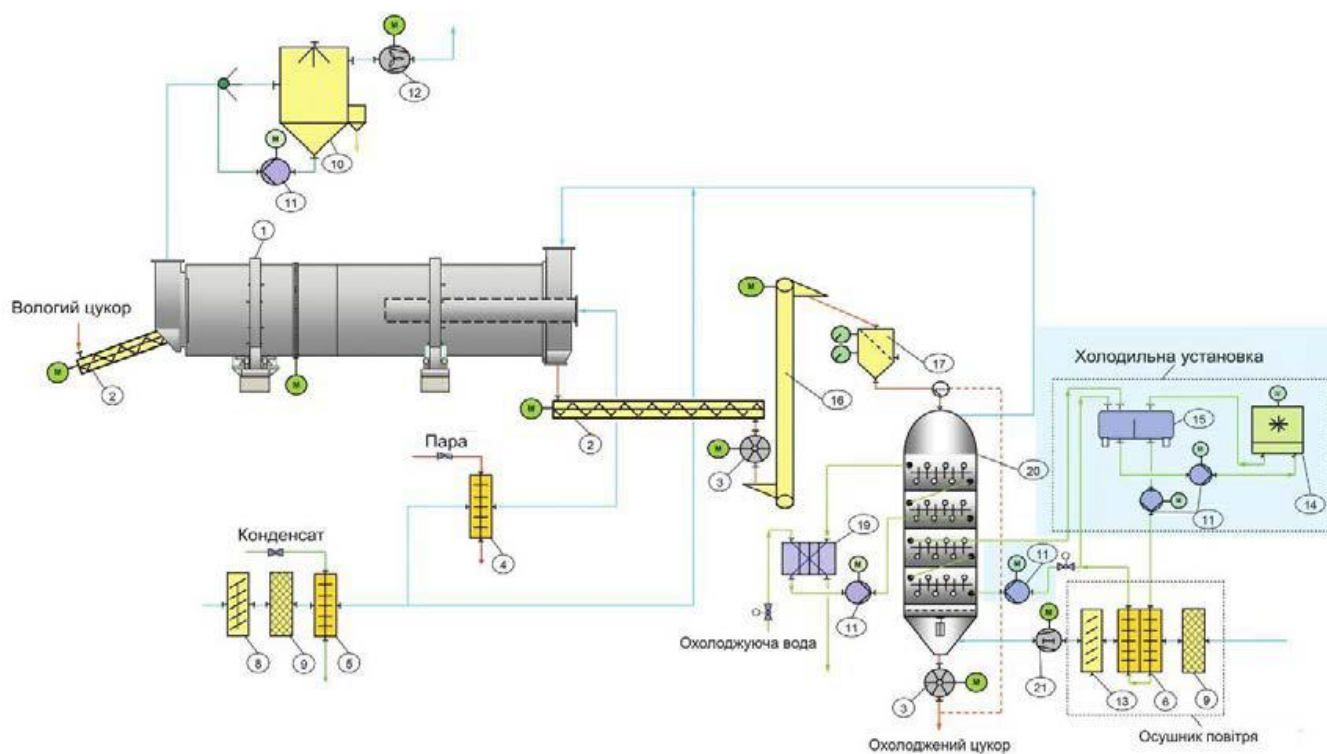


Рисунок 1.7 - Барабанна сушаркаа с вертикальним охолоджувачем з псевдозрідженим шаром і кондиціонуванням повітря

За багатьма технологічними аспектами цей варіант схожий на горизонтальний охолоджувач із псевдозрідженим шаром, проте має наступні переваги: швидкість повітря значно нижча; займає незначну виробничу площу; завдяки малій витраті повітря його можна кондиціонувати вельми

низькими витратами енергії (біля 20 кВт); рух продукту зверху до низу не викликається потоком повітря, а відбувається під дією сили тяжіння; в аварійних умовах (при відсутності потоку повітря) забезпечується переміщення цукру тощо.

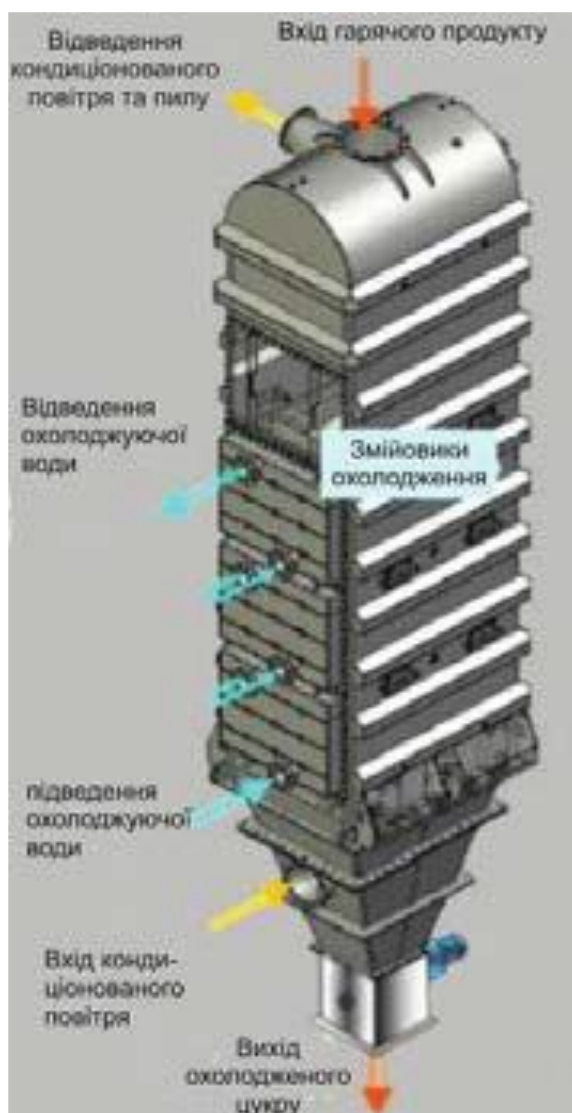


Рисунок 1.8 - Вертикальний апарат з псевдозрідженим шаром для кондиціонування цукру

Таким чином, з метою покращення гранулометричного складу за рахунок зменшення перетирання та подрібнення кристалів цукру слід звертати увагу на наступні заходи у відділеннях кристалізації та сушки.

Якість відтоків, що підкачуються до вакуум апаратів (сухі речовини, чистота, рН, кольоровість) повинна підтримуватися постійною, а температура, сухих речовин і чистота повинні бути взаємопов'язані таким чином, щоб у вакуум апаратах не виникало спонтанного утворення вторинних центрів кристалізації при веденні відтоку та наступному випаровуванню при кипінні. В іншому випадку вторинні центри утворюються постійно, що призводить до одержання утфеля, який погано центрифугується та до виробництва цукру з високим вмістом конгломератів і пудри.

В сушильному відділенні необхідно підтримувати рівномірний потік цукру, встановити обладнання, яке відповідає заводським вимогам, в першу чергу, за продуктивністю. Відповідно до цього потрібно проводити сушку з мінімально необхідною, для конкретних умов роботи, температурою нагрітого повітря. Це бажано також із точки зору досягнення максимального охолодження висушеного цукру. Крім того, висушування гарячим повітрям повинно закінчуватися при ще не повністю висушеному цукрі. Решта вологи може бути висушена вже в процесі охолодження цукру за рахунок його внутрішньої теплоти та теплоти кристалізації цукру із розчину на поверхні кристалів.

## **1.2. Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети та завдання дослідження**

Від якості роботи сушильного відділення залежить безпечність, якість зберігання та транспортування цукру. Задачею сушильного відділення є надання цукру таких параметрів, при яких цукор можна буде зберігати у силосах і мішках. За якістю цукор-пісок повинен відповідати вимогам ДСТУ 4623-2006. Товарний цукор повинен мати вологість 0,1–0,14% при зберіганні в мішках і 0,03-0,05 % при безтарному (силосному) зберіганні.

На цукрових заводах України підвищення продуктивності сушильних відділень вирішується за рахунок модернізації та вдосконалення їх технологічних схем.

За зовнішнім виглядом цукор-пісок повинен бути білим, однорідним за величиною кристалів, з мінімальною кількістю зрощених кристалів (агломератів) і кристалічної «муки» (кристалів, що проходять через сито з отворами діаметром 0,25 мм). Коефіцієнт однорідності (відношення суми двох найбільших за масою суміжних фракцій до загальної маси цукру-піску) повинен бути не менше 80%. Розмір кристалів цукру-піску коливається в інтервалі 0,2-2,5 мм. За їх розміру розрізняють велику (1,5-2,5 мм), середню (0,5-1,5 мм) і дрібну (0,2-0,5 мм) фракції. Кристали цукру-піску повинні бути прозорими, з рівним блиском і ясно вираженими гранями, а розчини, приготовані з них, прозорими, термостійкими, вільними від мікроорганізмів і нерозчинних опадів, легко фільтруватися і не пінитися.

Щільність цукру-піску залежить від розмірів кристалів. Для цукру-піску з розміром кристалів 0,63-0,8 мм щільність дорівнює 762,5 кг / м<sup>3</sup>, з розміром 0,8-1,0 мм - 867,2 кг / м<sup>3</sup>, 1-2 мм - 846,6 кг / м<sup>3</sup>. Кут природного скосу цукру-піску вологістю  $\leq 0,05\%$  становить 32-35 ° і не залежить від розмірів кристалів. Зі збільшенням вмісту води до 1% кут природного скосу збільшується до 70 °.

З метою зменшення забруднення навколишнього середовища та самого сушильного відділення, зниження ризику пожежо- та вибухонебезпеки виробництва за рахунок зменшення викидів цукрового пилу актуальним є розробка системи очистки відпрацьованого сушильного агенту.

### **Конструкції пиловловлюючого обладнання.**

Пиловловлююче устаткування при всьому його різноманітті може бути класифіковане за такими ознаками:

- за призначенням;
- за основним способом дії;
- за ефективністю;

- за конструкційними особливостями.

В залежності від коефіцієнта очищення апарати діляться на дві групи: грубого очищення й тонкого знепилення. Однак поняття грубого очищення й тонкого знепилення є відносними, і залежать від виду виробництва й завдань знепилення.

Все устаткування для санітарного очищення газів і повітря від зважених дисперсних частинок підрозділяється на дві категорії: апарати сухого очищення й апарати мокрого очищення [31].

### **Рукавні фільтри**

Рукавні тканинні фільтри застосовуються для очищення більших обсягів повітря (газів) зі значною концентрацією пилу. Фільтруючими елементами в цих апаратах є рукави зі спеціальної фільтрувальної тканини. Рукавні фільтри забезпечують тонке очищення повітря від пилових частинок, що мають розмір менше 1 мкм. Поряд із циклонами рукавні фільтри є одним з основних видів пиловловлюючого устаткування. Конструктивно гнучка фільтруюча перегородка виконується у вигляді рукава, тому й фільтри із гнучкими фільтруючими перегородками одержали назву «рукавні». У нормально працюючих рукавних фільтрах концентрація пилу на виході з апарата звичайно не перевищує 20 мг/м<sup>3</sup>.

При використанні вискоєфективних фільтрувальних матеріалів і вловлюванні волокнистих пилів концентрація на виході може знижуватися до 1 мг/м<sup>3</sup> і менш. Загальний вид рукавного фільтра показаний на рис. 2.5.

Регенерація фільтрувальної тканини рукавів здійснюється шляхом механічного або аеродинамічного впливу на фільтрувальну тканину з метою руйнування й видалення шару осілого пилу. У ряді рукавних фільтрів регенерація фільтрувальної тканини здійснюється шляхом зворотної струминної й імпульсної продувки рукавів.

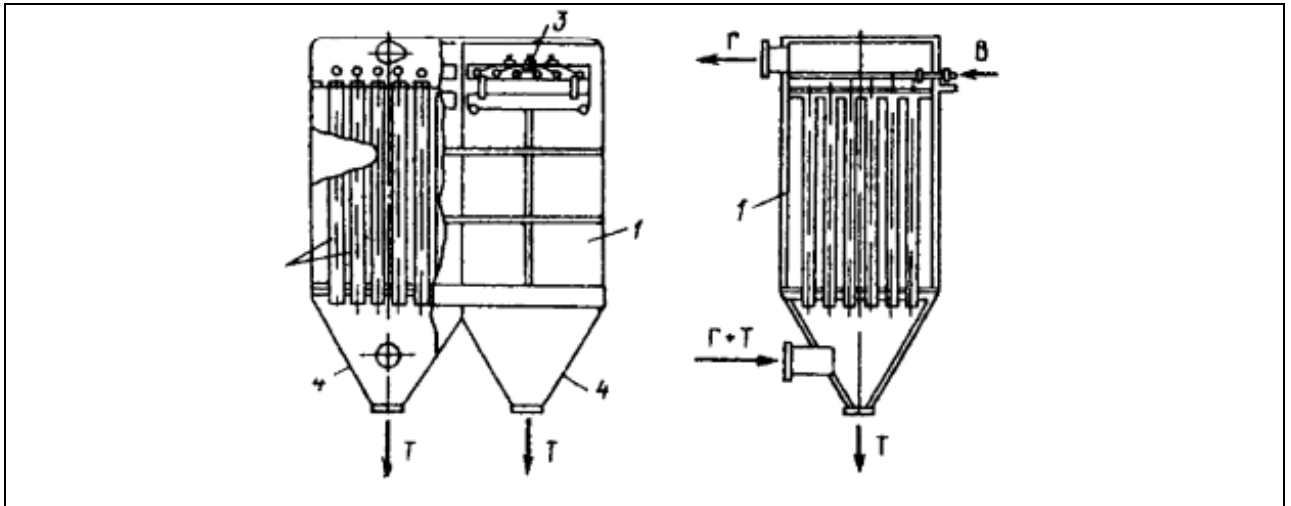


Рисунок 1.9 – Рукавний фільтр:

1 - корпус; 2 - фільтруючі рукави; 3 - колектор стисненого повітря; 4 - збірник пилу.

Апарати мокрого очищення підрозділяються на інерційні, фільтраційні. Причому сучасний набір апаратів дозволяє домогтися практично повного вловлювання пилу будь-якої дисперсності. Мокре очищення газів застосовують у тих випадках, коли припустиме охолодження й зволоження газів, що очищаються, і добре відпрацьовані заходи щодо запобігання бризговиносу й утилізації відпрацьованих стоків. Незважаючи на зазначені обмеження, мокре пиловловлення в ряді випадків може виявитися більше доцільним і виправданим, ніж сухе. Наприклад, при використанні цього способу очищення в дробильних відділеннях, витрати на експлуатацію скорочуються майже в 2 рази, а капітальні витрати на устаткування в 12-15 разів у порівнянні із сухою пилоочисткою. Апарати мокрого пиловловлення, найчастіше простіше по конструкції й мають ефективність, властиву найбільш складним сухим пиловловлювачам. При використанні мокрих пиловловлювачів не відбувається вторинного пиловиділення, крім того, у комбінованих схемах у цих же апаратах здійснюється й процес абсорбції, тобто апарат стає багатофункціональним. Такі схеми більш компактні й прості в експлуатації, що дуже важливо при очищенні багатокомпонентних

викидів. При мокрому пиловловленні діють ті ж механізми осадження, що й в інших процесах видалення пилу з газових потоків. Недоліком мокрому пиловловлення є утворення шламів.

В літературі представлені поодинокі дослідження впливу іонізації повітря на органічний пил, зокрема пил тютюну [32], та пил борошна [33]. Ці дослідження показали, що іонізація повітря досить ефективно впливає на концентрацію органічного пилу у повітрі: нормативна концентрація пилу тютюну в камері з іонізатором повітря досягалась в 2,5 рази швидше, ніж без іонізації. Ефективність очистки повітря з пилом борошна в циліндричному електрофільтрі досягає 95 %.

Відомий спосіб попередньої іонізаційної обробки негативно зарядженими іонами пилу тютюну [32]. Запилений потік пропускають через камеру, обладнану дротяним іонізатором. Частинки тютюну набувають негативного заряду за рахунок дії на них негативно заряджених іонів, що генеруються загостреним дротяним іонізатором. На іонізатор подається напруга від 22 кВ до 55 кВ. Зазначений спосіб дає змогу знизити залишкову концентрацію пилу тютюну в 3,5 рази.

Спосіб коагуляції дрібних частинок, які містяться у потоці газу [34, 35], включає етапи надання частинкам електричних зарядів протилежної полярності та турбулізації потоку газу для перемішування протилежно заряджених частинок і їх агломерації.

## 2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Розробка і опис нового технічного рішення, устрій та принцип його роботи

Сушка цукру-піску на ТОВ «Наркевицький цукровий завод» здійснюється на барабанній багатотрубній сушильно-охолоджувальній установці Fives Cail (Франція) (рис.2.1). Установа складається з центральної труби 1 для подачі вологого цукру; шести сушильних 2 та шести охолоджувальних труб 3; системи подачі холодного 4 та гарячого повітря (сушильного агенту) 5; системи відводу використаного повітря 6; приводу 7. Норією вологий цукор після центрифугування подається в вхідний патрубков апарата 1, де в свою чергу задається в центральні сушильні труби. Вентилятор нагнітає повітря, попередньо нагріте в калорифері, яке прямоточно рухається відносно руху цукру в трубах. В середині труб на їх поверхні розташовані лопаті, які розподіляють цукор по перерізу труб, що сприяє кращому контакту повітря з кристалами цукру. Висушений цукор самотоком поступає в зовнішні охолоджуючі труби. В охолоджуючих трубах цукор перемішується протиточно холодному повітрю, яке вентилятором нагнітається через отвір холодного повітря. Охолоджений цукор через вивантажувальний отвір поступає на конвеєр і подається в пакувальну дільницю. Грудки цукру направляються на трясун. Відпрацьоване повітря вентилятором направляється в циклон, де очищається від цукрової пудри. Очищене повітря по витяжній трубі видаляється в атмосферу.

