

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)

(підпис)

«___» _____ 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Микола ЯКИМЧУК
(ім'я та прізвище)

(підпис)

«___» _____ 2024 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: Удосконалення системи очищення повітря сушильного комплексу барабанного типу

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

Гордон Олексій Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник доцент Вересоцький Юрій Іванович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

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

Здобувач _____

(підпис)

Київ - 2024р.

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

проф. Микола ЯКИМЧУК

«___» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гордона Олексія Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення системи очищення повітря сушильного комплексу барабанного типу

керівник проекту (роботи) Вересоцький Юрій Іванович, доц., канд. техн. наук

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» листопада 2023 р. № 940-к

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; Вступ; Аналітичний огляд стану питання; Методика проведення досліджень; Дослідна частина та узагальнення результатів; Обґрунтування модернізації; Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування; Розрахункова частина; Підбір конструкційних матеріалів; Технологія машинобудування; Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання; Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування; Заходи з охорони праці; Охорона довкілля; Маркетингове обґрунтування проекту; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

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

Загальний вигляд обладнання – 3 аркуші; Деталі та вузли обладнання – 4 аркуші; Схема автоматизації – 1 аркуш; План – 1 аркуш; Технологічна карта збирання вузла – 1 аркуш.

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>	05.10.2023	
2	<i>Аналітичний огляд стану питання</i>	12.10.2023	
3	<i>Методика проведення досліджень</i>	20.10.2023	
4	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	20.11.2023	
5	<i>Обґрунтування модернізації. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування</i>	25.11.2023	
6	<i>Розрахункова частина</i>	9.12.2023	
7	<i>Підбір конструкційних матеріалів</i>	15.12.2023	
8	<i>Технологія машинобудування</i>	19.12.2023	
9	<i>Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання</i>	05.01.2024	
10	<i>Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування</i>	09.01.2024	
11	<i>Заходи по охороні праці</i>	13.01.2024	
12	<i>Охорона довкілля</i>	20.01.2024	
13	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	25.01.2024	
14	<i>Висновки</i>	27.01.2024	
	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	30.01.2024	
	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.02.2024	

Здобувач

_____ (підпис)

Олексій ГОРДОН

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юрій ВЕРЕСОЦЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі розглянуто систему очищення повітря сушильного комплексу барабанного типу із встановленням «скрубера Вентурі».

Для підвищення ефективності методів очищення відпрацьованого повітря наведено апаратурно-технологічну схему сушильного відділення, виконано технологічні та конструктивні розрахунки, висвітлені вимоги з охорони праці з уточненими вказівками з техніки безпеки під час підготовки обладнання до роботи та його обслуговування.

На основі аналізу систем відцентрового пиловловлювання наведено шляхи подальшого вдосконалення систем очищення відпрацьованого повітря.

За результатами проведених досліджень визначено оптимальні режими роботи систем мокрого пиловловлювання на різних режимах їх експлуатації, а також обґрунтовано доцільність встановлення мокрого пиловловлювача типу «скрубер Вентурі».

Встановлення «скрубера Вентурі» дає ефект очищення повітряно-пилової суміші 99,98 %, що суттєво зменшує втрати готового продукту в навколишнє середовище.

Ключові слова: сушіння, цукор, відцентрове розділення, мокре пиловловлювання.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.КР.007.000 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Анотація	Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/2

ABSTRACT

In this qualification work, the air cleaning system of the drum-type drying complex with the installation of a "Venturi scrubber" is considered.

In order to increase the efficiency of methods of cleaning the exhaust air, the equipment and technological diagram of the drying compartment is given, technological and structural calculations are performed, the requirements for labor protection are highlighted with detailed safety instructions during the preparation of the equipment for work and its maintenance.

Based on the analysis of centrifugal dust collection systems, ways of further improvement of exhaust air purification systems are given.

According to the results of the conducted research, the optimal modes of operation of wet dust collection systems in different modes of their operation were determined, as well as the feasibility of installing a wet dust collection device of the "Scrubber Venturi" type was substantiated.

The installation of the "Venturi scrubber" gives the effect of cleaning the air-dust mixture of 99.98 %, which significantly reduces the loss of the finished product to the environment.

Key words: drying, sugar, centrifugal separation, wet dust collection.

ЗМІСТ

Реферат.....	3
Зміст.....	5
Вступ	6
1. Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження	8
2. Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження	34
3. Дослідна частина та узагальнення результатів	50
4. Розрахункова частина.....	78
5. Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування	108
6. Заходи з охорони праці та охорони довкілля	131
7. Маркетингове обґрунтування проекту	147
Висновки	153
Список використаних джерел.....	155
Додатки.....	157

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.KP.007.000 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Зміст	Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/1

ВСТУП

Одним з основних продуктів харчування є цукор. Його світовий обсяг виробництва становить понад 100 мільйонів тон на рік. Цукрова промисловість – одна з найстаріших галузей промисловості України, яка посідає одне з перших місць у світі за технічною потужністю і виробництвом цукру.

Останніми роками зниження ефективності роботи цукрових заводів пов'язане з відсутністю або перебоями в постачанні паливно-мастильних та інших матеріальних ресурсів, необхідних для розмірної роботи бурякоцукрового виробництва.

Брак капіталу мав значний вплив на оновлення та відновлення ключового технологічного та енергетичного обладнання на більшості цукрових заводів, з цих же причин тенденційно залишаються високими простої цукрових заводів, собівартість продукції, коефіцієнт використання потужності залишається на рівні 83 – 84%, а якість готової продукції все частіше не відповідає світовим стандартам.

Основні шляхи підвищення ефективності цукрового виробництва - всебічна інтенсифікація, прискорення науково-технічного прогресу, подальший ріст продуктивності праці. Величезні резерви подальшого збільшення виробництва цукру закладено в поєднання зусиль буряководів та працівників цукрових заводів.

Інтенсифікацію цукрового виробництва можливо здійснити на основі розвитку науки, впровадження нових технологій та нової техніки у виробництво, а також нових методів господарювання.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва Вступ	221853.KP.007.000 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/2

Сприяння розвитку науково-технічного прогресу є важливою умовою підвищення ефективності виробництва цукру та підвищення якості цукру до світових стандартів.

Щодо сушіння цукру конвективним методом, який є найбільш оптимальним для цього процесу, актуальним є питання підвищення ефективності роботи сушильного обладнання.

Зокрема в таких сушарках використовується дуже велика кількість повітря, яке очищається в циклонах, але наявність пилу у цукровому відділенні говорить про те, що його очищення є недостатньо глибоким.

Наявність навіть не значних, з точки зору загального виробництва, втрат у системах очищення, призводить до значних викидів продукту в навколишнє середовище та погіршення економічних та екологічних показників.

Це свідчить про те, що на сьогоднішній день цілком актуальним є питання модернізування ліній сушильного відділення шляхом встановлення додаткових пиловловлювачів, які очищують повітря крапельним методом, що значно підвищує ефективність очищення від пилу до 99,97%.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Сушарки конвективної дії

На практиці застосовують різні способи сушіння. Вибір способу залежить від якості партій і об'єму матеріалу, що поступають на обробку, наявності та характеристик сушарок, а також погодних умов. Фізична суть процесу сушіння полягає в передачі тепла, випаровуванні із них вологи та переміщенні її в навколишнє середовище.[4]

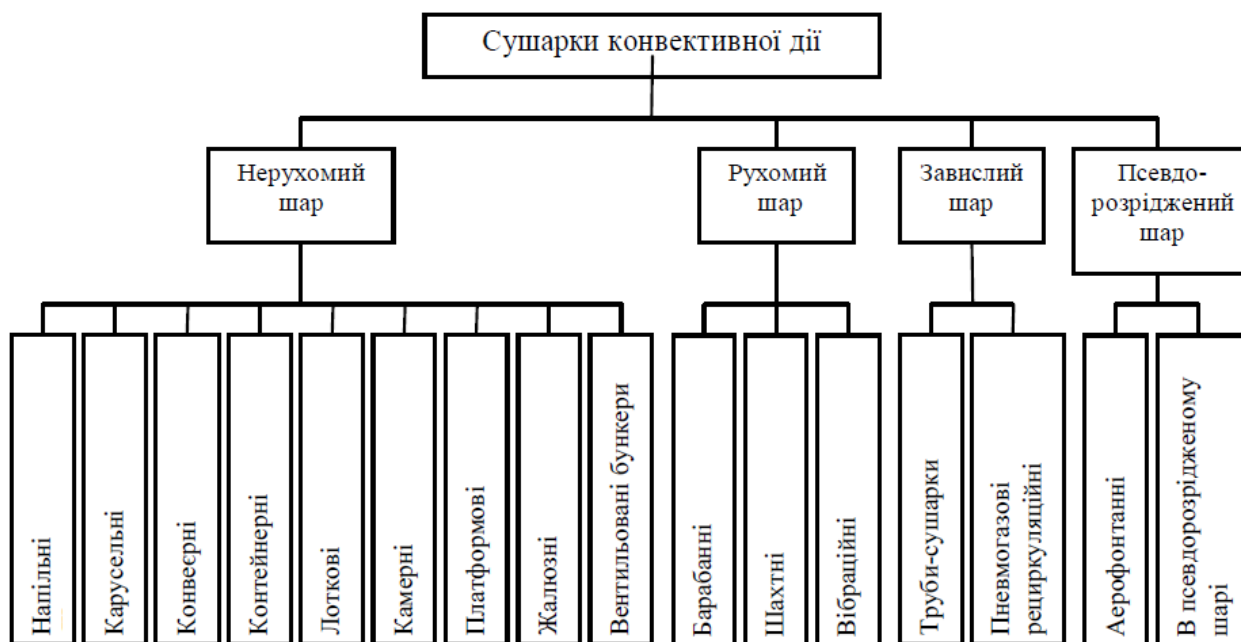


Рис 1.1 Класифікація сушарок конвективної дії.

Для прискорення процесу сушіння та підвищення продуктивності праці процес сушіння повинен бути повністю механізований, а якість висушеного цукру при цьому повинна бути високою. Сушарки конвективної дії набули найбільшого поширення в промисловості. Класифікація таких сушарок наведено на рис.1.1.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.КР.007.001 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Аналітичний огляд стану питання	Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/26

1.2. Барабанна сушарка БГ4, 25-12НУ- 01

Апарати типу БГ це барабанні сушарки-гранулятори призначені для сушіння суспензій (пульпи) із отриманням готового продукту у вигляді гранул. Розмір гранул в межах від 2 до 10 мм визначається властивостями продукту та режимом роботи апарату. Принципово апарати БГ влаштовані так само як і апарати БН. Початковий продукт поступає у апарат через пневматичну форсунку безпосередньо у потік гарячого теплоносія. Краплі розпорошеного продукту в об'ємі барабана підсушуються, багаторазово пересипаються насадками, частки агломеруються до необхідного розміру і виводяться з апарату. Для отримання товарного продукту вузької фракції слід застосовувати розсіювання на відповідних грохотах.

Сушарка БГ4, 25-12НУ-01 призначена для сушіння та гранулювання складних мінеральних добрив, у тому числі цукру та інших продуктів.

Сушарка укомплектована форсунками для подачі продукту.

Продуктивність, т/год.:

по сухому продукту - 13

по випареній волозі - 4

Вологість продукту, %:

початкова - 25

кінцева - 1,5

Температура теплоносія, °С:

на вході в апарат - 250-300

на виході з апарату - 95-105

Частота обертання барабана, s^{-1} : 0,067

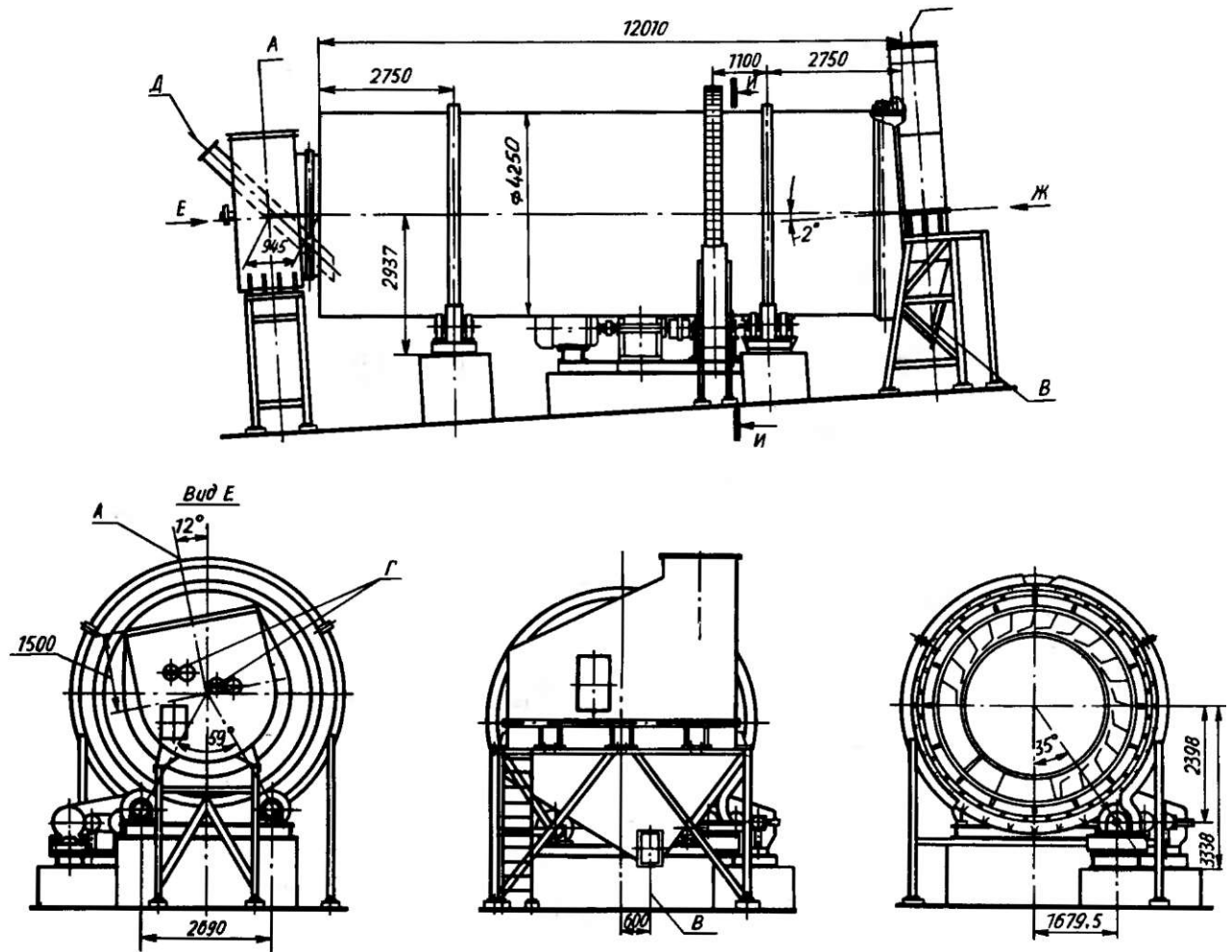


Рис.1.2 Барабанна сушарка БГ4, 25-12НУ- 01:

А - вхід теплоносія, Б - вихід теплоносія, В - вихід продукту, Г - подача пульпи, Д - подача ретура.

1.3 Барабанна сушарка РБ1,8-12НУ-01

Така сушарка призначена для сушіння сипких продуктів (деревинного борошна та інших дисперсних продуктів деревообробної, хімічної та інших галузей промисловості) із контактним підведенням тепла. Ротор встановлений у циліндричному корпусі сушарки і виконаний у вигляді теплообмінної трубчатки. Привід ротора із регульованою частотою обертання, що забезпечує зміну часу перебування продукту у апараті та продуктивність. Поток гарячого повітря виконується видалення вологої пари.

Продуктивність, т/год:

по сухому продукту - 500

по випареній волозі - 450

Вологість продукту, %:

початкова - 100

кінцева - 5

Температура теплоносія в роторі, °С: 158

Частота обертання ротора, c^{-1} : 0,058- 0,258

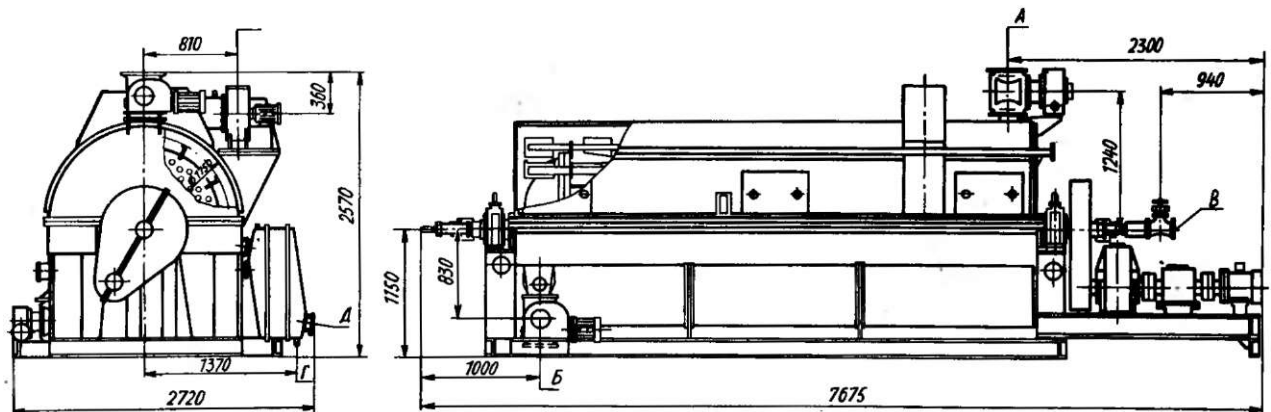


Рис.1.3 Барабанна сушарка РБ1,8-12НУ-01:

А - вхід продукту, Б - вихід продукту, В - вихід пари, Г - вихід конденсату, Д - вхід повітря, Е – вихід відпрацьованого повітря.

1.4 Барабанні сушарки БГ4,5-16НУ-06 и БГ4,5-16НУ-07

Такі сушарки призначені для сушіння та гранулювання складних мінеральних добрив, в тому числі простого та подвійного суперфосфату, аммофосфата і аммофоса.

Апарат моделі 06 виконується з правим, а моделі 07 з лівим розташуванням приводу. Обидві моделі укомплектовано допоміжним приводом для повільнішого обертання барабана при ремонті та чищенні, а також форсунками для подачі продукту.

Продуктивність, т/год: 15

Температура теплоносія, °С:

на вході в апарат - 900

на виході з апарату - 130

Частота обертання барабану, c^{-1} :