Труби закріплені на трубовалу, який приводиться в рух від привода, барабан обертається зі швидкістю 4-5 об/хв. Багатотрубний барабан закріплений на двох підшипникових опорах 4 та опорних лапах бандажів

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олещівський В.В.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько ВІ.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Методика проведення досліджень</b>	221874.KP.20.002 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимч 1В		<i>Інд.</i> .	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/8

(рис.2.3). Сушка включає паралельні труби діаметром 1320 та 1620 мм, згруповані в формі двох концентричних пучків, з'єднаних з центральною несучою трубою.

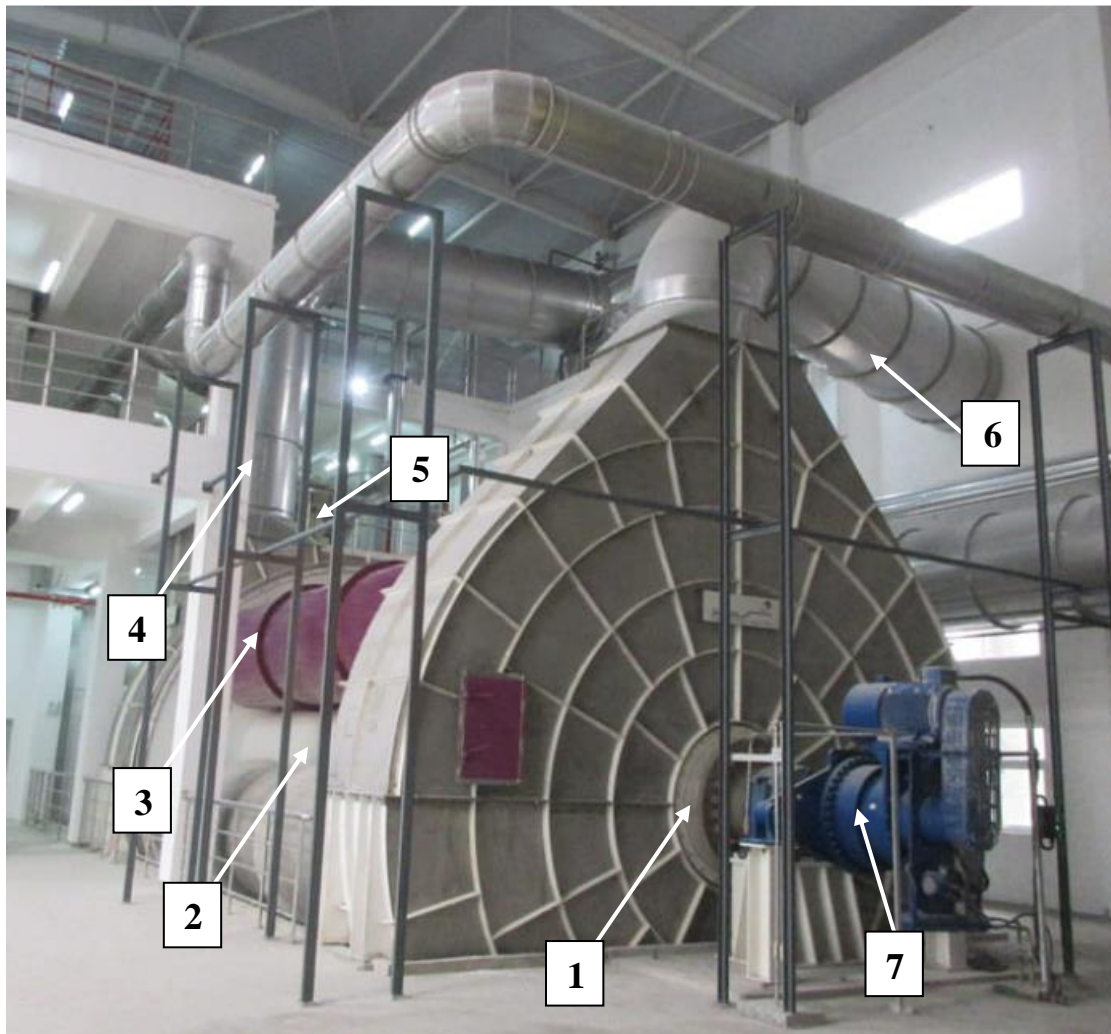


Рисунок 2.1 - Барабанна багатотрубна сушильно-охолоджувальна установка Fives Cail (Франція):

1 - центральна труба для вологого цукру, 2, 3- відповідно сушильні та охолоджувальні труби, 4, 5 – відповідно система подачі холодного та гарячого повітря (сушильного агенту); 6- система відводу використаного повітря 6; 7 – привід

Несуча труба покоїться на двох опорах з роликовими підшипниками і приводиться в дію електродвигуном, що клинопасовою передачею з'єднаний з багатоступінчатим редуктором.

Вологий цукор поступає в центральний пучок (6 труб діаметром 1320 мм), створюючий сушарку, через вхідний короб, який приймає гаряче повітря і обертає вхідну обичайку. За допомогою спіралі та направляючих ковшів вологий цукор рівномірно розподіляється в шести сушильних трубах. В сушильній частині теплообмін проходить в прямотоці, тобто цукор і гаряче повітря рухається в одному напрямку.

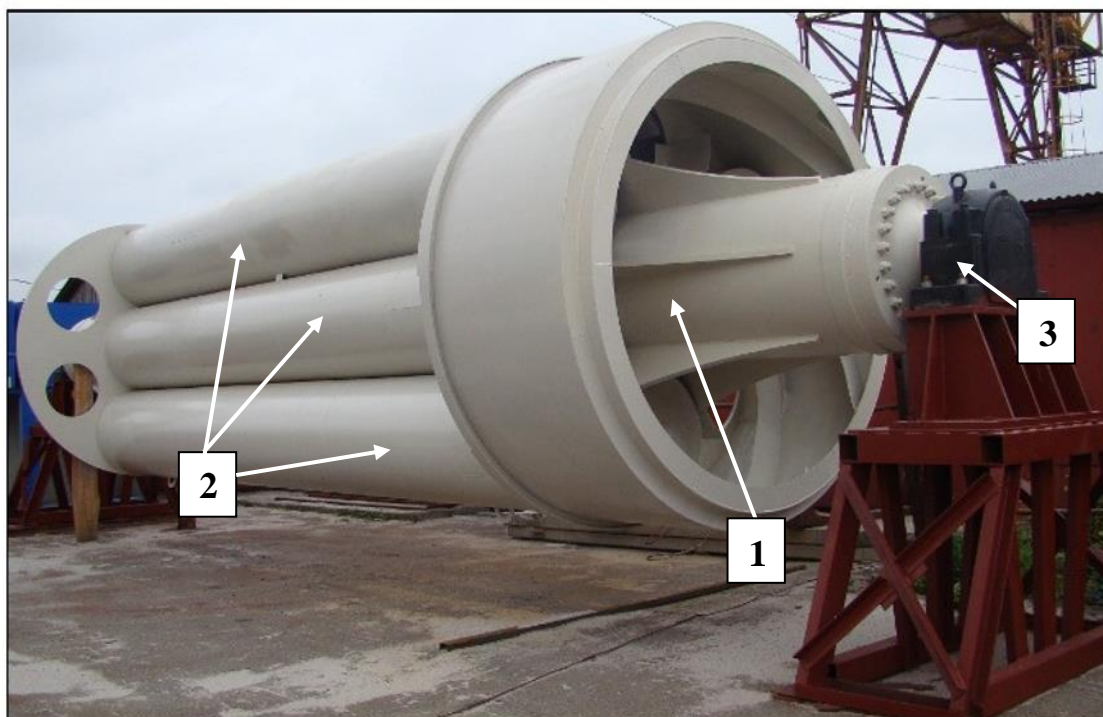


Рисунок 2.3 – Сушильні труби барабанної сушильно-охолоджувальної установки Fives Cail (Франція):

1 - центральна труба для подачі вологого цукру; 2 - сушильні труби;  
3 – підшипникова опора

Досягнувши другого кінця пучка сушарки цукор через жолоби, потрапляє в охолоджувальну частину. В охолоджувальних трубах (6 штук діаметром 1620 мм) цукор та холодне повітря рухається в протivotоці. Висушений та охолоджений цукор вивантажується через жолоб, в якому встановлений балансуєчий клапан. Змішане (відпрацьоване) повітря

видаляється з сушарки через вихідний короб (короб змішаного повітря) і направляється в вузол пиловловлювання. Цей вузол працює з одним головним вентилятором, який всмоктує зовнішнє повітря, що проходить через калорифери, і одночасно видаляє змішане відпрацьоване повітря в скруббер-пиловловлювач.

В місцях забирання повітря ззовні, або з середини приміщення, безпосередньо перед калориферами встановлені фільтри, екіповані фільтрувальною тканиною, що забезпечує ефективне фільтрування повітря. Далі по напрямку руху повітря після тканинних фільтрів змонтовані кожухи з дозуючими жалюзійними пристроями для регулювання кількості повітря. Нагрівання повітря здійснюється в парових калориферах, в якості теплоносія використовується екстра пара першого корпусу випарки. Передбачена установка підігрівача холодного повітря, щоб одержати вологість повітря для охолодження цукру меншу 60% в холодну пору року шляхом нагрівання зовнішнього повітря на декілька градусів.

Відцентровий вентилятор всмоктує зовнішнє повітря через фільтри, нагрівачі, яке далі поступає в сушарку. Вентилятор оснащений поворотними лопатями всмоктування для регулювання загального потоку повітря. Вентилятор також оснащений внутрішньою мийкою для очистки лопатей робочого колеса в процесі роботи. На нижній точці спіралі вентилятора мається виступ, призначений для відведення конденсата, що утворюється в процесі роботи. Для попередження передачі вібрації на раму між шасі вентилятора і рамою монтажної конструкції встановлені антивібраційні шпильки.

Як правило, існуючі фільтрувальні системи мають вибірковий принцип впливу на той чи інший тип забруднювача. Тому при виборі необхідно враховувати можливість очищення вентиляційних викидів від різних типів забруднювачів одночасно, причому до величини гранично-допустимої концентрації. На основі аналізу поширених типів фільтрувальних систем (див. розд.1, табл.2.1) очищення від дисперсних частинок цукру

відпрацьованого повітря з сушарки пропонується здійснюється у скрубєрі з використанням зворотної технічної води замість установки з рукавними тканинними фільтруючими елементами (рис.2.3).

Таблиця 2.1 – Характеристики найбільш поширених типів установок

Тип фільтру	Продуктивність, м3/год	Ефективність очистки, %		Використанні матеріали	Вплив на склад повітря
		пил	газ		
Тканинний (рукавний)	до 5000	99	0	матеріал фільтра	-
Циклони	до 200000	70	0	-	-
Стандартний гідрофільтр	до 30000	70	15	технічна вода	+
Каталітичний	до 15000	0	99	каталізатори	+
Електростатичний	до 3500	99	0	каталізатори	+
Скрубєр «ICEF» 65	до 6500	99,8	95	зворотня технічна вода	-

Відпрацьоване повітря, що вентилятором 6 направляється в скрубєр 7 з високою швидкістю, взаємодіє з рідиною, яка знаходиться в нижній частині, створює високу турбулентність потоку при змішуванні газу та рідини (рис.2.4). Дисперсні частинки цукру безпосередньо уловлюються рідиною. Такий сильний взаємовплив середовищ викликає появу туману, котрий поступає в секцію розділення. Під час цього руху самий дисперсний пил прилипає до краплин рідини. Направлені газом краплини призупиняються, проходячи через ножовий розподілювач. Дренажний вінець навколо ножового розподілювача забезпечує повернення краплин в нижній бункер.

Скрубєр працює як відкрита петля з безперервним підведенням гарячої води з температурою 75 – 85°C і безперервною витяжкою. На виході зі скрубєра солодка рідина має вміст цукру до CP=25 – 40.

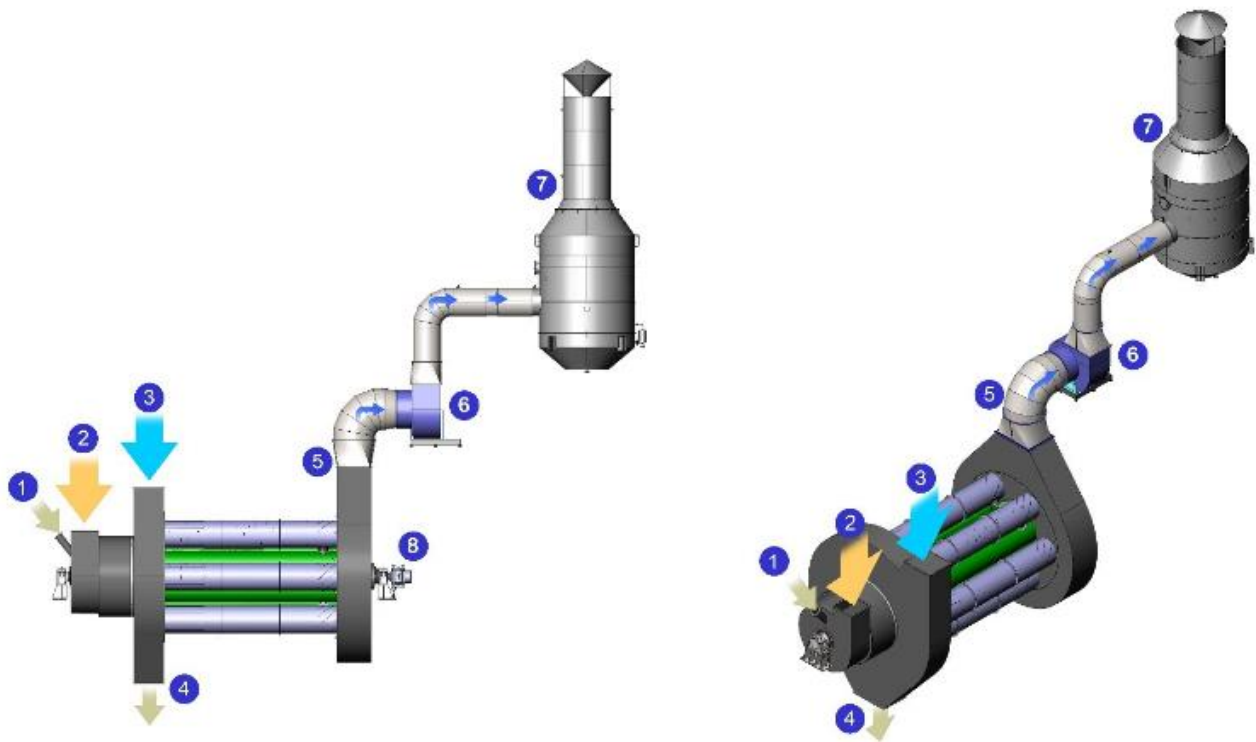


Рисунок 2. – Схема руху цукру та повітряних потоків в багатотрубній барабаній сушильно-охолоджувальній установці:

1 – вхід вологого цукру; 2, 3 – відповідно вхід гарячого та холодного повітря;  
 4 – вихід висушеного цукру; 5 вихід змішаного повітря; 6 – вентилятор; 7 – скруббер; 8 привід

Рівень рідини в нижньому бункері скрубера підтримується постійним шляхом відваженого переливу через боковий короб переливу. Солодкий розчин з нижнього бункера скрубера через контрольний ящик відводиться на збірник соку перед випаркою.

Після розсіву, де виділяються агломерати та липкі фракції, цукор надходить в бункера, які знаходяться в тарному відділенні, фасується в мішкотару, зважується та стрічковим транспортером надходить в склад.

Забруднене повітря проходить через пристрій для центрифугування, стикаючись з потоком розпорошеною води, який поглинає всі забруднення. Очищене повітря, проходить через спеціальні осаджувачі, на яких осідають

краплі води і після уповільнення в розширювальній камері випускається назовні.

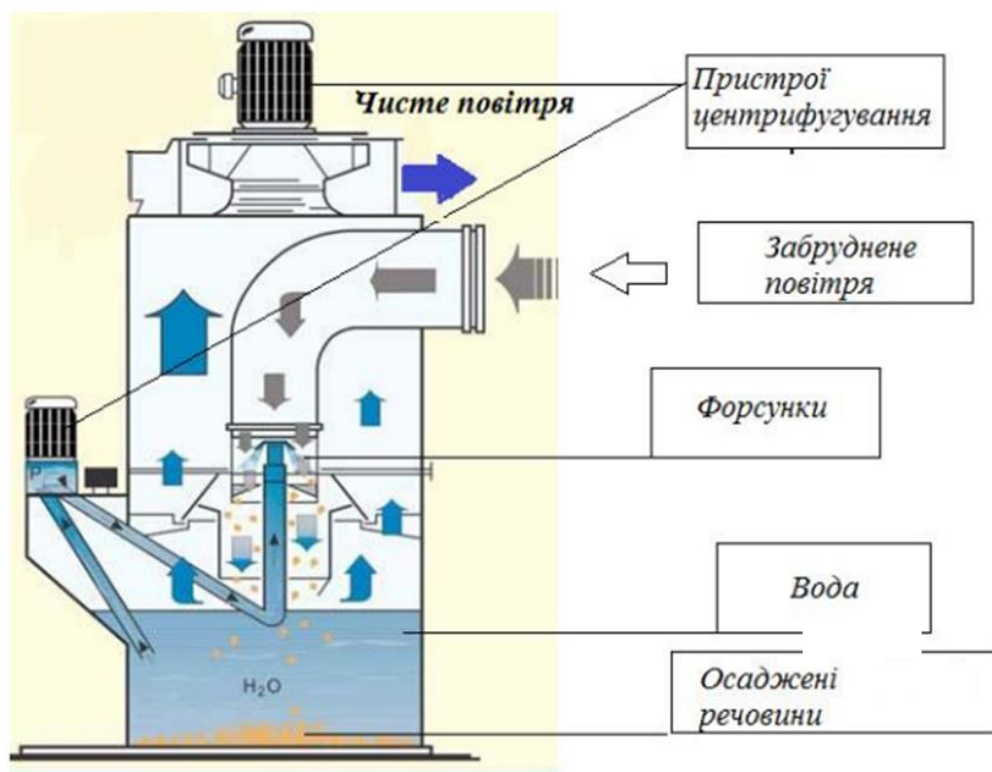


Рисунок 2.4 - Принципова схема роботи скрубера мокрого очищення

Вода з пилом збирається в резервуарі внизу установки і спеціальним насосом повертається в оборот, при цьому рівень води в резервуарі залишається постійним і контролюється електронним пристроєм перевірки рівня.