від основного приводу : 0,075

від допоміжного приводу : 0,03

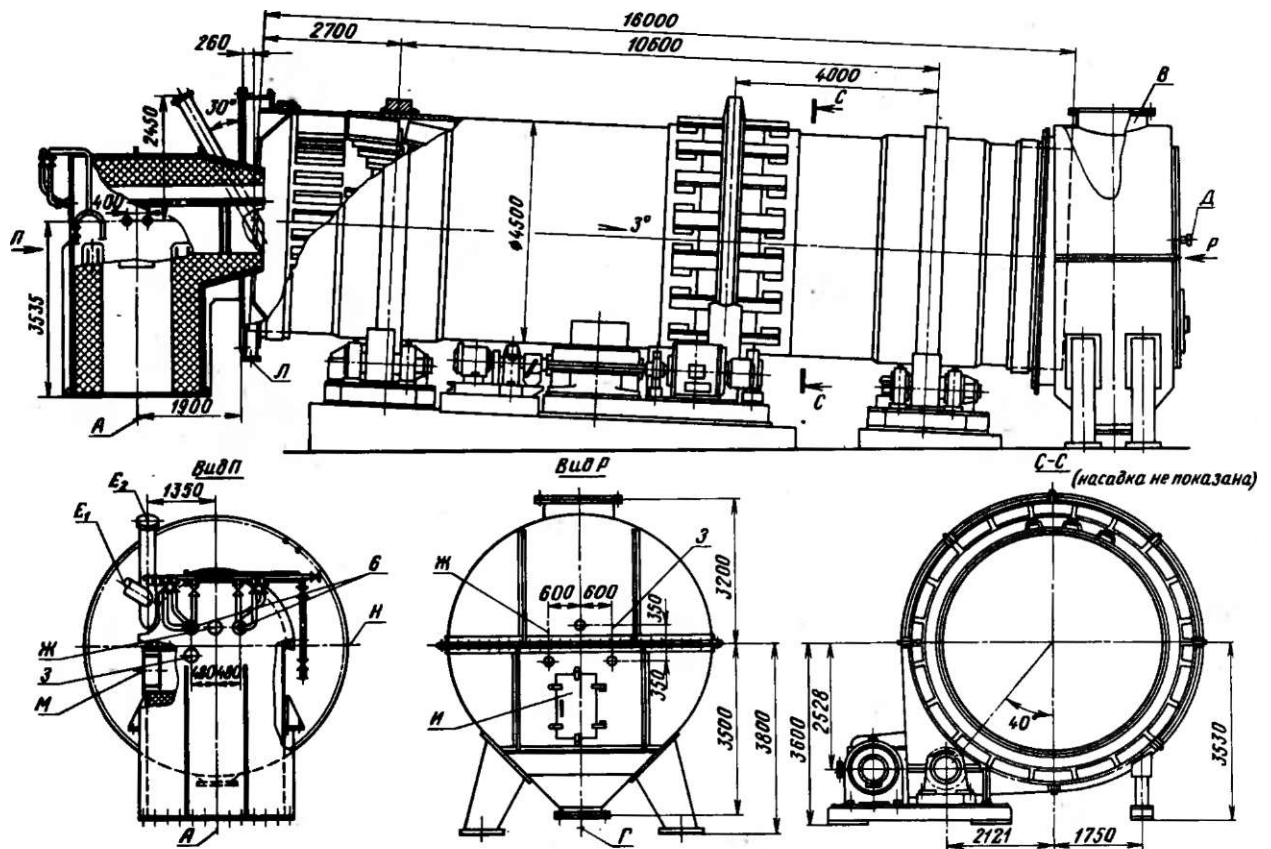


Рис.1.4 Барабанна сушарка БГ4,5-16НУ-06

А - вхід теплоносія, Б - під форсунку для подачі пульпи, В - вихід теплоносія, Г - вихід продукту, Д - під термопару, Е₁, Е₂ - подача ретура і прочистка, Ж - оглядове вікно, З - вікно для підсвічування, И - люк, Л - люк для висипки, М - люк, Н - штуцер КВП.

1.5 Барабанні сушильні установки загального призначення

Для сушіння сипких матеріалів в основному використовуються барабанні сушарки. В основному це атмосферні сушарки, у яких теплоносієм є нагріте повітря.

Сушарка для сушіння харчових продуктів (солоду, цукру, зерна тощо) показана на рис. 1.8. Основним її елементом є барабан 1, що обертається на роликах 4, спираючись на них своїми бандажами 2. Барабан обертається за

допомогою зубчатого вінця 3, що перебуває у зачепленні з шестернею 5, яка приводиться у дію від електродвигуна через редуктор 6. Швидкість обертання барабана визначається і регулюється за регламентом сушіння продукції чи матеріалу в межах від 1 до 8 об/хв., а габарити його залежать від продуктивності сушіння того або іншого матеріалу. Діаметр барабана в межах 1000 – 3000 mm, відношення довжини барабана до його діаметра становить від 3:1 до 10:1. Барабан встановлюють горизонтально або з незначним нахилом у бік переміщення матеріалу. Для розгалуженого контакту матеріалу із теплоносієм в барабані встановлюються насадки 7, які можуть бути різної форми.

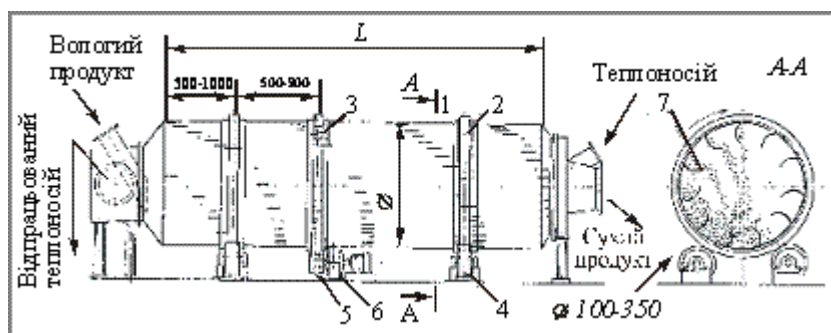


Рис. 1.5 Барабанна сушарка:

1 — барабан; 2 — бандаж; 3 — зубчатий вінець; 4 — ролик; 5 — шестерня;
7 — насадка

Напрямки взаємного руху матеріалу і теплоносія можуть бути перехресними, прямопотічними або протипотічними.

Важливою технологічною характеристикою барабанних сушарок є напруження об'єму барабана, що залежить від вологості та визначається за формулою

де W кількість вологи, kg, що видаляється із матеріалу за період, година;
 V — об'єм барабана, m^3 .

Рекомендовані значення A приймаються:

для цукру-піску $A = 8 - 9$; для пшениці $A = 20 - 30$; для кам'яного вугілля $A = 30 - 40$.

Сушіння сипких матеріалів нехарчового призначення із високим вмістом вологи відбувається в барабанних сушарках у більшості випадків газами, що відходять із котельних установок або топковими газами.

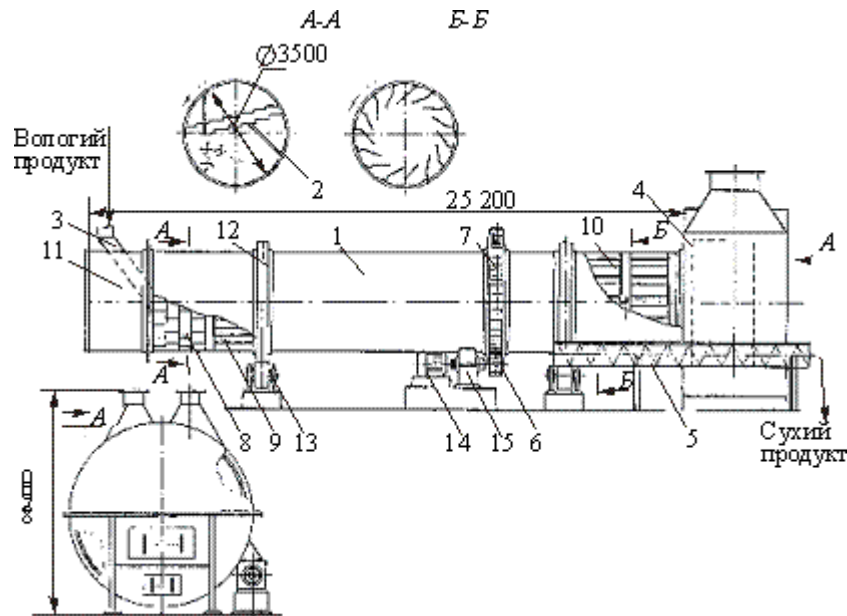


Рис. 1.6 Барабанна сушарка, що працює на топкових газах:

1 — барабан; 2, 8, 9, 10 — насадки; 3 — завантажувальний лоток; 4 — підпирний пристрій; 5 — шнек; 6 — шестерня; 7 — зубчатий вінець; 11 — нерухома частина; 12 — бандаж; 13 — ролик; 14 — електродвигун; 15 — редуктор.

На рис. 1.6. показана конструктивна схема барабанної сушарки, що працює на топкових газах. Вона складається із барабана 1, на внутрішній поверхні якого розміщені насадки 2. У сушильний барабан через каток 3 поступає вологий матеріал, а з протилежного його кінця розміщений підпирний пристрій 4, що слугує для регулювання часу перебування матеріалу у барабані.

Сушарка укомплектована шнеком 5 для відбору сухого матеріалу, димососами для відпрацьованого теплоносія та циклонами.

Переміщення матеріалу в барабані відбувається завдяки обертанню барабана та наявності насадок.

Димові гази із заданою температурою рухаються прямо або протипотічно матеріалу, контактуючи з ним вони нагрівають матеріал, а також при цьому відбувається безперервне випаровування вологи. Відпрацьовані гази відсмоктуються димососами та направляються у циклон, а за необхідності, на фільтри для очищення. [8.]

1.6 Конвективні сушарки з перемішуванням прошарку матеріалу

На рис. 1.7 представлена барабанна сушарка, що широко застосовуюється для безупинного сушіння грудкових, сипучих і зернистих матеріалів (фосфоритів, мінеральних солей тощо), як правило, при атмосферному тиску. Барабанна сушарка має циліндричний зварювальний барабан, що встановлений із невеликим нахилом до горизонту ($2 - 7^\circ$).

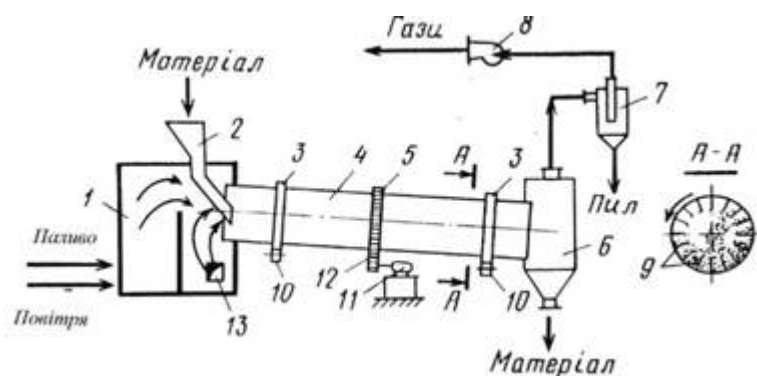


Рис. 1.7 Барабанна сушарка:

1 — топка; 2 — живильник; 3 — бандажі; 4 — барабан; 5 — зубцюватий вінець; 6 — розвантажувальна камера; 7 — циклон; 8 — вентилятор; 9 — підйомно-лопатева насадка; 10 — опорні ролики; 11 — електродвигун; 12 — шестерна передача; 13 — вікно для подачі вторинного повітря.

На рис 1.8 представлено обладнання внутрішньої насадки барабана, що забезпечує рівномірний розподіл і добре перемішування матеріалу по перетині барабана, залежить від властивостей сушильного матеріалу і розмірів шматків. Підйомно-лопатеві насадки використовуються для сушіння крупношматкових і схильних до налипання матеріалів, а секторні для крупношматкових і

малосипучих матеріалів із великою щільністю. Для мілкошматкових сильносипучих матеріалів використовують розподільні насадки. Сушіння тонко здрібнених, що заповнюються, матеріалів відбувається в барабанних сушарках, що мають перевалочну насадку із закритими осередками.

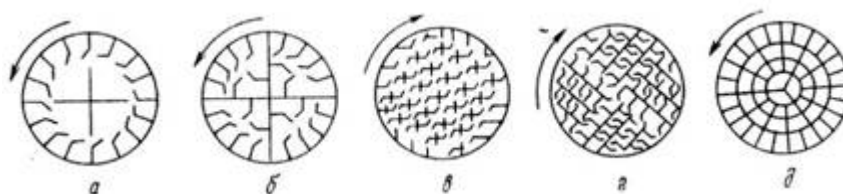


Рис. 1.8. Типи насадок барабанних сушарок: а — підйомно-лопатева; б — секторна; в, г — розподільні; д — перевалочна.

Барабанні сушарки мають діаметр 1 – 3,5 м.

Конвективні сушарки зі зваженим прошарком матеріалу.

Сушарки з псевдорідним (киплячим) прошарком одержали широке застосування завдяки специфічним особливостям: по-перше, цим методом можна висушувати сипучі, зернисті, рідкі та пастоподібні матеріали, по-друге, процес протікає дуже інтенсивно в силу значного збільшення поверхні контакту між частками матеріалу і сипучим агентом.

Об'ємний коефіцієнт теплообміну, віднесений до прошарку матеріалу, дорівнює приблизно від 5 до 10 кВт/(м³·К), у той час, як для барабанних сушарок він складає на весь об'єм не більше 0,5 кВт/(м·К).

В установках із псевдорідним прошарком одночасно можна проводити декілька процесів: сушіння і класифікацію часток за розмірами, сушіння і випал, сушіння і гранулювання тощо.

В барабанних сушарках сушать сипку продукцію. В якості сушильного агента може виступати гаряче повітря чи топкові гази. Існує декілька різновидів барабанних сушарок. В основу саме цієї класифікації покладено спосіб передачі тепла від теплоносія до оброблюваного продукту.