Рівень очистки становить: для частинок розміром до 5мкм - 95%, для частинок розміром 25 мкм - 99,8%.

На відміну від установок з тканинними фільтруючими елементами, які після якогось часу роботи вимагають регенерації (очищення забруднених фільтрів) і заміни, установки серії «ICEF» не схильні до таких забруднень і підтримують постійний потік і напір повітря.

Встановлення скрубера мокрого очищення серії «ICEF» 65 має такі переваги:

- мокрий вловлений пил легко видаляється через спеціальну відвідну трубу, що знаходиться в резервуарі для води, а також ручним або автоматичним способом через передню панель цього резервуара;
- конструкція установки забезпечує легкий доступ до всіх точок установки і зручність заміни будь-яких деталей;
- установки додатково можуть комплектуватися пристроєм для автоматичного вилучення намоклого пилу;
- установки також можуть бути поставлені у виконанні для пожежонебезпечних приміщень;
- потужність можна регулювати до необхідного рівня, завдяки регулюючому потік клапану, розташованому на вихідному отворі вентилятора;
- витрати води дуже малі, завдяки тому, що вона повертається в оборот;
- можливість повернення в робоче приміщення очищеного повітря дозволяє значно економити енергію, особливо взимку.

### 3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

#### 3.1. Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес очищення пилогазового потоку відпрацьованого сушильного агенту сушарки цукру-піску.

Предметом дослідження є апарат з внутрішньою циркуляцією рідини для здійснення очищення пилогазового потоку, забрудненого дрібнодисперсними частинками цукру, зменшення енерговитрат процесу пиловловлення та підвищення екологічної безпеки.

#### 3.2. Опис експериментальної установки

Лабораторний стенд для дослідження очищення пилогазового потоку (рис.3.1) являв собою колону 1, розмірами 250 x 500 x 2000 мм із регулярною рухомою насадкою 2 [36]. Експериментальна установка має блок сепарації 7 з похилим днищем, що дозволяє постійно відводити рідину з блоку. Апарат працював в режимі спадної прямотечії. Повітря вентилятором 12 подається у верхню частину апарата 1. Газовий потік, підхоплюючи рідку фазу, потрапляє в шар насадки 2 і, рухаючись прямотечійно з потоком рідини, виходить через нижню частину установки в блок сепарації 7, оснащений відбійником 8. Рідина зі збірного бака насосом 9 подавалася в ємкість для створення натиску 10, відкіля надходила в колону 1 через колектор 5.

Для контролю витрати газу і підтримки величини в заданому інтервалі використовувався такий комплект приладів: діафрагма камерна, перетворювач перепаду тиску з вихідним електричним сигналом і вторинний прилад з диференційно-трансформаторною вимірювальною схемою. Витрата рідини регулювалася вентилем і вимірялася ротаметром з електричним вихідним сигналом у комплекті з вторинним приладом з диференційно-трансформаторною вимірювальною схемою.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олійський В. В.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько В.І.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Методика проведення досліджень</b>		221874.KP.20.003 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.			<i>Інд.</i> .	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/5

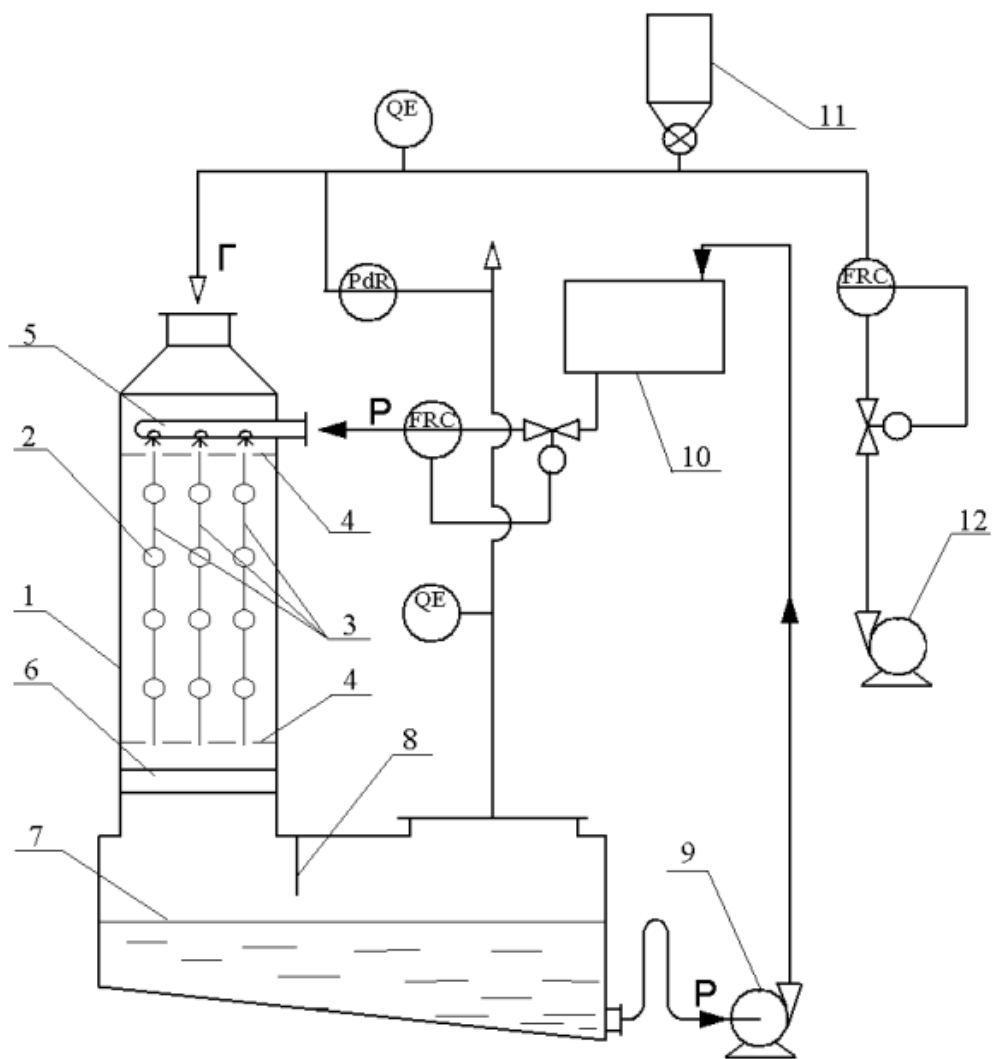


Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки для дослідження пилоуловлювання:

1 – колона; 2 – насадка; 3 – струни; 4 – опорно-розподільні ґрати; 5 – колектор; 6 – мірна ємкість; 7 – блок сепарації; 8 – відбійник; 9 – насос; 10 – ємність для створення тиску; 11 – живильник; 12 – вентилятор

Насадка 2 являє собою кулі діаметром 40 мм, жорстко закріплені з кроком в  $t$  на гнучких струнах 3. Кулі виконані з пористої гуми. Струни 3 прикріплені до верхніх і нижньої опорно-розподільних ґрат 4. Колектор зрошувач 5 виготовляється з труби діаметром 50 мм.

### 3.3. Методика проведення досліджень

Дослідження пилоочищення в апараті містило в собі визначення ефективності дифузійного й інерційного пилоосадження. Дисперсний склад вмісту пилу визначено за допомогою приладу X-ray Disc Centrifuge Particle Size Analyzer Ver. 3.78. Принцип виміру базується на різній швидкості седиментації частинок пилу в гліцерині під дією відцентрової сили, з подальшим комп'ютерним аналізом. Ефективність пилоочищення визначали за формулою:

$$\eta = \frac{C_n - C_k}{C_n} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

де  $C_n$  – концентрація пилу на вході в апарат,  $\text{г/м}^3$ ,  $C_k$  – концентрація пилу на виході з апарату,  $\text{г/м}^3$ .

При вимірюванні концентрації пилу на виході з установки, використовували гравіметричний метод у відповідності з «Методикою виконання вимірювань масової концентрації речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (пилу) в організованих викидах стаціонарних джерел гравіметричним методом при температурі газопилового потоку до  $600\text{ }^\circ\text{C}$  (МВВ)» [37]. Визначення концентрації пилу проводилось методом зовнішньої фільтрації. У якості фільтрувального матеріалу використовували аерозольні фільтри АФА-ВП. Відбір проб для визначення дисперсного складу та елементного вмісту пилу використовували електроаспіратор ASA-2М.

### 3.4. Дослідження ефективності пиловловлення

Як показано в таблиці 3.2 пил цукру належить до категорії дрібнодисперсних з розміром частинок менше  $10\text{ мкм}$  [38, 39]. Цей пил є найбільш екологічно небезпечним. Частинки цукрової пудри прозорі, неправильної форми, полідисперсні, однокомпонентні, їх важко відокремити одна від одної (рис.3.2) [38, 39].

Таблиця 3.2 – Дисперсний склад цукрового пилу

Вид пилу	Вміст частинок кожної фракції $\Phi_i$ , % (100%)			Медіанний розмір часток $d_{50}$ , мкм
	менше 2,5 мкм	від 2,5 до 10 мкм	більше 10 мкм	
Цукор	$38,8 \pm 8,8$	$39,6 \pm 4,7$	$21,6 \pm 6,3$	$3,67 \pm 0,94$

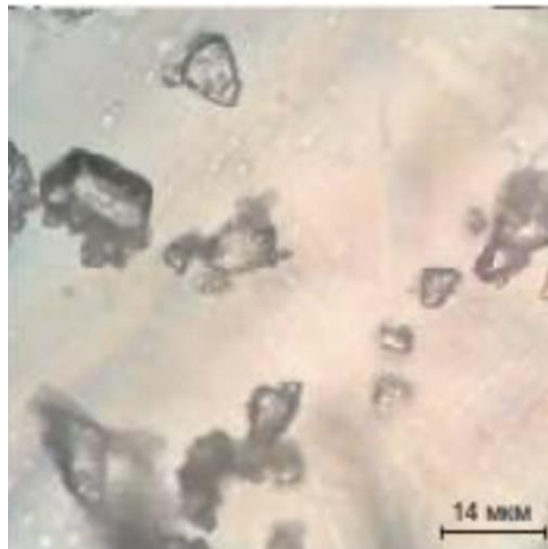


Рисунок 3.2 – Фотографії пилу цукру

Вплив швидкості газу на ефективність пиловловлення різний для інерційного та дифузійного механізмів пилоосадження, тобто для твердих частинок різного діаметра. Зростання ефективності пиловловлення, обумовленого турбулентноінерційним механізмом пилоосадження, із зростанням швидкості газу пов'язане зі збільшенням відносної швидкості руху фаз, а також зі зменшенням діаметру крапель, що утворюються у вихрових зонах апарата. Подальше збільшення швидкості газу більше 12 м/с призводить до росту сили інерції, що діє на частинку. Це призводить до зменшення ступеню захоплення частинок аерозолі турбулентними пульсаціями та зменшення ефективності дифузійного пилоосадження.

Дослідження залежності ефективності пиловловлення від питомого зрошення показали, що ефективність зростає до значення питомого зрошення  $m=1$   $\text{дм}^3/\text{м}^3$  (рис.3.3). При подальшому рості  $m=(1-1,2)$   $\text{дм}^3/\text{м}^3$  питоме

зрошення незначно впливає на ефективність пиловловлення. Це пояснюється тим, що зростання  $m$  призводить до збільшення діаметра краплі, що, у свою чергу, веде до зниження ефективності інерційного та дифузійного пилоосадження. При значенні  $m=1$ , буде спостерігатися незначне зростання ефективності пиловловлення, що підтвердили експерименти.

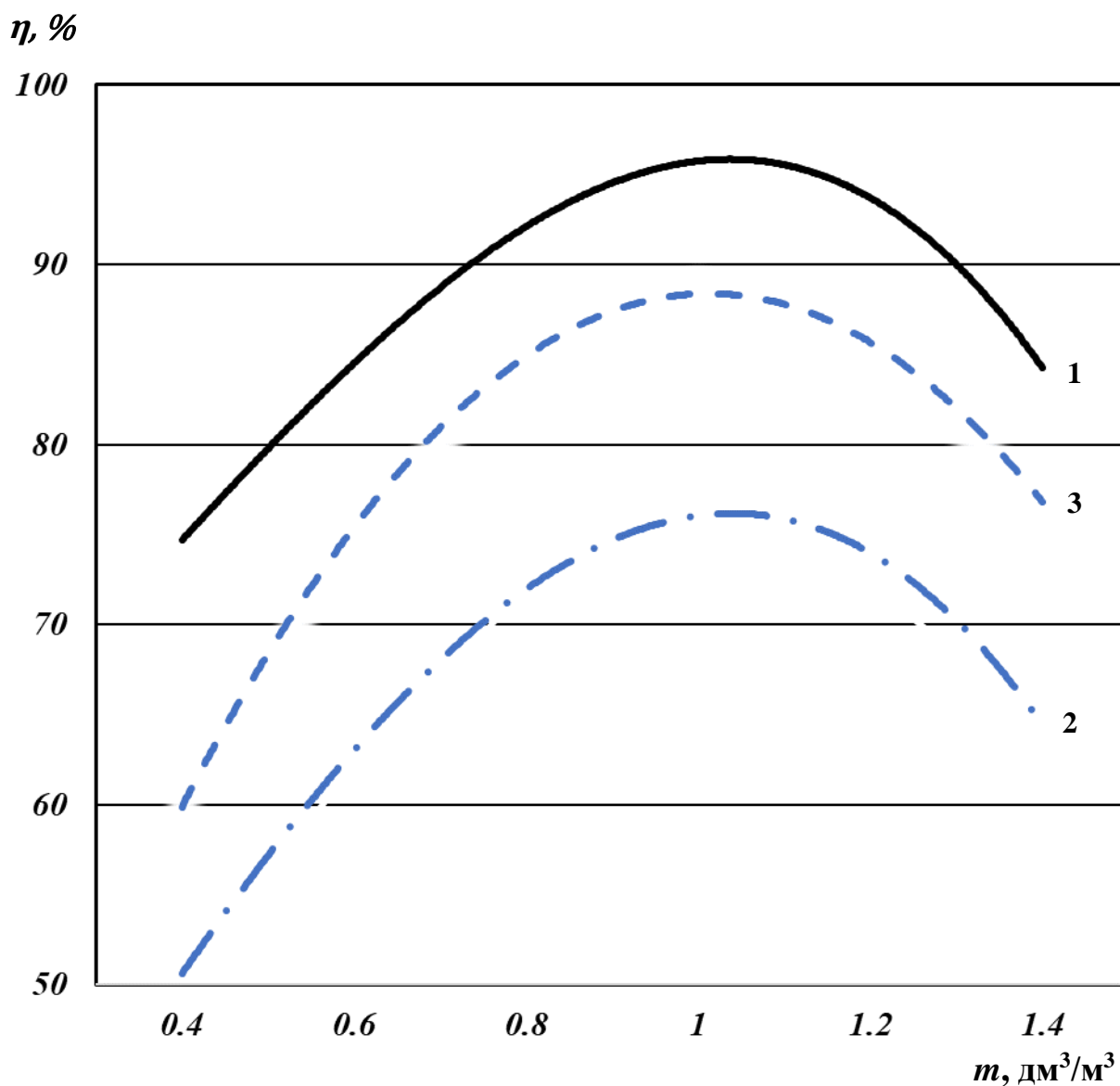


Рисунок 3.3 – Залежність ефективності пиловловлення від питомого зрошення при швидкості повітря  $w_2=12$  м/с:

1 –  $d_q = 20$  мкм; 2 –  $d_q = 0,5$  мкм; 3 – загальна ефективність пиловловлення

## 4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Розрахунок сушарки включає складання матеріального і теплового балансів установки, визначення габаритів апарата, що забезпечують задану продуктивність по сухому матеріалу, розрахунок і вибір допоміжного устаткування (топки, калорифери, пилоочисні пристрої і т.д.). У результаті теплового розрахунку визначаємо необхідну кількість сушильних апаратів і розміри кожного з них, витрати палива, газів, електроенергії, води і т.д.; виходячи з результатів розрахунку обґрунтовують раціональний спосіб сушіння і конструкцію апарата.

### 4.1. Розрахунок матеріального балансу апарата.

Задаємося добовою продуктивністю заводу по буряку та виходом готового продукту, а саме цукру-піску з вологістю  $\omega_2$  (в %); початкова вологість цукру  $\omega_1$  (в %) також відома.

Годинна продуктивність сушарки дорівнює:

$$G_2 = G \frac{k_{\text{вих}} \cdot 1000}{100 \cdot a} = 1630 \frac{12,6 \cdot 1000}{100 \cdot 22} = 9345 \text{ кг/год} \quad (4.1.1)$$

де  $G$  - добова продуктивність по буряку, т/добу;

$a$  - число годин роботи сушарки в добу;

$k_{\text{вих}}$  - вихід цукру, %.

Величина  $a$  залежить від характеру виробництва. Для неперервнодіючих виробництв приймають  $a=22$  год.

Кількість вільної вологи, що випаровується в процесі сушіння, буде дорівнювати:

$$W = G_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1} = 9345 \frac{1 - 0,05}{100 - 1} = 89,67 \text{ кг/год} \quad (4.1.2)$$

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Олещівський В.В.	Вид документа <b>Пояснювальна записка</b>	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Мисько ВІ.	Назва, додаткова назва <b>Розрахункова частина</b>	221874.КР.20.004 ПЗ			
	Документ затверджено Яремук ІВ		Інд.	Дата видання	Мова <b>UA</b>	Аркуш 1/25

Тоді продуктивність сушарки  $G_1$  по вихідному матеріалі складе:

$$G_1 = G_2 + W = 9345 + 89,67 = 9434,67 \text{ кг/год} \quad (4.1.3)$$

У процесі сушіння маса абсолютно сухої речовини не міняється, якщо немає віднесення його частинок чи інших втрат, тобто

$$G_{\text{сyx}} = G_1 \frac{100 - \omega_1}{100} = G_2 \frac{100 - \omega_2}{100} \text{ кг/год} \quad (4.1.4)$$

Звідки

$$G_1 = G_2 \frac{100 - \omega_2}{100 - \omega_1} \text{ кг/год} \quad (4.1.5)$$

В багатозонній сушарці матеріальний баланс складається для кожної зони, виходячи з початкової і кінцевої вологості матеріалу в ній: у першій зоні  $\omega_1$  і  $\omega_2'$ ; у другій зоні  $\omega_1''$  і  $\omega_2''$  і т. д.;

причому  $\omega_2' = \omega_1''$ .

Суша частина агента сушіння в процесі не змінюється, якщо немає його витоку. Тому розрахунок сушильних установок зручніше проводити на 1 кг сухого газу. Таким чином, матеріальний баланс сушарки буде наступним:

$$\frac{G_1 \omega_1}{100} + L d_1 = \frac{G_2 \omega_2}{100} + L d_2 \quad (4.1.6)$$

або

$$L = \frac{W}{d_2 - d_1} = \frac{89,67}{0,01} = 8967 \text{ кг/год} \quad (4.1.7)$$

де  $L$  - кількість агента сушки (повітря), кг/год;

$d_1$  і  $d_2$  - відповідно початковий і кінцевий вологовміст газу, кг/кг сухого газу ( $d_2 - d_1 = 0,07 - 0,06 = 0,01 \text{ кг/кг}$ ).

Витрата газу на 1 кг вологи, що випаровується, дорівнює:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{d_2 - d_1} = \frac{8967}{89,67} = 100 \text{ кг/кг} \quad (4.1.8)$$

## 4.2. Розрахунок теплового балансу апарата.

Для конвективних сушарок з однократним використанням газу і сушарок з кондуктивним і радіаційним підведенням тепла витрати агента

сушіння і палива найпростіше визначити аналітично з теплового балансу сушарки.

Для випаровування вологи і проведення разом із сушінням інших термічних процесів до матеріалу необхідно підвести тепло; його можна підводити по-різному в залежності від способу сушіння. Якщо на підставі дослідних даних відомий режим процесу, то з теплового балансу можна визначити витрату тепла на сушіння і витрату відповідно палива, електроенергії, пари.

Сумарна витрата тепла в сушарці дорівнює:

$$\sum Q = Q_B + Q_H + Q_5 + Q_2 + Q_D \pm Q_X + Q_T \text{ ккал/год} \quad (4.2.1)$$

де  $Q_B$  і  $Q_H$  - витрати тепла відповідно на випаровування вологи і нагрівання матеріалу;

$Q_5$  і  $Q_2$  - втрати тепла відповідно в навколишнє середовище та з газами, що відходять;

$Q_D$  - витрата тепла на дегідратацію й інші ендотермічні процеси;

$Q_X$  - теплота хімічних перетворень (знак мінус при виділенні тепла);

$Q_T$  - витрата тепла на нагрівання речовин, що додатково вводяться (пара, стиснене повітря і т.д.) і транспортних засобів.

Для безперервнодіючих сушарок розраховується годинна витрата тепла.

При графо-аналітичному розрахунку за допомогою I- d - діаграми витрати тепла на сушіння раціонально відносити до 1 кг вологи, що випаровується. Тоді рівняння (5.2.1) буде мати вигляд:

$$\sum q_B + q_H + q_5 + q_2 + q_D \pm q_X + q_T \text{ ккал/кг вологи} \quad (4.2.2)$$

[Тут усі питомі витрати тепла  $q$  відповідають величинам  $Q$  у рівнянні (5.2.1)].

Витрата тепла на випаровування вологи дорівнює:

$$Q_B = W(i_{\Pi} - i_{Ж}) \text{ ккал/год} \quad (4.2.3)$$

Для води

$$Q_B = W(595 + 0,47t_2 - v_1) = 89,67(595 + 0,47 \cdot 68 - 50) = 41736 \text{ ккал/год} \quad (4.2.4)$$

де  $i_H$  - ентальпія перегрітої пари при температурі газів, що відходять, ккал/кг;

$i_{ж}$  - ентальпія рідини при початковій температурі цукру, ккал/кг;

$t_2$  - температура газів, що відходять, °С;

$v_1$  - початкова температура цукру, °С.

Витрата тепла на нагрівання матеріалу:

$$Q_H = G_2 c_m (v_2 - v_1) \text{ ккал/год} \quad (4.2.5)$$

де  $v_2$  - температура цукру після сушки, °С;

$c_m$  - теплоємність висушеного цукру, ккал/(кг·град):

$$c_m = c_c \frac{100 - \omega_2}{100} + \frac{\omega_2}{100} = 0,26 \frac{100 - 0,05}{100} + \frac{0,05}{100} = 0,261 \quad (4.2.6)$$

де  $c_c$  - теплоємність абсолютно сухого матеріалу, ккал/(кг·град).

Тоді

$$Q_H = 9345 \cdot 0,261(65 - 50) = 36585,68 \text{ ккал/год}$$

Втрати тепла сушаркою в навколишнє середовище:

$$Q_5 = KF(t_{cp} - t_0) \text{ ккал/год} \quad (4.2.7)$$

де  $K$  - коефіцієнт теплопередачі через стінку сушарки, ккал/(м<sup>2</sup>·год·град);

$F$  - зовнішня поверхня сушарки, м<sup>2</sup>;

$t_{cp}$  - середня температура в сушарці, °С;

$t_0$  - температура навколишнього середовища, °С.

Теплоізоляцію сушарки підбираємо так, щоб температура зовнішньої стінки не перевищувала 40°С чи щоб коефіцієнт теплопередачі дорівнював 0,5-1,0 ккал/(м<sup>2</sup>·год·град). Приблизно можна прийняти:

$$\frac{\lambda_i}{\delta_i} = 0,5 - 1,0 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град)} \quad (4.2.8)$$

де  $\lambda_i$  - коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу, ккал/(м<sup>2</sup>·год·град);

$\delta_i$  - товщина теплоізоляції, м.

По співвідношенню (5.2.8) визначають товщину теплоізоляції.

До визначення габаритів сушарки можна приблизно прийняти питомі втрати тепла в навколишнє середовище  $q_5=30-90$  ккал/кг вологи в залежності від початкової вологості матеріалу (приймаємо більшу величину, як для матеріалу з низькою вологістю).

Тоді

$$Q_5 = q_5 W = 90 \cdot 89,67 = 8070 \text{ ккал/год} \quad (4.2.9)$$

Втрати тепла з газами, що відходять, складуть:

$$Q_2 = L(I_2 - I_0) = 8980(15,6 - 14,7) = 8082,32 \text{ ккал/год} \quad (4.2.10)$$

де  $I_2$  - ентальпія газів при температурі  $t_2=68^\circ\text{C}$  і початковому вологовмісті їх  $d_1$ , ккал/кг;

$I_0$  - ентальпія зовнішнього повітря, ккал/кг;

$L$  - годинна витрата газів (з урахуванням підсмоктування зовнішнього повітря), що викидається в атмосферу, кг/год.

Витрата тепла на дегідратацію та інші ендотермічні процеси:

$$Q_d = q_d G_2 \text{ ккал/год} \quad (4.2.11)$$

де  $q_d$  - питома теплота дегідратації, віднесена до 1 кг готового (сухого) продукту, ккал/кг.

Для нашого випадку  $Q_d = 0$

При сушінні різними способами тепло може витрачатися на нагрівання додаткових речовин і транспортних пристроїв. Наприклад, при сушінні розпиленням диспергування розчинів роблять стисненим повітрям чи паром; у тунельних сушарках транспортні пристрої (вагонетки, листи і т.п.), виходячи із сушарки, прохолоджуються і т.д. В нашому випадку тепло не витрачається на нагрівання додаткових речовин та транспортних засобів вказаних вище.

Тоді

$$Q_T = 0 \text{ ккал/год}$$

В процесі сушки ніякі хімічні реакції не проходять.

Тоді теплота хімічної реакції:

$$Q_X = 0 \text{ ккал/год}$$

Сумарна витрата тепла в сушарці дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum Q &= Q_B + Q_H + Q_5 + Q_2 + Q_D \pm Q_X + Q_T = \\ &= 41736 + 36585,68 + 8070 + 8082,32 = 94625 \text{ ккал/год} \end{aligned}$$

### 5.3. Розрахунок кількості сушильного агента і палива

При однократному використанні агента сушіння витрата газів визначають з теплового балансу сушарки (якщо відомий температурний режим сушіння):

$$LI = \sum Q \quad (4.3.1)$$

Використовуючи рівняння (3.1.7) і (3.2.1), одержимо:

$$L = \frac{Q_B + Q_H + Q_5 + Q_2 + Q_D \pm Q_X + Q_T}{I_1 - I_2} \quad (4.3.2)$$

де  $I_1 = 26,2$  - ентальпія газів при початковій температурі  $t_1$  і початковому вологовмісті  $d_1$ , ккал/кг;

$I_2 = 15,6$  - ентальпія газів при кінцевій температурі  $t_2$  і вологовмісті  $d_2$ , ккал/кг.

Тоді

$$L = \frac{94625}{26,2 - 15,6} = 8926,88 \text{ кг/год}$$

В приведенному вище розрахунку матеріального балансу було знайдено  $L = 8967$  кг/год, враховуючи необхідність запасу і в подальшому будемо використовувати цей параметр.

Годинна витрата тепла на сушіння дорівнює:

$$Q = \frac{L(I_1 - I_0)}{\eta} = \frac{8967(26,2 - 14,7)}{0,98} = 105225 \text{ ккал/год} \quad (4.3.3)$$

де  $\eta$  - к. к. д. генератора тепла (у розрахунках приймаємо для парових калориферів  $\eta = 0,98 - 0,99$ ).

Якщо як агент сушіння використовують повітря, то витрата пари в калорифері дорівнює:

$$D = \frac{L(I_1 - I_0)}{\eta(i_{II} - i_K)} = \frac{8967(26,2 - 14,7)}{0,98(648 - 123)} = 200 \text{ кг/год} \quad (4.3.4)$$

де  $i_{II}$  і  $i_K$  - відповідно ентальпія пари і конденсату, ккал/кг.

Витрата тепла (у перерахуванні на паливо) на сушіння при нагріванні повітря в паровому калорифері дорівнює:

$$Q' = \frac{Di_{II}}{\eta_K} = \frac{200 \cdot 648}{0,75} = 172800 \text{ ккал/год} \quad (3.5)$$

Відповідно питома витрата тепла на 1 кг, вологи:

$$q = \frac{Di_{II}}{W\eta_K} = \frac{200 \cdot 648}{89,67 \cdot 0,75} = 1927,07 \text{ ккал/кг} \quad (4.3.6)$$

де  $\eta_K$  - к. к. д. котельної установки (для заводських котелень  $\eta_K = 0,7 - 0,75$ ).

Витрату палива розраховують по співвідношенню:

$$B = \frac{L(I_1 - I_0)}{\eta Q_B^P} = \frac{8967(26,2 - 14,7)}{0,75 \cdot 11700} = 11,75 \text{ кг/год} \quad (4.3.7)$$

де  $Q_B^P$  - найвища теплотворна спроможність палива (природний газ), ккал/кг.

### 5.5. Конструктивні розрахунки розрахунок калорифера

Для нагрівання повітря в сушильних установках харчової промисловості застосовуються газові, парові і водяні калорифери. У газових калориферах теплоносієм, що гріє, в більшості випадків є топкові гази (такі калорифери мають самостійні топки і називаються вогневими) і рідше відходять гази від теплових агрегатів. У парових калориферах повітря нагрівається насиченою водяною парою, що подоється з котельні; у водяних калориферах повітря нагрівається гарячою водою.

Основною задачею розрахунку калорифера є визначення площі його поверхні нагрівання. Цей розрахунок аналогічний розрахунку будь-якого теплообмінного апарата рекуперативного типу. Площа поверхні нагрівання визначають по рівнянню

$$Q = k\Delta t_{\text{сер}} F \quad (4.5.1)$$

де  $Q$  - розрахункова кількість теплоти, необхідна для підігріву повітря, кВт (відомо з теплового розрахунку сушарки);

$k$  - коефіцієнт теплопередачі від теплоносія, що гріє, до повітря, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta t_{\text{сер}}$  - середній температурний напір, чи середня для всієї поверхні нагрівання різниця температур теплоносія, що гріє, і повітря, °С.

З цієї формули необхідна площа поверхні нагрівання (в м<sup>2</sup>)

$$F = Q / (k\Delta t_{\text{сер}}) \quad (4.5.2)$$

Середній температурний напір розраховується по формулі

$$\Delta t_{\text{сер}} = (\Delta t' - \Delta t'') / \ln(\Delta t' / \Delta t'') = (\Delta t' - \Delta t'') / 2.303 \lg(\Delta t' / \Delta t'') \quad (4.5.3)$$

$$\Delta t_{\text{сер}} = (105 - 10) / \ln(105 / 10) = (105 - 10) / 2.303 \lg(105 / 10) = 40,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де  $\Delta t' = 125 - 20 = 105$  - більша різниця температур теплоносія, що гріє, і повітря.

$\Delta t'' = 110 - 100 = 10$  - менша різниця цих температур.

Ця формула для визначення середнього логарифмічного температурного напору застосовна як для прямого току, так і для протитоку.

У калориферах один з теплоносіїв часто рухається зигзагоподібно, однак загальний напрямок його руху збігається з рухом іншого теплоносія чи спрямований в іншу сторону; у цьому випадку  $\Delta t_{\text{сер}}$  розраховують по відомих формулах для прямотоку чи протитоку.

Коефіцієнт теплопередачі розраховують по наступним формулах:

для плоскої стінки

$$k = 1 / (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2); \quad (4.5.4)$$

для труби

$$k_{TP} = 1/(1/(\alpha_1 d_{вн}) + (1/2\lambda) \ln(d_{нар} / d_{вн}) + 1/(\alpha_2 d_{нар})) \quad (4.5.5)$$

$k_{TP}$  відноситься до 1 м труби і називається лінійним коефіцієнтом теплопередачі;  $d_{НАР}$  і  $d_{ВН}$  - зовнішній і внутрішній діаметри труби (в м).

Коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  розраховують по відомих формулах теплопередачі, що звичайно представляють у виді критеріальної залежності

$$Nu = f(Re^n Pr^m) \quad (4.5.6)$$

Для парових калориферів з ребристих труб коефіцієнт теплопередачі може бути орієнтовно розрахований по формулі

$$k = Av_0^n \quad (4.5.7)$$

де  $v_0$  - швидкість повітря в самому вузькому перетині, віднесений до 0°C і 0,1 МПа.

Для калориферів моделей КФ коефіцієнт теплопередачі розраховується по формулі:

для парових калориферів

$$k = A(v\rho)^n \quad (4.5.8)$$

де  $A$ ,  $n$ , - коефіцієнти;  $v\rho$  - масова швидкість повітря в живому перетині калорифера, кг/(м<sup>2</sup>·с).

Задаючись витратою повітря на сушіння  $L = 8967$  кг/год та площею живого перетину труби для повітря калорифера типу КФ (попередньо №10)  $S = 0,558$  м<sup>2</sup> знайдемо масову швидкість повітря в живому перетині калорифера:

$$v\rho = \frac{L}{3600 \cdot S} = \frac{8967}{3600 \cdot 0,558} = 4,46 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) \quad (4.5.9)$$

Коефіцієнти  $A$  і  $n$  для парового калорифера типу КФ відповідно дорівнюють 16,47 і 0,456.

Тоді

$$k = 16,47(4,46)^{0,456} = 32,568 \quad (4.5.10)$$

Площа поверхні нагріву:

$$F = Q / (k\Delta t_{cp}) = 370379 / (32,568 \cdot 40,4) = 281,48 \text{ м}^2$$

Приймаємо 6 парових калориферів марки КФСО №10 з поверхнею нагріву 47,8м<sup>2</sup>.

Тоді загальна площа нагріву калориферної установки складає:

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{кал}} \cdot n = 47,8 \cdot 6 = 286,8 \text{ м}^2.$$

### 5.6. Розрахунок вентиляційної системи і вибір вентилятора

У сушильній техніці застосовують радіальні (відцентрові) і осьові вентилятори.

Осьові вентилятори застосовують для створення повного тиску до 800 Па, Температура переміщуваного повітря  $t \leq 80$  °С.

Відцентрові вентилятори застосовують для створення повного тиску до 1000 Па (вентилятори низького тиску). 3000 Па (вентилятори середнього тиску), від 3000 до 12 000 Па (вентилятори високого тиску).

Вентилятор для сушильної установки вибирають у залежності від максимального обсягу переміщуваного повітря  $V$  (в м<sup>3</sup>/год) і необхідного тиску  $H$  (в Па), що повинен долати опір усієї системи і забезпечити переміщення повітря з заданою швидкістю.

Повний тиск  $H$  розраховують по формулі

$$H = \Delta S + h_{\text{дин}} \quad (4.6.1)$$

де  $\Delta S$  - статичний тиск, необхідний для подолання гідравлічного опору системи, Па;  $h_{\text{дин}}$  - динамічний (чи швидкісний) тиск, необхідний для створення необхідної швидкості на виході із системи, Па.

$$h_{\text{дин}} = \gamma v_B^2 / (2g) = 12,93 \cdot 11^2 / (2 \cdot 9,81) = 79,8 \quad (4.6.2)$$

де  $\gamma$  - питома вага повітря, Н/м<sup>3</sup>;

$v_B$  - середня швидкість повітря, м/с;

$g$  - прискорення вільного падіння ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ).