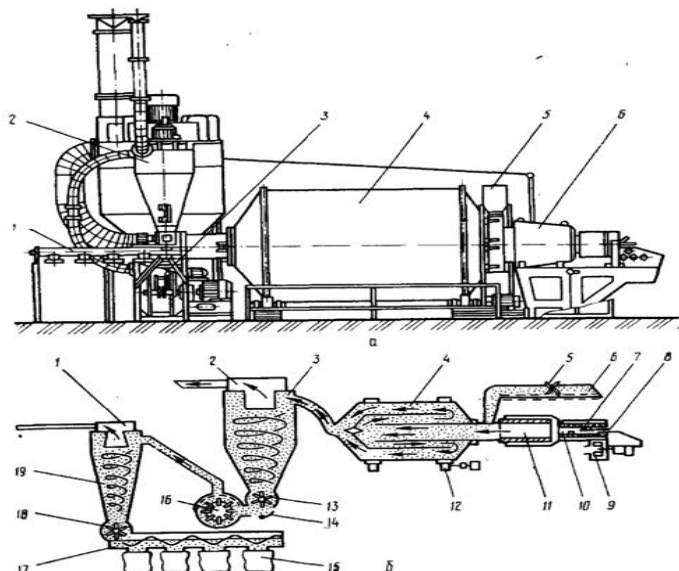


Рис.1.9 Барабанний сушильний агрегат АВМ-04

- 1) Установки прямої дії. Відбувається безпосередній контакт теплоносія та продукту.
- 2) Установки непрямої дії. Контакт теплоносія та продукту немає. Тепло поглинається стінкою і передається матеріалу.
- 3) Установки змішаної дії. Одна частина тепла віддається продукту при безпосередньому контакті з теплоносієм. Друга частина - за рахунок передачі через стінку.

Розглянемо установку прямої дії.

На рис.1.9а представлена сушильна установка АВМ-04, що призначена для висушування ягідних та фруктових вичавок, які в подальшому будуть використані для виробництва кормової муки або фруктових порошків. Установка відноситься до апаратів барабанного типу.

Основним її елементом є сушильний барабан 4, який має частоту обертання від 1 до 8 об/хв. Відношення довжини барабана до його діаметру - (3,5-7,0)/1. Розмір діаметра барабана залежить від продуктивності. Ця величина може бути від 1200 мм.

Також в установці є: конвеєр 5, за допомогою якого відбувається завантаження, циклон 2, топковий відсік 6, млин 3 та шнек 1 для розподілу продукції.

На рис.1.9б можна наочно простежити за процесом сушіння. Вичавки надходять на конвеєр 6. Встановлено вирівнювач товщини 5 на шляху їх транспортування в барабан 4. Всередині сушильний барабан складається із декількох циліндрів. Це сприяє підвищенню якості сушіння та збільшенню тривалості шляху висушуваних вичавок.

У топкового відсіку розташована камера газифікації 7 та камера допалювання 10. В камері газифікації встановлена форсунка 7, через яку подається паливо. Нагнітає сюди ж повітря вентилятор 9. Таким чином паливо насичується киснем. Від електричної свічки відбувається займання суміші. Зайва частина палива переходить у газоподібний стан і переміщується в камеру допалювання, і саме там воно згорає до кінця. У топці 11 паливо остаточно догорає, і утворюються топкові гази. Вентилятор 2 всмоктує повітря, яке змішується з топковим газом. Ця газова суміш є теплоносієм установки.

Для забезпечення обертання барабана 4 призначений привід 12. У барабані продукція сушиться від початкового значення вологості в 65 - 80% до залишкового вмісту вологи в продукті в 8 - 10%. Вичавки, що висушилися, всмоктуються за допомогою вентилятора 2 в циклон 3. У циклоні відбувається відділення продукції від сушильного агента (сухі вичавки осідають). Відбірник 14 слугує для очищення продукту від важких частинок. Ця процедура є завершальною перед подрібненням висушеної продукції. В молотковому млині 16 вичавки подрібнюються. Через шлюзовий затвор, а саме дозатор 13, поміщаються туди.

Висушений, подрібнений продукт забирається з млина 16 за допомогою вентилятора 1 і надходить в циклон 19. У циклоні знову відбувається процес осадження і через шлюзовий затвор, дозатор 18, маса потрапляє у розподільний шнек 17. Для прийому готової продукції на шнеку є люльки, на які надіті мішки 15.

У відцентрових скруберах над форсунками знаходиться вільна від подачі води зона, що дає можливість краплинам досягнути стінок апарата перш ніж

газовий потік вийде з нього. Ось таким чином відцентрові сили дозволяють різко зменшити винесення рідини з апарата.

1.7 Розробка ефективних систем мокрого очищення повітря від цукрового пилу

На багатьох цукрових заводах при очищенні відпрацьованого викидного повітря сушарок цукру впроваджені апарати мокрого повного санітарного очищення повітря від цукрового пилу. З метою зниження питомої витрати повітря, експлуатаційних та капітальних витрат на процес до системи аспірації сушарки підключена система аспірації приміщення сушарки та місць пересипання цукру. Його запилене повітря використовується в якості холодного дуття у сушарку і класифікатора для аеродинамічного видалення «дріб'язку» і знепилення продукту в сушарці. Таке комплексне рішення сприяє поліпшенню якості продукту, санітарної обстановки, а також виключенню втрат цукру на стадії сушки та утилізувати концентрованим розчином некондиційний цукор у виробництві.

При проектуванні таких систем очищення повітря дуже часто застосовують апарати сухого типу, в основному циклони, ефективність яких не забезпечує уловлювання дрібнодисперсних фракцій цукрового пилу, що призводить до втрати цукру ($\approx 5\%$) і погіршення санітарної обстановки.

1.8 Пиловловлювачі для очищення повітря від пилу на промислових підприємствах

Суть пиловловлювання та його види

Вловлювання пилу у місцях його виділення та накопичення за допомогою місцевих відсмоктувачів витяжної вентиляційної системи (кожухів, зонтів, рукавів, витяжних шаф тощо) з подальшим очищенням запиленого повітря (газів) у спеціальних апаратах-пиловловлювачах називають пиловловлюванням.

Очищене від пилу повітря викидається в атмосферу, потім очищається від газових складових чи знову скеровується повністю або частково у технологічний процес для повторного використання.

Існують технологічна та санітарна системи пиловловлювання. Технологічна призначена для очищення повітря від газів чи пилу та використовується для технологічних потреб (наприклад, пневмотранспорт). Санітарна система призначена для захисту повітряного басейну від забруднення шкідливими хімічними речовинами, біологічно активними сполуками та радіонуклідами.

1.9 Газопромивачі (скрубери) відцентрової дії

Принцип використання відцентрової сили для вловлювання частинок пилу, який дуже широко застосовується в циклонах, знайшов своє застосування і в цілому ряді мокрих апаратів.

Циклон з мокрою плівкою необхідно віднести до мокрих відцентрових пиловловлювачів. Перешкоджає вторинному виносу осілих на них частинок пилу зрошення внутрішніх стінок циклона.

Окрім циклонів з мокрою плівкою відомі й інші конструкції мокрих відцентрових пиловловлювачів, що зазвичай називають мокрими відцентровими скруберами. За рахунок збільшення відносної швидкості краплин і газового потоку, що досягається при використанні відцентрових сил обертового газового потоку, ефективність пиловловлювання у цих апаратів вища, ніж у звичайних циклонів.