Гідравлічний опір системи

$$\Delta S = \sum R + \sum z + \Delta S_{\text{кал}} + \Delta S_{\text{с.к}} \quad (4.6.3)$$

де  $\sum R$  - сума опорів тертя у повітроводах;

$\sum z$  - сума місцевих опорів (повороти, вхід у трубу, вихід і т.п.);

$\Delta S_{КАЛ}$  - опір повітряного тракту в калорифері;

$\Delta S_{С.К}$  - опір руху газу при обтіканні матеріалу в сушильній камері.

Опір тертя у повітроводах визначається по формулі

$$\sum R = \sum [f(l/d)\gamma v^2 / 2g] \quad (4.6.4)$$

де  $f$  - коефіцієнт опору тертя, що залежить від значення критерія  $Re$ ;

$l$  - довжина повітроводу;

$d$  - діаметр повітроводу.

Для полегшення розрахунків складені спеціальні номограми і таблиці, по яких знаходять  $R_1$  (опір 1 м труби) і швидкісний напір  $\gamma v^2 / 2g$  у залежності від кількості повітря (в м<sup>3</sup>/год) і діаметра повітроводу ( $d$ ) ( $v$  - середня швидкість повітря на ділянці труби, що розраховується). Для повітроводу прямокутного перетину ( $a \times b$ ) у розрахунок вводять еквівалентний діаметр

$$d_{ЕКВ} = 2ab / (a + b) \quad (4.6.5)$$

Тоді для ділянки повітроводу 1:  $d_{ЕКВ} = 2 \cdot 1,25 \cdot 0,25 / (1,25 + 0,25) = 0,42$  м

для ділянок повітроводу 1, 2:  $d_{ЕКВ} = 2 \cdot 1,25 \cdot 0,6 / (1,25 + 0,6) = 0,81$  м

Сума опорів тертя в повітроводах

$$\sum R = \sum R_1 l = 2,8 \cdot 2,25 + 1,9 \cdot 8,5 + 1,9 \cdot 2,5 = 27,2 \quad (4.6.6)$$

де  $l$  - довжина ділянки, що розраховується.

Втрати напору на місцеві опори розраховують по формулі

$$\sum z = \sum (\xi \gamma v^2 / 2g) \quad (4.6.7)$$

де  $\xi$  - коефіцієнт місцевого опору (береться по таблицях).

Значення  $\gamma v^2 / 2g$  беруться з таблиць для питомої ваги повітря при  $t=20^\circ\text{C}$ . Поправка  $\eta$  на зміну питомої ваги повітря залежить від температури.

Тоді

$$\sum z = \sum (\xi \gamma_{20^\circ} v^2 / 2g) \eta = (3,1 \cdot 1,293 \cdot 135,08 / 2 \cdot 9,81) 0,84 = 351,2$$

Опір калорифера залежить від його конструкції і швидкості повітря і може бути визначене по приведеним нижче формулах.

Опір проходу повітря (в Па) у калориферах, марки КФБО й інших типових моделей розраховується (для одного ряду калориферів) по формулі

$$\Delta S_{КАЛ} = A(v\rho)^n \quad (4.6.8)$$

де  $v\rho$ - масова швидкість повітря в живому перетині калорифера, (кг/(м<sup>2</sup>·с)).

Значення коефіцієнтів  $A$  і  $n$  складають для калорифера КФБО- 4,3 і 1,94.

Тоді

$$\Delta S_{КАЛ} = 4,3(7,8)^{1,94} = 231,27$$

Для багатокалориферної установки опір визначається множенням опору одного калорифера на число послідовно з'єднаних калориферів.

$$\Delta S_{КАЛ.УСТ} = 231,27 \cdot 6 = 1387,66$$

Опір руху повітря, створюваний матеріалом у сушильній камері (тиск необхідний для досягнення стану “кипіння” шару цукру) приймаємо

$$\Delta S_{С.К} = 406 \text{ Па}$$

Гідравлічний опір всієї системи

$$\Delta S = 27,2 + 351,2 + 1387,66 + 406 = 2172,06$$

Повний тиск

$$H = 2172,06 + 79,8 = 2251,86 \text{ Па}$$

Потужність на валу двигуна (в кВт) розраховують по формулі

$$N = V_B H / (3600 \cdot 1000 \eta_B \eta_M \eta_{II}) = \frac{20000 \cdot 2251,86}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,65 \cdot 0,96 \cdot 0,95} = 23,4 \text{ кВт} \quad (4.6.9)$$

де  $\eta_B$ - гідравлічний ККД вентилятора (по аеродинамічній характеристиці);  $\eta_M$ - механічний ККД вентилятора, що враховує втрати на тертя в підшипниках, а також втрати на тертя диска колеса вентилятора об повітря;  $\eta_{II}$ - ККД передачі від електродвигуна до вентилятора.

Настановчу потужність приймають із запасом на 10-15%.

Відцентровий вентилятор підбираємо по індивідуальних аеродинамічних характеристиках.

По продуктивності вентилятора і повному тиску вибираємо номер вентилятора, що має при заданих умовах найбільший ККД.

Вентилятор ВДН-10 (електродвигун ВАО-72-4; N=30 кВт; n=1460 об/хв).

### 5.7. Розрахунок скрубера

Якщо для уловлювання пилу і використання тепла застосовується вода, що далі може бути використана на технологічні потреби виробництва, то скруберний процес повинен супроводжуватися конденсацією пару води з відпрацьованого газу. Це дозволяє повніше використовувати тепло відпрацьованого вологого газу після сушарки.

Діаметр скрубера  $D_{СК}$  визначається з розрахунку швидкості газів у верхній частині його по формулі:

$$D_{СК} = \sqrt{\frac{4Lv_0}{\pi u_r}} \quad (4.7.1)$$

де  $L$  - кількість газів, кг/с;

$v_0$  - об'єм вологого газу, віднесений до 1 кг сухого газу, м<sup>3</sup>/кг;

$u_r$  - швидкість газів у скрубери, м/с:

Швидкість газів для пустотілих скруберів приймають такою, щоб з апарату не виносилися краплі розчину чи рідини. Віднесення рідини швидко зростає зі збільшенням швидкості газів у скрубери.

Швидкість газів у скрубери, м/с    0,5   1,0   1,5   2,0   2,5   3,0

Віднесення рідини з скрубера, %   0,3   0,8   1,5   3,2   6,0   10,0

З цих даних видно, що при грубому розпилі швидкість газів у скрубери може бути прийнята до 1 м/с.

Тоді

$$D_{CK} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8967 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,6}} = 1,44 \text{ м}$$

Приймаємо  $D_{CK} = 1450 \text{ мм}$ .

Об'єм скрубера приймаємо враховуючи витрати тепла на нагрівання і випаровування рідини і об'ємний коефіцієнт теплообміну  $\alpha_v$  (в ккал/(м<sup>3</sup>·год·град)).

Об'ємний коефіцієнт теплообміну залежить від дисперсності розпилу, щільності зрошення, швидкості газів і т.д.

$$\alpha_v = 8,9B^{0,366}(\gamma)^{0,6} \text{ ккал/(м}^3\text{·год·град)} \quad (4.7.2)$$

де  $(\gamma)$ - швидкість газів, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$B$  - щільність зрошення, кг/(м<sup>2</sup>·год).

З залежності об'ємного коефіцієнта теплообміну від щільності зрошення ( $B = 500 \text{ кг/(м}^2\text{·год)}$ ) знаходимо співвідношення  $\frac{\alpha_v}{(\gamma)^{0,6}} = 72$ .

Об'єм скрубера приймаєм  $V_{CK} = 6,6 \text{ м}^3$ .

Робоча висота скрубера  $H_p$  визначається по його об'єму  $V_{CK}$  (в м<sup>3</sup>) і діаметру  $D_{CK}$  (в м):

$$H_p = \frac{4V_{ck}}{\pi D_{CK}^2} = \frac{4 \cdot 6,6}{3,14 \cdot 1,45^2} = 3,9 \text{ м} \quad (4.7.3)$$

Приймаємо  $H_p = 4 \text{ м}$ .

Робоча висота скрубера - відстань між місцем введення газів і верхнім рядом форсунок.

Висота циліндричної частини скрубера дорівнює:

$$H = H_p + (1,5 - 2,5) = 4 + 2 = 6 \text{ м} \quad (4.7.4)$$

Кількість рідини, що розпилюється, складає:

$$G_p = BF_{CK} \text{ кг/год} \quad (4.7.5)$$

де  $F_{CK}$  - перетин скрубера, м<sup>2</sup>.

$$F_{CK} = \frac{\pi D_{CK}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,45^2}{4} = 1,65 \text{ м}^2 \quad (4.7.6)$$

Тоді

#### **4.2. Підбір конструкційних матеріалів**

Вибір матеріалів, які використовуються в харчовому машинобудуванні при виготовленні апаратів даного типу обумовлений наступними основними факторами:

- допустимістю безпечного контакту з харчовими продуктами;
- вимогами до надійності та довговічності устаткування;
- економічною доцільністю застосування;

При проектуванні апаратів та машин харчового машинобудування ці завдання виконуються шляхом застосування таких конструкційних матеріалів, що дозволені для контакту з харчовими продуктами, використання більш дешевих матеріалів, які відповідають конструкційним вимогам, а також поєднанням таких пар конструкційних матеріалів, які забезпечують найменше зношувань поверхонь тертя з можливих.

Вихід деталей і вузлів з ладу в результаті зношування можуть призвести до простою обладнання, що являється негативним наслідком.

Довговічність апарату, головним чином, визначається зносостійкістю деталей, тому основним шляхом збільшення надійності роботи апарата та терміну служби є підвищення зносостійкості поверхонь тертя деталей. По мірі зношення деталей збільшуються зазори в парах тертя, виникає вібрація, порушується нормальна робота апарата, ударні впливи на поверхні деталей.

Для правильного вибору конструкційних матеріалів, перш за все, з'ясовують характер навантаження на елементи конструкції, а також умови середовища, в яких ці елементи працюють. Характер навантажень, в яких перебувають конструкційні елементи похилого дифузійного апарату, в основному, зумовлений силами згину, тертя і кручення.

Матеріали корпусу і всієї транспортної системи піддаються абразивному, механічному і корозійному зносу.

Проаналізуємо вплив різних факторів, з огляду на це, на роботу основних вузлів і деталей сушарки для визначення матеріалу, який необхідно застосувати та його марки. Важливе значення для такого вибору є також економічні фактори (коштовність матеріалу, вимоги довговічності, дизайну, фінансові можливості замовника, екології і т. ін.).

Виділимо основні одиниці конструкції: корпус сушарки і її елементи (ребра жорсткості, стійки), трубовал, приводні зірочки, завантажувальний бункер, розвантажувальний, приводний ланцюг, втулки проміжних підшипників (вкладиші).

Корпус виготовляють з сталі звичайної якості Ст3 ДСТУ 2651:2005. В головній частині корпусу можлива обробка спеціальними покриттям для зменшення абразивного і корозійного зносу.

Секції трубовалу – сталі безшовні гарячекатані труби ДСТУ 3667-97. Основне навантаження – це згин і кручення. З такого ж матеріалу виготовляють і стійки елементів транспортуючого шнеку. Вони працюють на згин і схильні до абразивного і корозійного зносу.

Ребра жорсткості і стрічки виготовлені з полосової сталі ДСТУ 4747:2007.

Транспортування сировини - основна функція стрічок, тому вплив на них корозійного і абразивного зносу достатньо значний. Ребра жорсткості встановлюють з того ж матеріалу ДСТУ 4747:2007.

Завантажувальний бункер і розвантажувальний пристрій як правило виготовляють з листової конструкційної гарячекатаної сталі ДСТУ 4747:2007.

Матеріал приводних зірочок – Сталь 30Л.

Для приводних ланцюгів застосовують конструкційну леговану сталь марки 30ХГСА з термообробкою.

Вкладиші (втулки проміжних підшипників) можливо виготовити з БрОЦ10-2 ДСТУ 2776-94, але останнім часом застосовують більш сучасний полімерний матеріал капролон (полиамид 6 блочный, ПА 6 ТУ 6-05-998-93), який майже вдвічі перевищує показники бронзи за своїми характеристиками. Поліамід 6 випускається двох марок:

Капролон А використовується у виробництві відповідальних деталей в авіабудуванні.

Капролон Б знаходить застосування під час виробництва конструкційних деталей у машинобудуванні, приладобудуванні.

Робоча температура знаходиться в діапазоні  $-40...+70$  °С. Короткочасна експлуатація можлива при температурі від  $-60$  до  $+120$  °С. Капролон відноситься до горючих матеріалів з температурою займання  $+395$  градусів за Цельсієм та температурою самозаймання  $+440$  °С. При температурі понад  $+300$  °С поліамід 6 починає розкладатися.

Решта деталей і одиниць підбирають згідно каталогів (двигуни, редуктори); для опор, постаменту, огорож і т. ін. застосовуємо фасонний прокат (двотаврові балки, кутники, швелери); штуцери, деталікріплення підбирають за відповідними каталогами.

### **4.3. Технологія машинобудування**

Розроблення схеми складання та технологічного маршруту складання запобіжної муфти встановленої на валу ведучої зірочки барабанної сушарки

В якості складальної одиниці було обрано запобіжну муфту на валу ведучої зірочки, який у свою чергу встановлений у барабанній сушарці цукру-піску. Для детального огляду складових частин вузла, представимо його ескіз на рис.4.1 та вкажемо комплектацію вузла (у вигляді подетального складу) за допомогою таблиці 1.

Запобіжна муфта – це самокерована муфта, яка призначена для роз'єднання валів або валу з деталлю, що встановлена на ньому, при недопустимому збільшенні крутного моменту, що передається

(перевантаженні) або швидкості обертання, тобто оберігає привод барабанної сушарки від поломки в разі порушення нормального режиму роботи.

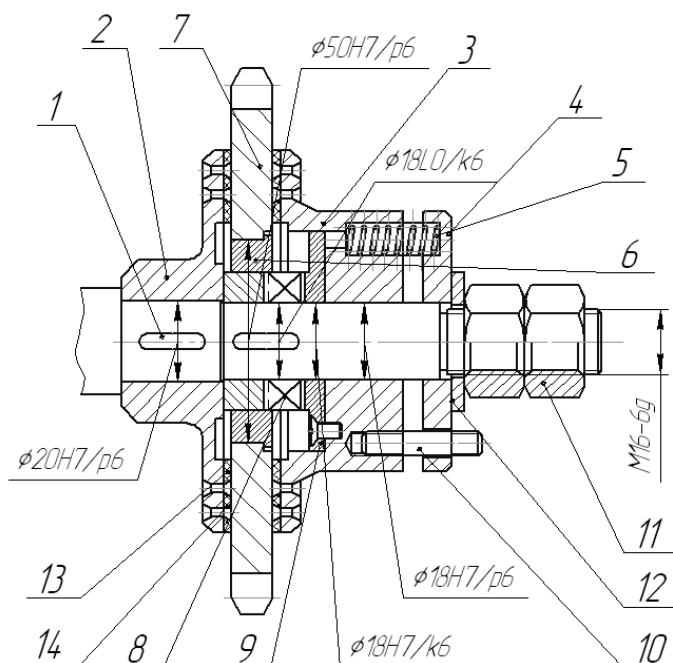


Рисунок 4.1 - Запобіжна муфта (складальне креслення)

Таблиця 4.1 - Комплектація вузла

Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1	Шпонка	2
2	Полумуфта	1
3	Полумуфта	1
4	Кришка	1
5	Пружина	1
6	Втулка	1
7	Зірочка	1
8	Кулачки	1
9	Втулка	1
10	Штіфт	1
11	Гайка	2
12	Шайба	1
13	Накладка	2

З аналізу конструкції вузла (рис.1) необхідно виділити складальні одиниці 1-го порядку, а саме вузли: Ск.1, Ск.2, Ск.3, Ск.4, а також стандартні деталі – болти 6, гайки 7. Схема складання приводного вала представлена діаграмою на рис. 2.

Вертикальні лінії зі стрілками показують послідовність складання окремих складальних одиниць, а горизонтальна лінія в центрі схеми – послідовність з'єднання складальних одиниць 1-го порядку. У прямокутниках розміщені найменування деталей і номери їхніх позицій на кресленні. Застосовані також умовні позначення, що містять технологічні вказівки: Вр. – складання на верстаті; Вив. – вивірка; Конт. – контроль; Вип. – випробування. Технологічний маршрут складання запобіжної муфти полягає у описанні короткого змісту операцій з переходами (таблиця 2).

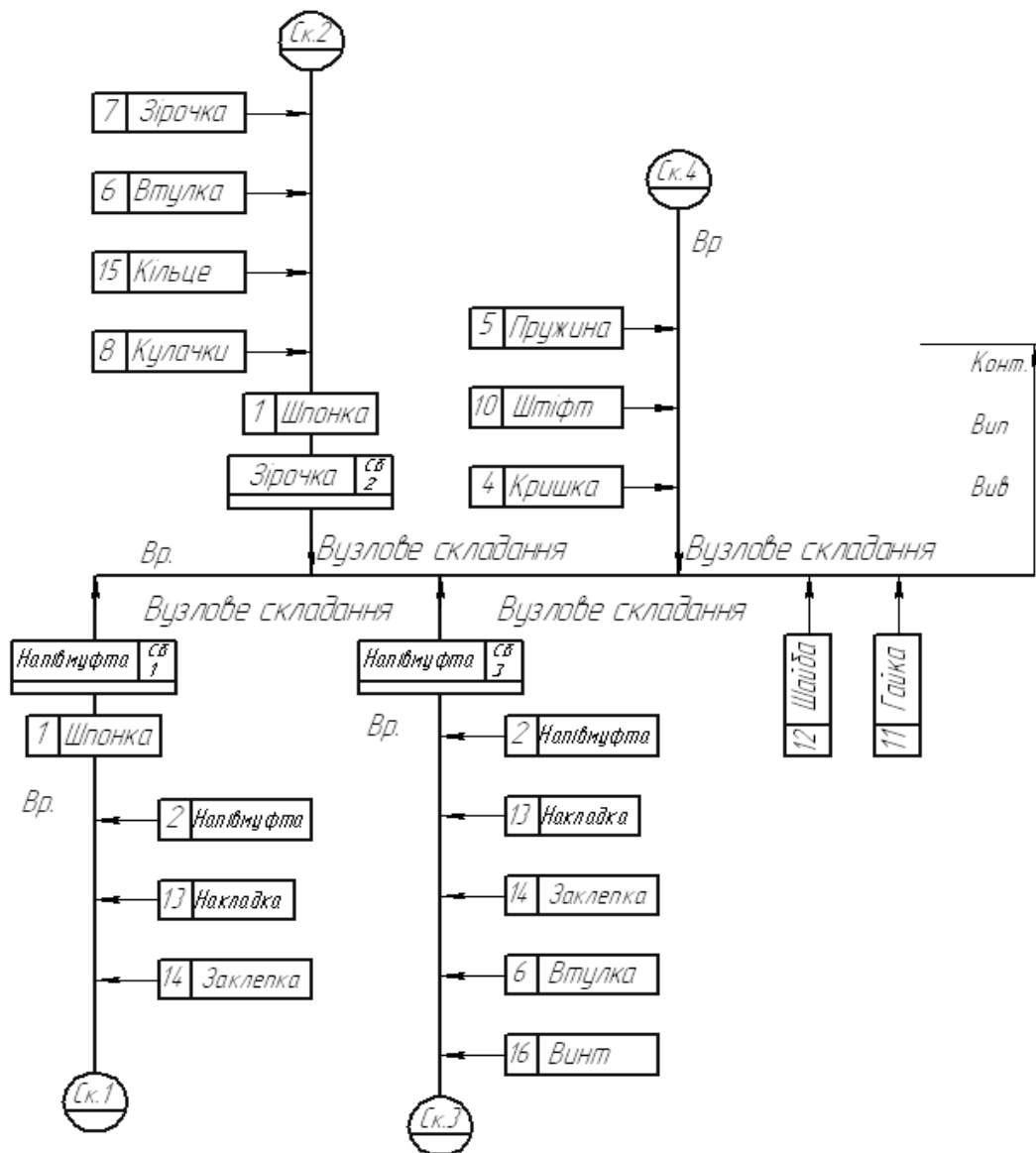


Рисунок 4.2 - Технологічна схема складання запобіжної муфти

Таблиця 4.2 - Технологічний маршрут складання запобіжної муфти

№ операції	№ переходу, зміст переходу
10 Ск. 1	10.1 Закріплення напівмуфти на верстаті. 10.2 Напресувати накладки на напівмуфту. 10.3 Закріпити заклепками накладки. 10.4 Встановити шпонку на паз вала. 10.5 Напресувати напівмуфту на шпонку за допомогою преса.
20 Ск. 2	20.1 Складання зірочки. 20.2 Напресувати втулку на зірочку за допомогою преса. 20.3 Встановити кільце. 20.4 Запресувати кулачки у втулку за допомогою преса.

	20.5 Встановити шпонку в паз вала. 20.3 Напресувати зірочку на шпонку за допомогою преса.
30 Ск. 3	30.1 Закріплення напівмуфти на верстаті. 30.2 Напресувати накладки на напівмуфту. 30.3 Закріпити заклепками накладки. 30.4 Напресувати втулку на напівмуфту за допомогою преса. 30.5 Закріпити втулку винтом. 30.6 Напресувати напівмуфту на вал за допомогою преса.
40 Ск. 4	40.1 Встановити пружини. 40.2 Встановити штіфти. 40.3 Встановити кришку.
50 Встановлення валу	50.1 Встановити шайбу на вал. 50.2 Нагвинтити гайки на вал та затягнути за допомогою гайкового ключа.
60 Контрольна	60.1 Проконтролювати точність зборки валу.
70 Випробувальна	70.1 Випробувати роботу валу при максимальних навантаженнях.

#### **4.4. Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання**

##### **Вимоги до ремонту**

Барабанна багатотрубна сушарка призначена для теплової обробки різноманітних продуктів. Барабанна сушарка встановлюються з нахилом для можливості транспортування твердого матеріалу. Частина вузлів сушарки не може бути замінена за допомогою існуючих самохідних монтажних кранів із-за недостатньої їх вантажопідйомності і довжини стріли кранів. Це призводить до необхідності застосування при ремонтах барабанних сушарок різних такелажних пристосувань, щогл, порталів і т. д. В той же час застосування кранів замість щогл і порталів дозволяє підвищити продуктивність праці в 3-4 рази при одночасному значному скороченні термінів ремонту.

Для визначення дійсного стану агрегату необхідно проводити виміри експлуатаційних параметрів вузлів і деталей барабанної сушарки в її

гарячому стані, що зв'язано з рядом труднощів. Ретельне обстеження усіх вузлів і деталей барабанної сушарки перед зупинкою її на ремонт дозволяє визначити експлуатаційний стан агрегатів, який служить основою для складання відомості дефектів.

При виконанні ремонту сушарок, що обертаються, обов'язкове застосування вузлового методу виробництва робіт. Цей метод передбачає заміну усіх зношених вузлів заздалегідь підготовленими новими або відремонтованими. Вузловий метод вимагає чіткого проведення організаційних заходів і підготовчих робіт, що включають складання номенклатури взаємозамінних вузлів і комплектів деталей по видах устаткування, а також перевірку придатності підготовлених до заміни вузлів і деталей.

При підготовці до ремонту проводяться наступні роботи:

- 1) готуються під'їзні шляхи і засоби доставки вузлів;
- 2) встановлюються вантажопідйомні пристрої, що підтримують;
- 3) виконується укрупнена зборка вузлів. Підготовчі роботи дозволяють зменшити тривалість капітального ремонту і провести його протягом 18-28 діб.

Перед здачею в ремонт з барабанної сушарки необхідно видалити продукт сушіння, ретельно очистити що усі підлягають ремонту і розбиранню вузли. Під час ревізії агрегатів перевіряється стан деталей і вузлів для уточнення відомості дефектів.

Найбільш часто ремонттованими вузлами барабанної сушарки є корпус, бандажі, опори, привід, транспортуючі і живлячі механізми, вентилятори і димососи, теплообмінні пристрої, холодильники, маслосистеми, системи водяного охолодження, аспіраційні пристрої, корпус.

Усередині блоку зубчастого вінця встановлюються стійки приладів 2 в гайки 7, які приварюються до корпусу на рівних відстанях (5/2) від осі кріплення вінця на блоці. За допомогою штихмаса 3 визначається вісь обертання блоку. У восьми точках дотику штихмаса з корпусом сушарки

просвердлюють отвори 4 діаметром 18 мм. Потім через отвори пропускається штихмас до зіткнення з перевіркою металевою лінійкою 5, яка встановлюється по вершині зуба, і по діленнях штихмаса визначаються відхилення від номінального розміру, рівного радіусу вінця по вершині зуба. По цих відхиленнях підраховуються значення розмірів  $A_1 - A_4$  в чотирьох положеннях з кожного боку зубчастого вінця. При точному центруванні вінця на корпусі печі, що обертається, усі значення  $A$  мають бути однаковими.

Якщо значення  $A$  різні, то підраховуються радіальне і осеві биття в горизонтальній і вертикальній площинах і потім знаходиться середнє значення. Конструкція кріплення (рис.4.3) зубчастого вінця до корпусу гранулятора-сушарки, що обертається, така, що центрування його можливе.

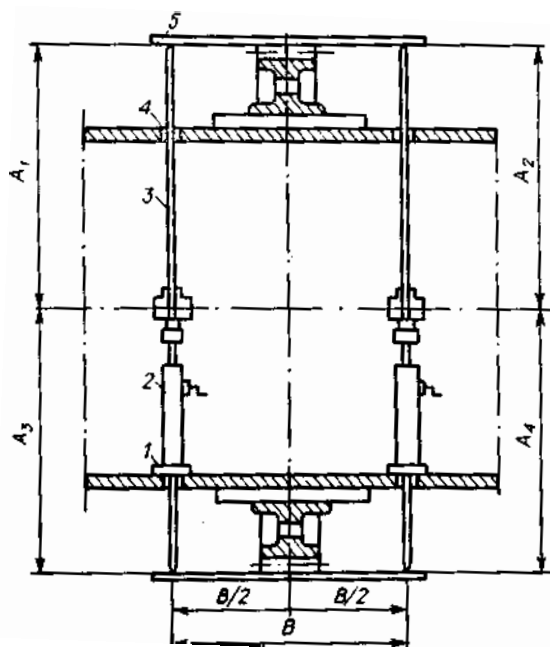


Рисунок 4.3 - Центрування зубчастого вінця без повороту печі, що обертається, :

1 - гайка; 2 - стійка приладів; 3 - штихмас; 4 - отвір; 5 - лінійка.

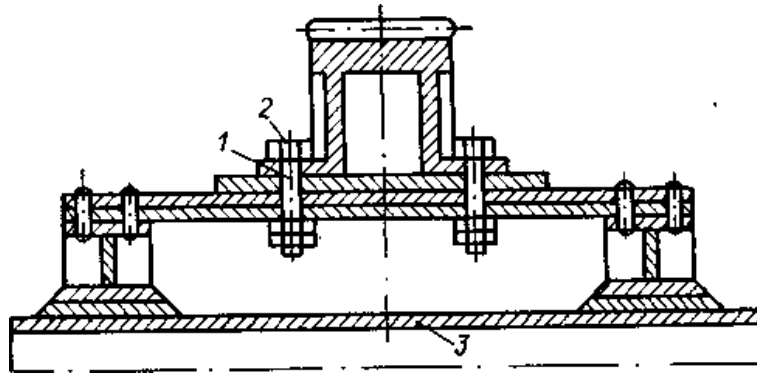


Рисунок 4.4 - Кріплення зубчастого вінця :

1 - отвір; 2 - болт; 3 - корпус гранулятора-сушарки.

### **Підготовка до монтажу**

Перед початком монтажу перевірити фундамент на відповідність розмірів габаритам опорних частин сушарки. Фундамент має бути виконаний на повну проектну відмітку і здаватися під монтаж з вирівняною і вивіреною поверхнею. Монтажний майданчик має бути обладнаний необхідними вантажопідіймальними і транспортерними механізмами. Розвантаження і транспортування виробу повинні вироблятися способами, що виключають ушкодження виробу. Строповку виробляти згідно схем строповки . Монтаж електроустаткування і систем автоматики і управління повинен задовольняти діючим правилам пристрою монтажу електротехнічних установок

Безпосередньо перед монтажем здійснити:

- розпакування і розконсервацію виробів;
- перевірку комплектності постачання;
- огляд з метою виявлення ушкоджень, які могли виникнути при транспортуванні;
- перевірку міцності затягування відповідальних болтових з'єднань.

Монтаж:

Монтаж сушарки виробляти поставними блоками відповідно до вимог креслень - технічного паспорта. На підготовлений фундамент жорстко закріпити, заздалегідь вивіривши в горизонтальній площині, приводну

станцію, привід транспортерної стрічки і привід шнека. На підготовленому фундаменті виробляється зборка підкладок : встановити підкладки строго по рівню і жорстко закріпити.

Монтаж калорифера з вентилятором:

- на підготовлений фундамент встановити і жорстко закріпити калорифер і вентилятор з приводом.

- змонтувати лінію повітропроводу і газопроводу;

### **Підготовка сушарки до роботи**

перевірити:

- наявність мастила в редукторах, варіаторах, підшипникових вузлах;

- легкість обертання без зачіпання робочих коліс відцентрових вентиляторів від руки;

- наявність обгороджувань і кріплень їх на повну кількість кріпильних деталей;

- надійність замикання усіх дверей;

- наявність електроенергії і стислого повітря.

Відрегулювати шиберами припливної і витяжної вентиляції кількість повітря, що видаляється, в сушарці.

Відрегулювати положення заслінок штуцерів подачі і відведення повітря в кожній проміжній секції.

Відрегулювати положення розвантажувального шнека.

Для усунення провисання пасів приводів необхідно виробити їх натягнення за допомогою натягачів. Обкатати на неодруженому ході усе механізму сушарки протягом 2 годин. При цьому не повинно спостерігатися зачіпання рухомих деталей і нагріву підшипникових вузлів.

## 5. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ

### *Обґрунтування автоматизації*

З центрифуг виходить цукор-пісок з вмістом вологи до 1,5%. Такий цукор необхідно сушити для уникнення в ньому комкування, а під час транспортування вологі кристали легко пошкоджуються. Тому цукор-пісок висушують до вмісту вологи 0,14% при зберіганні в мішках і до 0,04% при зберіганні в силосах, а потім охолоджують до температури 22 - 25°C.

Для того, щоб кристали вологого цукру-піску менше пошкоджувались під час транспортування від центрифуг до апарату використовують вібротранспортер на катках 1. з вібротранспортера цукор-пісок з температурою 40 - 45°C надходить до елеватора 2, який вивантажує в апарат цукор-пісок.

Вологий цукор надходить в сушильну камеру, де висушується і переміщується до охолоджувальної камери. Охолоджений цукор-пісок направляєється на пакування, а повітря відсмоктується вентилятором і направляєється в циклон пилевловлювач, де вивільнюється від цукрового пилу і видаляється в атмосферу.

### **5.1. Параметри схеми окремих агрегатів**

Параметри схеми окремих ділянок автоматизації зображено на рис. 1 де позначено:

$G_{\text{вт.парі}}$  – витрати вхідної пари на підігрівач;

$G_{\text{гар.парі}}$  - витрати гарячого повітря на апараті;

$T_{\text{хол.пов}}$  – температура холодного повітря, що йде в сушарку;

$T_{\text{гар.пов}}$  - температура гарячого повітря, що йде в сушарку;

$T_{\text{нав.сер}}$  – температура навколишнього середовища;

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олішевський В.В.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько ВІ.	<i>Назва, додаткова назва</i> <i>Принципи автоматизованого</i> <i>управління об'єктом проектування</i>	<b>221874.KP.20.005 ПЗ</b>				
	<i>Документ затверджено</i> Явчук ІВ		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/7	

$T_{\text{вх.пов}}$  - температура повітря, що надходить на нагрівання в підігрівач;

$T_{\text{пов}}$  - температура повітря, що виходить з підігрівача;

$T_{\text{ц}}$  – температура цукру-піску, що виходить з сушарки;

$W_{\text{ц}}$  – вологість цукру-піску на виході з сушарки;

$P_{\text{хол.пов}}$  – тиск холодного повітря, що йде в сушарку;

$P_{\text{пари}}$  – тиск пари, що подається на підігрівач.

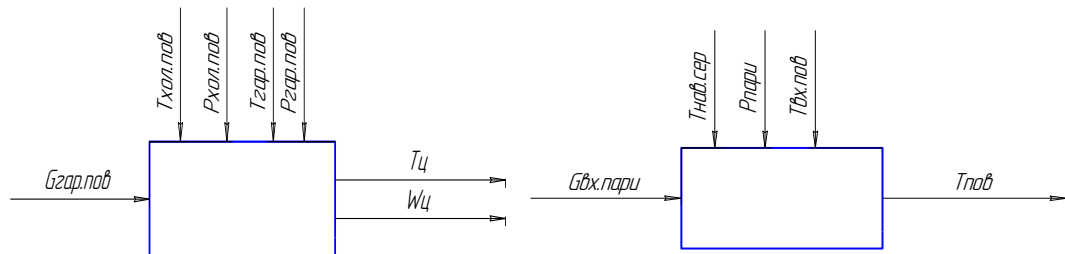


Рисунок 5.1. Параметрична схема об'єкту і а – сушильно-охолоджувальний апарат; б – підігрівач (колорифер).

## 5.2. Завдання на розробку системи

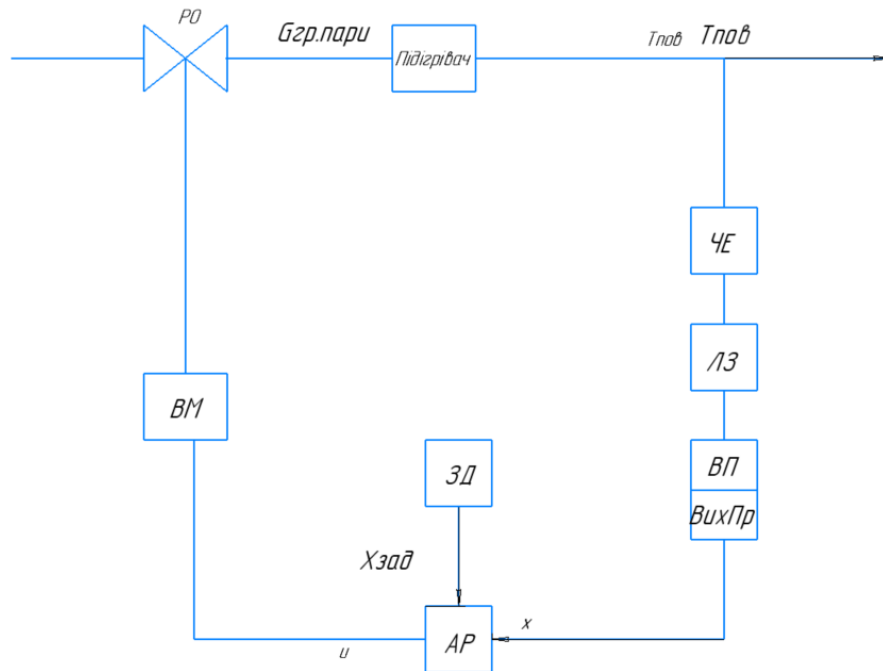
Таблиця 5.1

Машина, агрегат, апарат, трубопровід	Параметр	Припустимі значення параметрів з допустимим відхиленням	Вид автомату	Характер контролю або регулювання	Додаткові умови
1	2	3	4	5	6
Підігрівач	Температура	$115 \pm 5^\circ\text{C}$	Контроль	покази	реєстрація
			Регулювання	стабілізація	Дія на клапан подачі пари
	Витрати гріючої пари	номінальна	Контроль	покази	
			Регулювання	стабілізація	Дія на

					клапан пари
	Тиск гріючої пари	300±10Па	Контроль	покази	
			Регулювання	сигналізація	світлова
Транспортування мокрого цукру	Маса мокрого цукру	500±5 т/добу	Контроль	покази	Дія на рег.
			Регулювання	стабілізація	Шв-ті трансп-ння
	Волгість могого цукру	1,5±0,2%	Контроль	покази	Дія на рег.
			Регулювання	стабілізація	Обертів вентилятора
Барабанна сушарка	Волгість цукру на виході	0,14±0,01%	Контроль	покази	
Трубопровід холодного повітря	Температура	20±2°С	Контроль	покази	
	тиск	1846±1Па	Контроль	сигналізація	світлова
Температура повітря, що відсмоктується	тиск	180±5Па	Контроль	покази	
				сигналізація	світлова
Трубопровід гарячого повітря	тиск	1373±2Па	Контроль	покази	
				сигналізація	світлова

### 5.3. Обґрунтування і вибір технічних засобів вимірювання і регулювання

Структурна схема має вигляд:



де:

ЧЕ – чутливий елемент;

ЛЗ – лінії зв'язку;

ВП – вторинний прилад;

Вих.Пр – вихідний параметр;

ЗД – задавач;

ВМ – виконавчий механізм;

РО – регулюючий орган.