Таблиця 1.1 Технічна характеристика пиловловлювачів типу ПВМ

Типорозмір пиловловлювача	Продуктивність, м ³ /год	Номер і тип встановленого вентилятора	Об'єм води в бункері пиловловлювача, м ³	Маса (без води і вентиляційного агрегату), кг
ПВМ 3 СА	3000	ВЦ 14-46 № 2,5-01	0,7	747
ПВМ 5 СА	5000	ВЦ 7-40 № 5-06	1,2	1200
ПВМ 10 СА	10000	ВЦ 7-40 № 6-06	1,45	2610
ПВМ 20 СА	20000	ВЦ 6-45 № 8-06	2,2	2625
ПВМ 40 СА	40000	ВЦ 4-76 № 10-06	5,5	3750
ПВМ 5 КБ	5000	ВЦ 7-50 № 5-06	1,2	1265
ПВМ 10 КБ	10000	ВЦ 7-40 № 6-06	2,3	1828
ПВМ 20 КБ	20000	ВЦ 6-45 № 8-06	3,0	2005
ПВМ 40 КБ	40000	ВЦ 4-76 № 10-06	5,8	3932
ПВМ 10 Б	10000	ВЦ 7-40 № 6-06	1,45	1520
ПВМ 20 Б	20000	ВЦ 6-45 № 8-06	2,2	2320
ПВМ 40 Б	40000	ВЦ 4-76 № 10-06	5,5	4150

Відцентрові скрубери, які застосовуються на практиці, конструктивно можна розділити на два види: апарати а тангенціальним підведенням газів та апарати, в яких закручування газового потоку відбувається за допомогою спеціальних направляючих лопаток.

1.10. Очищення газів від аерозолів

По їхньому основному принципу методи очищення можна розділити на механічне, електростатичне та очищення за допомогою звукової та ультразвукової коагуляції.

1.10.1 Механічне очищення газів

Включає мокрі й сухі методи. До сухих методів відносять інерційне й відцентрове пиловловлення, гравітаційне осадження, фільтрацію.

У більшості промислових газоочисних установок комбінується кілька прийомів очищення від аерозолів, причому конструкції очисних апаратів досить численні.

Інерційне осадження базується на тому, що частинки зберігають первісний напрямок руху при зміні напрямку газового потоку. Серед інерційних апаратів найчастіше застосовують жалюзійні пиловловлювачі із більшим числом щілин (жалюзі). Виходячи через щілини і міняючи при цьому напрямок руху газу знепилюються. Швидкість газу на вході у апарат 10 – 15 м/с. Гідравлічний опір апарата 100 – 400 Па (10 – 40 мм. вод. ст.). Частки пилу з $d < 20$ мкм у жалюзійних апаратах не вловлюються. Ступінь очищення залежно від дисперсності часток становить 20 – 70%.

Лише для грубого очищення газу можна застосовувати інерційний метод. Окрім малої ефективності недоліком цього методу є швидке забивання або стирання щілин.

Відцентрові методи очищення газів засновані на дії відцентрової сили, що виникає під час обертання газового потоку, а також очищає в очисному апараті або при обертанні частин самого апарата. Як відцентрові апарати пилоочищення застосовують циклони різних типів, це батарейні циклони, які обертаються та пиловловлювачі (ротоклони) тощо.

Найчастіше циклони застосовують у промисловості для осадження твердих аерозолів.

Гравітаційне осадження базується на осадженні зважених часток під дією сили ваги під час руху запиленого газу з малою швидкістю без зміни напрямку потоку. Цей процес проводять у відстійних газоходах і пилоосадних камерах. Для зменшення висоти осадження часток в осадних камерах встановлено на відстані 40–100 мм багато горизонтальних полиць, які розбивають газовий потік на плоскі струмені. Такий метод придатний лише для попереднього, грубого очищення газів.

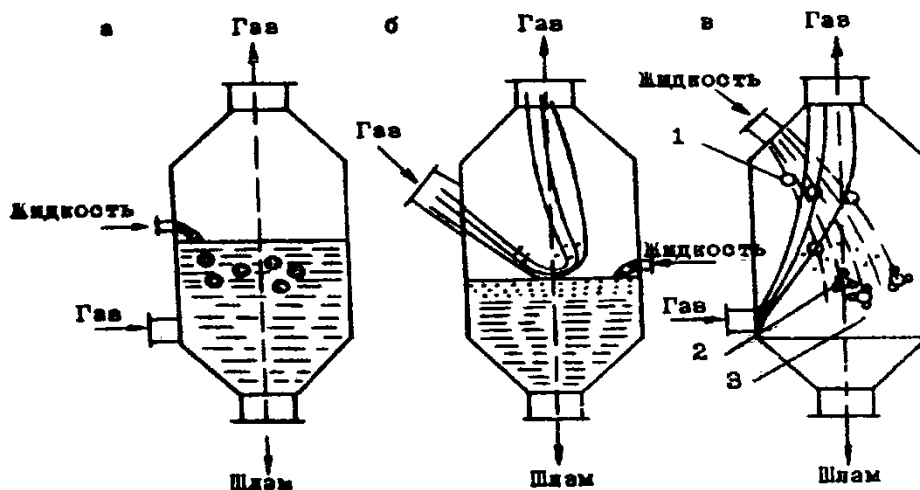


Рис. 1.10 Типи мокрих пилоуловлювачів

Фільтрація заснована на проходженні газу, що очищається, через різні фільтруючі тканини (хімічні волокна, бавовна, вовна, скловолокно тощо) або через інші фільтруючі матеріали (металокераміка, кераміка, пористі перегородки із пластмаси тощо). Найчастіше для фільтрації застосовують спеціально виготовлені волокнисті матеріали такі як вовна або бавовна з азбестом, скловолокно, азбоцелюлоза. Залежно від фільтруючого матеріалу розрізняють тканинні фільтри (у тому числі рукавні), волокнисті, із зернистих матеріалів (металокераміка, пористі пластмаси, кераміка).

Фільтрація це досить розповсюджений прийом тонкого очищення газів. До переваг відносять порівняно низьку вартість устаткування (за винятком металокерамічних фільтрів) та високу ефективність тонкого очищення.

Недоліками фільтрації є високий гідравлічний опір та надто швидке забивання фільтруючого матеріалу пилом.

1.10.2.Електростатичне очищення газів

Електростатичне очищення газів слугує універсальним засобом, придатним для будь-яких аерозолів, включаючи тумани кислот при будь-яких розмірах часток. Метод базується на іонізації й заряді часток аерозолію під час проходження газу через електричне поле високої напруги, що створюється електродами. На заземлених осаджувальних електродах відбувається

осадження часток. Промислові електрофільтри складаються з ряду заземлених труб або пластин, через які пропускається газ.

Під час очищення від пилу сухих газів електрофільтри можуть функціонувати в широкому діапазоні температур (від 20 до 500°C) і тисків. Гідравлічний опір невеликий 100 – 150 Па. Ступінь очищення від аерозолів – вище 90%, досягаючи 99,9% на багатопільних електрофільтрах при $d > 1$ мкм.