Температура повітря після підігрівача вимірюється чутливим елементом, сигнал від якого по лініям зв'язку передається на вторинний прилад, який в свою чергу перетворює цей сигнал і направляє  $x$  на автоматичний регулятор. На автоматичний регулятор надходить також сигнал заданого значення  $X_{зд}$  із задавача. Далі в автоматичному регуляторі  $X_{зд}$  задане значення порівнюється з  $X$  вимірним, при наявності розугодження ( $X_{зд} - X \neq 0$ ) автоматичним регулятором видається керуюча дія  $U$ , яка надходить на виконавчий механізм який в свою чергу зв'язаний з регулюючим органом клапаном подачі гріючої пари в підігрівач. В залежності від сигналу клапан більше чи менше відкривається.

## 5.4. Специфікація засобів автоматизації, вибраних для реалізації розробленої системи управління

Таблиця 5.2

№	Параметр середовища	Значення параметра	Місце установа	Назва і техн. Характеристика засобів авт-ції	Тиск	Кількість
1	2	3	4	5	6	7
1а, 6а	Температура	115±5°C	Трубопровід гарячого повітря, холодого	Термоперетворювач опору (шкала- 1-150°C)	ТСП-08-7901	2
1б	Температура		На щиті	Показуючий і реєстр. прилад	ДИСК-250	1
1в	Температура		На щиті	Електро-пневматичний перетворювач	ЕП-0010	3
1г	Температура		На щиті	Байпасна панель	БПДУ	3
3	Тиск	300кПа	трубопр.гр. пари на підігр. Гар. I хол. Пов-ря	Електро-контактний манометр, Шкала(1-500кПа)	ЕКМ-1У	3
3а	Витрата	номінал	Трубопр.гр. пари на підігр.	Діафрагма	ДКС	1
3б	Витрата		Трубопр.гр. пари на підігр.	Діфмакометр	САПФІР-22ДР	1
3в	Витрата		На щиті	Показуючий прилад	КСУ-2	1
4а, 4б	Маса	20±2т/д	Транспортер мокрого цукру	Дозатор перервної дії	ДН-21С	
4в, 4г, 4г, 4е			На щиті	Електричний регулятор	РС-291	2

6б	Температура		На щиті	Логометр	Ш-69001	1
8а, 8б	Вологість	1,5±0,2%	Транспортер мокрого цукру	Вологомір сипучих матеріалів 0...20%	ВСМ-1	1
10, 9в	Тиск	180±5Па	Трубопровід повітря, що всмоктується	Електроконтактний вакуум-метр, Шкала(1-300Па)	ЕКВ	1
16 20	Положення клапана			Мембранний виконавчий механізм	МИМ	3

На трубопроводі гарячого повітря на сушильну камеру за допомогою термоперетворювача опору 1а вимірюється температура гарячого повітря, сигнал з нього надходить на показуючий і реєструючий прилад 1б і через електро-пневматичний перетворювач 1в і байпасну панель 1г здійснюється управляюча дія на клапан 1г на трубопровід подачі гарячої пари на підігрівач повітря перед апаратом.

На цьому ж трубопроводі вимірюється тиск гарячого повітря за допомогою електронного манометра 5 і відбувається індикація сигналізація тиску в трубопроводі.

Витрата гріючої пари на підігрівач вимірюється на трубопроводі чутливим елементом 3а, сигналізується 3б і виводиться на показуючий пристрій на щиту 3в, тиск в трубопроводі сигналізує прилад 2.

Мокрий цукор в апарат подається за допомогою елеватора і тут же на тракті подачі цукор зважується чутливим елементом 4а, сигналізується 4б і сигнал подається на реєструючий прилад 4в, а далі на контролюючий прилад 4г і через електропневматичний перетворювач 4г і байпасну панель 4е здійснюється керуюча дія на регулятор швидкості руху елеватора.

На цьому ж транспортері вимірюється і вологість мокрому цукру за допомогою вологоміра сипучих матеріалів 8а,8б і реєструється на щиті показуючим і реєструючим приладом 8в. Далі сигнал подається на контролюючий пристрій 8г (електричний регулятор) і через електро-

пневматичний перетворювач 8g і байпасну панель 8e здійснюється регулююча дія на регуляторі 8ж обертів відсмоктуючого вентилятора повітря з сушарки.

Перед сушильним апаратом в трубопроводі холодного повітря здійснюється автоматичний контроль тиску і температури холодного повітря. Тиск тільки індикуюється електроконтактним манометром 7 і сигналізується (тобтовизначається наявність чи відсутність тиску в трубопроводі). Температура ж вимірюється термоперетворювачем опору ба і реєструється (одержуються покази) на логометрі 6б.

Після сушильного апарату вимірюється вологість висушеного цукру на вологомірі 9а,9б і реєструється на щиті показуючим і реєструючим приладом 9в. А також перевіряється наявність тиску у трубопроводі відсмоктуваного повітря електроконтактним вакуум-метром 10 і сигналізується за допомогою лампочки НЛ.

## 6. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

### 6.1. Охорона праці

14 жовтня 1992 року Верховною Радою України був прийнятий закон "Про охорону праці". Він призначений забезпечити життя та здоров'я людини перед будь-якими результатами виробничої діяльності, соціальний захист людини, відшкодування шкоди, заподіяної здоров'ю та ін.

На основі закону було введено ряд поправок, зокрема № 2185-VI (2185-17) від 13.05.2010 ВВР, 2010, N 28, ст.353, N 2562-VI (2562-17) від 23.09.2010, ВВР, 2011, N 6, ст.47 та N 3038-VI (3038-17) від 17.02.2011, ВВР, 2011, N 34, ст.343, які стосуються права працівників на охорону праці.

Законом України "Про охорону праці" (2694-12), згідно з пунктом 3.1 ДНАОП 0.00-4.14-94 від 7 квітня 1998 р з метою забезпечення єдиного системного і комплексного підходу до розробки, затвердження і розповсюдженні інструкцій з охорони праці та підвищення ефективності їх застосування на підприємствах.

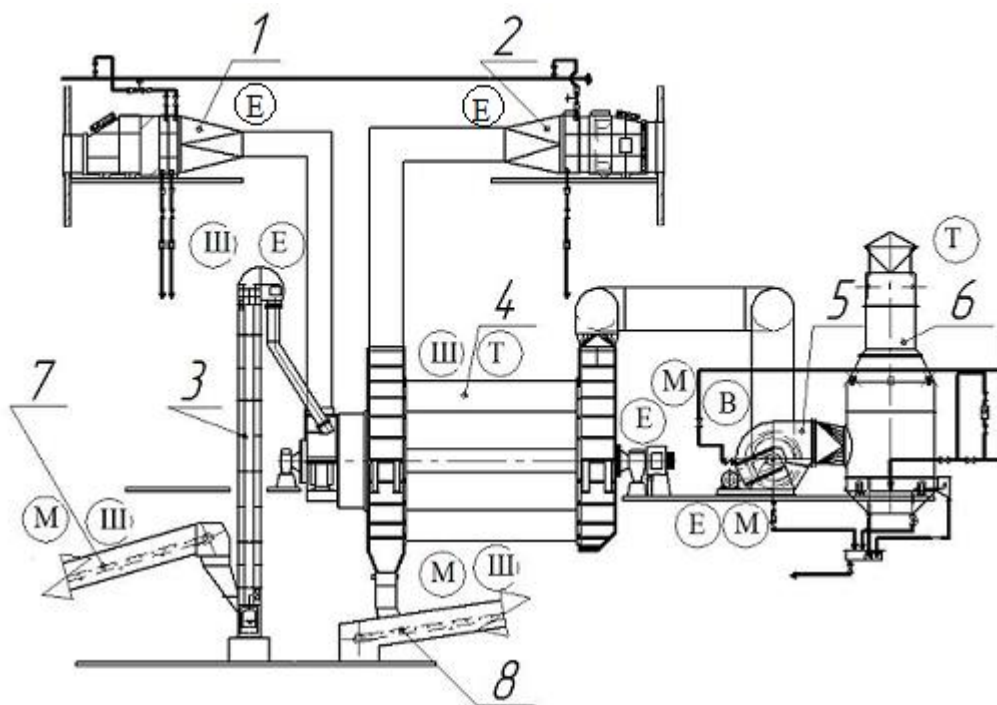
#### Служба охорони праці

Служба охорони праці виконує свої функції під керівництвом директора харчового підприємства.

Служба охорони праці підприємства працює в тісному контакті з комісією охорони праці профкому, технічним інспектором праці, органами державного нагляду. Свою роботу вона веде по планам, складеним на рік і квартали і затвердженим директором підприємства. Однією з її найважливіших обов'язків являється управління роботою по підготовці разом з колективом підприємства комплексного плану покращення умов охорони праці і санітарно-оздоровчих заходів, яка є компонентною частиною плану соціального розвитку підприємства.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олшевський В	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько ВІ.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ</b>	<b>221874.KP.20.006 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Язюк ІВ		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/10

Вона також активно приймає участь у підготовці положень по охороні праці, які обговорюється на зборах працюючого колективу, і кожен працюючий може внести в них зміни на покращення охорони праці в цеху, на дільниці і робочому місці.



1. Калорифер
2. Калорифер
3. Елеватор вологого цукру
4. Сушарка
5. Вентилятор
6. Скрубер
7. Конвеєр вологого цукру
8. Конвеєр сухого цукру

- Ш - шум;  
 В - вібрація;  
 Е - електробезпека;  
 Т - тепловиділення;  
 Г - газовиділення;  
 М - механічні травми.

Рисунок 6.1 – Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у цеху сушки цукру-піску

### Мікроклімат

Нормовані величини температур, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення відповідно до ГОСТ 121.005-

88 ССБТ „Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”.

Порівняємо допустимі та фактичні значення мікроклімату в цеху.

Таблиця 6.1

Професія – пакувальник харчової продукції				
Пора року	Параметри	Оптимальні норми	Допустимі норми	Фактичні значення
Холодна пора	температура	19...21	18...22	20
	відносна вологість	40...60	75	55
	швидкість повітря	0,1	Не більше 0,1	<0,1
Тепла пора	температура	20...22	18...24	21
	відносна вологість	40...60	65 при 28	50
	швидкість повітря	0,1	0,2	0,1

Всі параметри мікроклімату в цеху не виходять за допустимі межі.

### **Вентиляція**

В цеху висушування цукру діє загальнообмінна вентиляція, яка здійснюється природнім шляхом відповідно до ГОСТ 12.4.021-75. ССБТ «Системы вентиляционные. Общие требования». Для цього на даху будівлі встановлений аераційний ліхтар. Приточне повітря потрапляє у приміщення цеху через щілини у дверях, двері, коридори, вікна. Оскільки цех висушування цукру відноситься до вибухопожежонебезпечності категорії Б, сушильна установка працює під розрідженням.

### **Шум**

В дипломному проекті виникає такий шкідливий фактор, як шум створений як роботою механізмів їх приводів, вентилятора.

Цех у якому розташоване проектне обладнання належить до 2-го класу шумового режиму (згідно з ГОСТ 12.1.003-86). На підприємстві цукрової промисловості вимірювання шуму на робочих місцях повинні проводитися не рідше 1 раз на рік.

Заходи по зниженню шуму у сушильному відділені.

Для зниження шуму в промислових умовах на підприємстві цукрової промисловості можуть бути використані такі чотири методи: зменшення шуму в джерелі його виникнення; зміна напрямку випромінювання від джерела шуму; будівельно-акустичний; зменшення шуму на шляху його розповсюдження.

Зниження шуму в джерелі його виникнення найбільш раціонально. Наприклад у даному проекті: прямозубих шестерень - косозубими, підшипників кочення - підшипниками ковзання з використанням примусового змащування, чітке балансування обертальних елементів машин.

У випадках, коли зменшити шум до допустимої величини загально технічними заходами неможливо, застосовують засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). В харчовій промисловості рекомендується застосовувати наступні ЗІЗ: вкладиші протишумові з матеріалу ФПП-Ш "Беруши" для захисту від високочастотного шуму з рівнем до 100дБ; протишумові заглушки "Антифони"; каска протишумова ВЦНПОТ-2; навушники протишумові ПШ-00 і деякі інші.

### **Вібрація**

Збільшення потужностей та швидкостей переміщення за рахунок технічного переоснащення призводять до небажаних явищ, таких як вібрація. Вібрація не тільки погіршує самопочуття працюючих і знижує продуктивність праці, а й можуть призвести до серйозних патологічних змін організму людини. Комплексна механізація й автоматизація підприємства є радикальним способом позбавлення людини від шкідливого впливу вібрацій.

Нормування та вимірювання рівнів вібрації (згідно з ДСН 3.3.6.037-99).

Заходи по зниженню вібрації у сушильному відділенні:

Основою профілактики вібраційної хвороби є застосування обладнання і інструментів з параметрами вібрації, що не перевищують ДСН 3.3.6.037-99, а також уведення прогресивних технологій, виключаючи дію виробничої вібрації на робітників.

При модернізації сушильного відділення, що створює при роботі вібрацію, передбачаємо міри щодо найбільшого її значення, як у джерелі її виникнення, так і по шляху розповсюдження.

При конструюванні вібробезпечних машин застосовують методи, які знижуючи параметри вібрацій взаємодією на джерела збудження, виключають резонансні режими роботи.

Зниження вібрацій шляхом переведення енергії механічного коливання в інші види енергії, найчастіше в теплову, вживають вібродемпфінуванням. Вібропогашення - це зниження рівня вібрацій машин і агрегатів встановленням її на віброізолюючі фундаменти. Маса фундаменту підбирають Так, щоб амплітуда коливань не перевищувала 0,10...0,20 мм.

### **Освітлення**

Освітленість робочих місць здійснюється природним світлом - в світлі години доби і штучним - у темні.

Норми освітлення регулюються ДБН В.2.5-28:2018 "Природне і штучне освітлення"

### **Характеристика викидів**

До основного виробництва цукрового заводу відносять цехи: бурякопереробний, вапняковий, сокоочисний, продуктовий. До допоміжних цехів відносяться: ТЕС, цех механізації, бурякопункт. В процесі роботи цехів заводу виділяються шкідливі речовини. У відкритих складах буряку, вапна, вугілля в навколишнє середовище попадає земляний пил, пил вапняку, вугілля. Те саме відбувається під час розвантаження залізничних вагонів, або автомашин, а також при їх завантаженні.

Зварні роботи на заводі проводяться на відкритій території. Джерела викидів - неорганізовані. В атмосферу викидаються: зварний аерозоль, оксиди азоту, оксиди вуглецю. При спалюванні природного газу в котельній виділяються: оксиди азоту, СО, які викидаються безпосередньо в атмосферу через трубу без очищення.

В кувальні та газовапняковій печі для обпалювання вапняку в якості палива використовується вугілля. При спалюванні вугілля виділяються: пил неорганічний (зола), діоксид сірки, оксид вуглецю. Очищення немає. Через трубу шкідливі речовини поступають в атмосферу.

При сушці цукру виділяється цукровий пил, який є вибухонебезпечним і він вловлюється в мокрих циклонах.

### **Характеристика скидів**

Виробничі стічні води, які утворюються на цукрових заводах, вміщують: розбавлений транспортерно-мийний осад, кислу жомову воду, воду від промивки бурякорізок, прання фільтруючих тканин і мішків, мийки полів і апаратури, виварки випарної установки, з лабораторії, промивки пульполовушок, скид від продувки оборотних систем вод І категорії і лаверних вод, осад жомопресової води, відстій з відвалів фільтраційних осадів, а також стоки з ТЕС.

В залежності від схеми водопостачання і каналізації, які використовуються склад компонентів стічних вод може змінюватись (наприклад в склад скидів

можуть входити жомопресова і лаверна води, розбавлений фільтраційний осад і ін.). В середньому їх об'єм складає 224% до маси перероблюваного буряку. За останні роки в зв'язку із введенням на цукрових заводах систем оборотного водопостачання спостерігається тенденція до зменшення загального об'єму стічних вод. Основними очисними спорудами є поля фільтрації і непроточні біологічні ставки. На деяких заводах

експлуатуються станції штучної біологічної очистки виробничих і побутових стічних вод.

Стічні води вміщують цінні для рослин споживні речовини (азот, калій, фосфор) і можуть служити додатковим джерелом зрошення сільськогосподарських культур. Завдяки цьому виключається можливість забруднення відкритих водоймищ, звільняється для сільськогосподарського виробництва частина родючих земель, зайнятих зараз під полями фільтрації, підвищується врожайність культур, що вирощуються.

Необхідне проведення науково - дослідницьких робіт по зниженню об'ємів утворення скидів, створенню нових високоефективних методів механічної, фізико-хімічної і штучно - біологічної очистки стічних вод, утилізації утворених осадів і їх використанню в якості органо-мінеральних добрив, для отримання кормових білко - вітамінних добавок, а також повернення очищених і обеззаражених стічних вод на технологічні потреби заводу.

### **Характеристика відходів**

До відходів бурякоцукрового виробництва відносять:

✓ *Транспортерно – мийний осад.* Він утворюється у відстійниках в процесі очистки транспортерно-мийних вод, які використовуються для подачі буряка і його очистки від домішок. Він містить до 93% мулу і мілкового піску. Інша частина осаду представлена органічними і мінеральними домішками, що підвищує його цінність. Розбавлений транспортерно-мийний осад з відстійника подається у виробничі стічні води, які піддаються природній або синтетичній біологічній очистці. При цьому транспортерно-мийний осад та інші осади попередньо відділяються від стічних вод в земляних відстійниках.

В літній час підсушений осад вивозиться в долини і на непридатні для сільського господарства землі і таким чином майже не використовується в сільському господарстві. Завантаження та вивезення осаду пов'язані зі

значними матеріальними витратами. Більш раціональною є розроблена в останні часи обернена система гідравлічного видалення транспортерно-мийного осаду, яка передбачає його видалення на спеціальні земляні відвали-відстійники, де відбувається відділення твердої фази від рідини відстоюванням. Відстійні води повертаються в обернену систему транспортерно-мийних вод. Застосування окремої оберненої системи видалення транспортерно-мийного осаду дозволяє отримувати осад в чистому вигляді. Такій осад не містить каміння, крупного піску, збагачений органічними домішками, які перейшли в воду при транспортуванні буряка, і більш цінний в порівнянні з вихідною землею, яка поступає на завод з буряком. Недоліком такої системи є необхідність відведення значних площ землі під відстійники.

Транспортерно-мийний осад та земля, яка відділяється при прийманні буряка можуть широко застосовуватись для отримання компостів, комплексних органо-мінеральних добрив. Можливо також використання транспортерно-мийного осаду для заземлення малопродуктивних ґрунтів. Широке використання транспортерно-мийного осаду стримується тим, що до теперішнього часу на нього не встановлені науково обґрунтовані ціни.

✓ *Фільтраційний осад.* Фільтраційний осад утворюється при взаємодії нецукрів дифузійного соку з вапном та вуглекислим газом. Вологість осаду безпосередньо після вакуум-фільтрів складає до 50% по відношенню до загальної маси. Він представляє собою густу, липку масу, яку важко транспортувати та перевантажувати.

Кількість осаду, який утворюється, складає 8-12% до маси перероблюваного буряка і залежить від сумарної кількості вапна, яке використовується для очистки. Витрат вапна, в свою чергу, визначаються якістю буряка, технологічним режимом очистки і особливостями підготовки вапнякового молока.

Кожного року на цукрових заводах утворюється 7-8 млн. тон фільтраційного осаду. Його видаляють гідравлічним чином, шляхом розбавлення в мішалці водою в співвідношенні 1: 5. Приблизний хімічний склад фільтраційного осаду (% до сухих речовин) наступний: цукор - 2,0; пектинові речовини - 1,7; безазотисті та азотисті органічні речовини - 15,4; вуглекислий кальцій - 74,2; вапно у вигляді солей різних кислот - 2,8, інші мінеральні речовини - 9,9. За хімічним складом фільтраційний осад можна розцінювати як комплексне органо-мінеральне добриво, яке є придатним для зниження кислотності ґрунтів та збагачення їх елементами живлення рослин. Завдяки високому вмісту кальцію осад застосовується, головним чином, як вапнякове добриво.

Численні дослідження порівняльної дії фільтраційного осаду і стандартних вапнякових добрив на зниження кислотності ґрунтів показали, що при внесенні в еквівалентних по діючій речовині ( $CaCO_3$ ) кількостях осад не поступається промисловим вапняковим добривам, а в деяких випадках краще них. Позитивна дія на врожай фільтраційного осаду, як правило, вище, ніж стандартних вапнякових добрив, що пов'язано з наявністю в осаді інших корисних для рослин речовин. При цьому фільтраційний осад найдешевший серед меліоратів і його економічно вигідно транспортувати в радіусі до 50 км.

Разом з тим при використанні осаду в сільському господарстві виникає цілий ряд проблем, пов'язаних з технологічними особливостями цього відходу. Через великий вміст вологи транспортування отриманого осаду на великі відстані є недоцільним, а рівномірне розподілення його по полю при внесенні за допомогою серійних машин та механізмів неможливе. Саме тому, для видалення надлишкової вологи використовують природне сушіння осаду в відстійниках або на полях фільтрації.

Фільтраційний осад може бути використаний для отримання кормових добавок. В даному випадку найбільш перспективний осад, який відділяється

до основної дефекації, який збагачений органо-мінеральними речовинами і містить відносно невелику кількість карбонату кальцію.

✓ *Відсів вапнякового каміння.* При транспортуванні, подрібненні і сортуванні вапняку, який використовується на цукрових заводах для отримання вапна і сатураційного газу, утворюються куски розміром 30 мм і менше, так званий відсів вапнякового каміння, який не використовується для відпалювання і є відходом виробництва. За нормами його кількість має складати до 9% до маси вапняку але фактично вона більша і може досягати 15%. Основна кількість відсіву використовується на будівництво шляхів і ремонтно-будівельні роботи (більше 80%), інша частина подається на відвали.

✓ *Недопал і перепал.* При обпалюванні вапняку утворюються легкоплавкі ферити і алюмінати кальцію, в яких частково розчиняються силікати і вільний оксид кальцію. При цьому поверхня частинок оксиду кальцію покривається плівкою, внаслідок чого частина вапна стає неактивною. Утворюється так званий перепал від 3 до 7 % до маси вапняку що відпалюється, обумовлюючий втрати вапна. Крім того, в результаті неповної дисоціації карбонату кальцію утворюється недопал - від 3 до 10% до маси вапняку. Частина його разом з перепалом використовується для ремонту шляхів. На деяких цукрових заводах крупний недопал вертають в піч для обпалювання.

✓ *Попіл і шлаки.* При спалюванні твердого палива частина попелу, яка в ньому міститься, а також частинки, які не згоріли, видаляються у вигляді шлаку і мілкого попелу, їх кількість залежить від складу палива і величини механічного недопалу. Вміст окремих складових шлакового матеріалу залежить від місця добування палива. В теперішній час на ТЕС застосовують гідравлічний метод попелощлаковидалення. Частина шлаку і попелу використовується в будівництві і при проведенні дорожних робіт.

## 7. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Цукор є чистим вуглеводом у вигляді сахарози, з обмеженою вологою і відсутністю домішок. У людському організмі сахароза розщеплюється на глюкозу та фруктозу під впливом ферментів, стаючи енергетичним матеріалом для утворення глікогену, жирів та інших речовин. Кожні 100 г цукру при окисненні виробляють приблизно 410 ккал енергії. Важливо враховувати фізіологічну норму споживання цукру, яка різниться залежно від віку, стилю життя та харчування.

У нашій республіці значна частина потреби в цукрі задовольняється власним виробництвом. Цукрові заводи розташовані у Вінницькій, Чернігівській, Черкаській та Львівській областях та інших регіонах. Промисловість виробляє як цукор-пісок, так і цукор-рафінад.

Цукор-пісок отримують з цукрового буряка, який містить 16-17% сахарози. Процес включає миття та подрібнення буряка в стружку, з якої екстрагують цукор гарячою водою методом дифузії. Окрім сахарози, в дифузійний сік переходять інші розчинні у воді речовини. Потім сік очищається і відварюється до утворення сиропу. Завдяки кристалічній природі сахарози, при згущенні сиропу в вакуум-апаратах відбувається кристалізація. Кристали сахарози відділяються центрифугуванням, промиваються, сушаться та просіваються.

Цукор-пісок не поділяється за сортами і повинен мати білий колір з блиском, солодкий смак без сторонніх присмаків та запахів як у сухому, так і у водному розчині. Він має бути сипким, без грудок і повністю розчинним. Розчин цукру повинен бути прозорим, безбарвним, без осаду та інших домішок.

Цукор-пісок повинен мати склад не менше 99,75% сахарози (з урахуванням сухої речовини) та не більше 0,14% вологи. Стандарти регулюють вміст редуруючих речовин, золи, феродомішків і колірні характеристики. Україна контролює виробництво цукру шляхом квотування вирощування цукрових буряків, обробки цукру підприємствами, декларування наявності цукру та встановлення мінімальних цін за допомогою різних економічних інструментів. Системи державного регулювання ринку цукру застосовуються у багатьох країнах-виробниках цукрового буряку, зокрема в Європейському Союзі, і включають квоти на виробництво та реалізацію, гарантії цін, регулювання митних зборів на імпорт цукру і так далі. Важливо відзначити, що після укладення угоди про вільну

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олішевський В.В.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько В.І.	<i>Назва додаткова назва</i> Маркетингове обґрунтування проекту		221874.KP.20.007 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Ямчук ІВ			<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

торгівлю між Україною та ЄС, Україні було надано можливість ввозити свою продукцію на європейський ринок з врахуванням встановлених квот. Це надає українським виробникам можливість підтвердити якість своєї продукції та зробити її більш конкурентоспроможною.

У сучасний період спостерігається зменшення кількості підприємств, які займаються обробкою цукрових буряків в країнах Європейського Союзу, завдяки модернізації існуючих виробничих потужностей. Наприклад, у Швеції з 15 цукрових заводів залишився лише один, що належить до датського концерну.

Зараз найбільшими виробниками цукру в Україні є Вінницька область, яка виробила 424 тис. т, Тернопільська область – 227 тис. т і Полтавська область – 222,5 тис. т цукру. Перші три місця серед виробників цукру залишаються у ПрАТ "ПК Поділля" Крижопільському цукровому заводу, ТОВ "ПК Зоря Поділля" Гайсинському цукровому заводу та ТзОВ "Радехівський цукор". Важливо вдосконалювати обладнання та проводити дослідження процесів у бурякоцукровому виробництві для підвищення його ефективності.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі вирішена задача з модернізації барабанної багатотрубною сушильно-охолоджувальною установкою з розробкою системи очистки пилогазового потоку відпрацьованого сушильного агенту, що покращує технологічні параметри цукру на виході з сушарки та забезпечує ефективне очищення відпрацьованого повітря в технологічній схемі сушильного відділення.

На основі аналізу поширених типів фільтрувальних систем очищення пилогазового потоку, забрудненого дрібнодисперсними частинками цукру, запропоновано використання скрубера мокрого очищення.

Показано, що використання запропонованої системи очистки пилогазового потоку відпрацьованого сушильного агенту дозволяє забезпечити ефект очистки 98,8 % від частинок розміром менше 10 мкм.

Запропоновано апаратурно-технологічну схему очищення відпрацьованого сушильного агенту барабанної багатотрубною сушильно-охолоджувальною установкою з використанням скрубера мокрого очищення.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олішевський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько ВІ	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Висновки</b>	221874.KP.20.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимук ІВ		<i>Інд.</i> 000000	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підруч. для студентів ВНЗ / Мирончук В.Г., Гулий І.С., Пушанко М.М. та ін. Вінниця : Нова книга, 2007. 648с.
2. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навч. посіб. / Мирончук В.Г., Орлов Л.О., Пушанко М.М. та ін. Вінниця: Нова книга, 2004. 288с.
3. Монтаж та технічний сервіс обладнання. Практикум: навч. посіб. / за ред. В.Г. Мирончука. К : НУХТ, 2017. 162с.
4. Заплетніков І.М., Мирончук В.Г., Кудрявцев В.М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв : навч. посіб. Київ : «Кафедра», «Центр учбової літератури», 2012. 344 с.
5. Чепелюк О.О., Єщенко О.А., Доломакін Ю.Ю. Гігієнічні вимоги до проектування обладнання харчових виробництв: підруч. Київ : НУХТ, 2017. 311 с.
6. Сухенко Ю.Г., Литвиненко О.А., Сухенко В.Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв : підруч. для студентів ВНЗ Київ : НУХТ, 2010. 547 с.
7. Справочник механика пищевой промышленности / А.И. Соколенко иа ін. ; Арт Эк. Київ, 2004. 304 с.
8. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва: навч. посібник / П.С.Берник, З.А.Стоцько, І.П.Паламарчук, В.В.Яськов. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 336 с.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Олішевський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Мисько ВІ.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Список використаних джерел</b>	221874.КР.20.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Язчук ІВ		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/5

9. Ванін В.В., Перевертун В.В., Надкернична Т.М. Комп'ютерна інженерна графіка в середовищі AutoCAD. Київ : Каравелла, 2006. 334 с.
10. Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів в харчових технологіях / А.І.Соколенко та ін. ; Фенікс. Київ, 2011. 536 с.
11. Остриков А.Н., Абрамов О.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств: учебник Санкт-Петербург : ГИОРД, 2003. 352 с.
12. Технологія цукру: підручник: в 3т. Т.1:Вирощування, зберіганняцукровихбуряків, видобування сахарози /А.А.Ліпець, В.М.Логвін, К.Д.Скорик та ін.; за ред. В. М. Логвіна, А. І. Українця; Нац. ун-т харч. технол.– К.:Експрес-об'ява, 2015. – 288с.
13. Обладнання для харчової промисловості. Вимоги щодо безпеки і гігієни. Частина 2. Вимоги щодо гігієни: ДСТУ EN 1672–2–2001. [Чинний від 2003–01– 01]. Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 32 с. (Національний стандарт України).
14. EHEDG Document No.8, Second Edition. Hygienic equipment design criteria. / G. Hauser, G.J. Curiel, H.-W. Bellin at al. 2004. 14 p.
15. Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги : ДСТУ 4161 – 2003. – [Чинний від 2003-07-01.]. Київ : PELTA.ORG, 2003. 13 с. (Національний стандарт України)
16. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга : ДСТУ ISO 22000:2007. – [Чинний від 2007–08–01.]. Київ : PELTA.ORG, 2007. 30 с. (Національний стандарт України).
17. Кодекс Алиментариус. Гигиена пищевых продуктов [Пер. с англ.]. Москва : Весь Мир, 2007. 123 с.
18. Hygiene in food processing / H.L.M. Lelieveld, M.A. Mostert, J. Holah, V.White at al. Boston: CRC Press, 2003. 389 p.

19. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2007. - 76 с.
20. Бордо О. Г. Эволюция сушильных установок. Одесса: Полиграф, 2010. 368 с.
21. Замицький О. В., Омельчук Д. В. Аналіз існуючих способів сушки тонкодисперсних матеріалів / Гірничий вісник. 2018. Вип. 103. С.191-197.
22. Скорик К.Д., Штангеев К.О. Контроль та покращення гранулометричного складу цукру піску. Цукор України. 2013. № 3 (87). С. 20–25.
23. Дементьєва Т.Ю. Інтенсифікація процесів тепловологопереносу при сушінні зернового матеріалу із застосуванням мікрохвильового електромагнітного поля: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т.Ю. Дементьєва. – О.: ОДАХ, 2012. – 22 с.
24. Ang T.K. Microwave freeze-drying of food: A theoretical investigation/ T.K. Ang, J.D. Ford, D.C.T. Pei // International Journal of Heat and Mass Transfer.– 1977.– №20 (5).– P. 517–526.
25. Оформлення бібліографічних посилань у наукових роботах : методичний poradnik / автори-укладачі: І. Костина, В. Каленська, О. Олабоді ; ред. Н. Левченко. – Київ : Науково-технічна бібліотека Національного університету харчових технологій, 2017. – 31 с.
26. Методичні рекомендації до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Обладнання переробних і харчових виробництв» ден. та заоч. форм навчання [Електронний ресурс] / Уклад. В.Г. Мирончук, С.Ю.Лементар, О.А.Єщенко – К.: НУХТ, 2018. – 41 с.
27. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків. Правила усталеної практики (ПУП) 15.83-37-106:2007 /

розроб.: Ярчук М., Калініченко М., Чупахіна В., Галацан Л. та ін. Київ: Цукор України, 2007. 420 с.

28. Инструкция по химико-технологическому контролю и учету сахарного производства. Киев: ВНИИСП, 1983. 476 с.

29. Сайт фірми Fives Cail: <https://www.fivesgroup.com/sugar/equipment-for-sugar-production/drying>.

30. Сайт фірми ВМА: <https://www.bma-worldwide.com/sugar-drying/sugar-drying-and-cooling-plants-1.html>

31. Пономарьова С. Д. Захист атмосферного повітря від забруднення викидами дрібнодисперсних органічних частинок кондитерських підприємств. – дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Харків, 2019.

32. Вентиляция и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман, В. А. Шилов, Е. Е. Новгородский, Т. А. Скорик, Р. А. Амерханов. Москва : АСБ, 2001. 567 с.

33. Чепелев Н. И., Богульский И. О., Едимичев Д. А. Моделирование процесса осаждения пыли электрофильтрами на зерноперерабатывающих предприятиях. Вестник КрасГАУ. 2012. № 5. С. 351–355.

34. Спосіб та пристрій для агломерації частинок: пат. 73962 Україна: МПК В03С 3/00, В01D 49/00; заявл. 10.11.2000; опубл. 17.10.2005, Бюл. № 12. 11 с.

35. Спосіб іонізаційної обробки дрібнодисперсного пилу какао перед очищенням : пат. 135881 Україна : МПК (2019.01) В03С 3/00. № u 2019 01141 ; заявл. 04.02.2019 ; опубл. 25.07.2019, Бюл. № 14.

36. Гурець Л.Л. Науково-методологічні основи екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря газопиловими викидами промислових підприємств : дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01, Суми, 2017. 313с.

37. МВВ № 081/12-0161-05. Викиди газопилові промислові. Методика виконання вимірювань масової концентрації речовини у вигляді

суспендованих твердих частинок в організованих викидах стаціонарних джерел гравіметричним методом. Київ. 2005.

38. Плюйко Ю. В. Зниження забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом кондитерських виробництв :робота на здобуття кваліфікаційного ступень бакалавр за спец. : 101 – екологія / наук. кер. Гурець Л. Л.. – Суми: СумДУ. 2020 7.

39. Атлас промышленных пылей. В трех частях. Часть 3. Пыли предприятий химической и пищевой промышленности. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982.