Недоліком цього методу є великі витрати засобів на побудову очисних установок і значна витрата енергії на створення електричного поля. Витрата електроенергії на електростатичне очищення 0,1 – 0,5 кВт на 1000 м³ газу.

1.10.3.Звукова та ультразвукова коагуляція

Такий метод поки що мало застосовується в промисловості та перебуває на стадії розробки. Він заснований на укрупненні аерозольних часток, що полегшує їхнє вловлювання традиційними методами

1.11.Загальна характеристика мокрих способів пилевловлення

У мокрих пиловловлювачах очищення газу відбувається при зіткненні газу з рідиною, а найчастіше з водою. При цьому зважені в газі частки пилу змочуються рідиною, обважуються й випадають із газового потоку або під дією сил ваги та інерції, у тому числі відцентрових сил, чи захоплюються рідиною та виводяться з апарату у вигляді шламу. Під час очищення газу в мокрих пиловловлювачах він там і охолоджується.

Процесу вловлювання часток пилу в мокрих пиловловлювачах сприяє конденсація парів рідини, що втримуються в газі, під час його охолодженні.

За принципом дії мокрі пиловловлювачі поділяються на наступні групи:

- Барботажні й пінні апарати.
- Статичні газопромивачі, до яких відносяться зрошувальні пристрої, порожні й насадочні скрубери.
- Мокрі відцентрові пиловловлювачі.

- Пиловловлювачі ударно-інерційного типу.
- Динамічні газопромивачі.
- Швидкісні пиловловлювачі.

Мокрі пиловловлювачі більш ефективні у порівнянні із сухими апаратами. Їх застосовують у тих випадках, коли вловлений з газу пил може бути використаний в мокрому вигляді та коли необхідно остудити газ незалежно від його очищення. Через те що в промивній рідині, що вводять у мокрі апарати газоочистки, можуть розчинятися газові компоненти, що втримуються в газі (CO_2, SO_2, NO_2 тощо), здатні утворювати кислоти, під час застосування мокрих способів, очищення газу потрібно вживати заходів проти корозії газоходів і апаратів, а також проводити нейтралізацію шламових вод. Труднощі під час експлуатації мокрих пиловловлювачів виникають і у зв'язку з виносом бризів води чи іншої промивної рідини із апаратів, а також у зв'язку з утворенням відкладень на внутрішній поверхні апаратів у процесі взаємодії пилу з рідиною. Таке ж саме відкладення спостерігають і в газоходах за апаратами газоочищення і на роторі димососів і вентиляторів, що призводить до заростання газоходів. Для боротьби з виносом бризів слід дотримуватися оптимального режиму роботи апаратів, зокрема швидкість газу й встановлення спеціальних бризовловлювачів та каплевловлювачів. Для боротьби з відкладеннями апарати промивають механічним шляхом, знімаючи з поверхні налипли матеріали. Все частіше для захисту від відкладень стали застосовувати синтетичні покриття машин і апаратів. Зокрема, в американській практиці лопатки димососів та вентиляторів покривають тефлоном. Він досить міцний і дає можливість наносити його на лопаті будь-якої форми.

Частки пилу по здатності змочуватися поділяють дві групи: гідрофільні (добрезмочувані) і гідрофобні (поганозмочувані). У дрібних частинках пилу на поверхні утвориться плівка газу, яка перешкоджає їхньому змочуванню. Для поліпшення змочуваності дрібного пилу в промивну рідину доцільно вводити поверхнево активні добавки, які руйнують плівку газу на поверхні часток пилу.

Під час очищення гарячих газів із високим вологовмістом та подачі в апарат холодної рідини на зрошення на частинках пилу й краплях рідини конденсується водяна пара. А також при вдмухуванні пари в холодний потік запиленого газу відбувається інтенсивна конденсація водяної пари. При цьому збільшуються маса та розмір часток пилу внаслідок конденсації на їхній поверхні водяної пари, так і в результаті перемішування з краплями рідини й водяними парами.

1.11.1.Статичні газопромивачі

Розбризкувачі відносять до зрошувальних пристроїв. Вони встановлені в промивні камери і газоходи. У зрошувальних пристроях запилений газ пропускають через завісу, що розприскує або розпорошує воду. При цьому частки пилу, зіштовхуючись із краплями рідини, укрупнюються, змочуються та обважуються і під дією сил ваги випадають із газового потоку.

Порожній скруббер являє собою пустотілу прямокутну чи циліндричну вежу, яка виконана з металу. У деяких випадках для виготовлення порожніх скрубберів використовують цеглу, залізобетон і інші матеріали. Якщо є така потреба, то внутрішню поверхню скрубберів футерують або покривають антикорозійними сумішами чи плитками. У верхній частині скруббера розташовують форсунки таким чином, щоб весь поперечний переріз скруббера був перекритий факелами розприскуємої рідини (найчастіше це вода). Через похилий патрубок, що розташований у нижній частині апарата, у скруббер уводять газовий потік. Патрубок похилий сприяє більш рівномірному розподілу газу по перетину скруббера. У деяких випадках (при охолодженні малозапилених газів) на деякій відстані від вхідного патрубку для цієї ж мети встановлюють газорозподільні ґрати. Таким чином, газ рухається у скруббері знизу нагору, а вода, яка розприскується форсунками, зверху вниз, назустріч газу, що рухається. Такі скруббери називають протиточними.

Газ і рідина, у деяких випадках, рухаються в одному напрямку. Тоді газ подається в апарат зверху і такі скруббери називають прямоточними. У

протиточному скрубери забезпечується кращий теплообмін та масообмін між газом і рідиною, ніж у прямоточному. При великій витраті рідини, що зрошує, встановлюють форсунки у два й більше яруси. При однорядному розташуванні форсунок факел розпилення зазвичай спрямований вертикально зверху вниз чи під деяким кутом. Під час розташування форсунок у декілька ярусів у верхнього ярусі факели спрямовані вниз, проти руху газу, а в інших ярусах факели спрямовані вгору, по ходу руху газу. У верхній частині скрубера виводиться газ. Шламова вода попадає в бункер, а потім через гідрозатор виводиться в шламову каналізацію. В бункері встановлюють поплавкову камеру для підтримки заданого рівня шламу. В залежності від тиску газу скрубери можуть бути підвищеного і нормального тиску. В основному вони розрізняються твердістю конструкції, конструкцією водовідвідника й гідрозатора.

В порожньому скрубери ступінь очищення газу від пилу невелика і становить не більше 50% навіть при пилу великих фракцій. У порожньому скрубери дрібні фракції (менш 10 мкм) практично не вловлюються. Тому порожні скрубери використовують, в основному, для зволоження і охолодження газу. Встановлюють їх перед апаратами, що призначені для тонкого очищення газу.

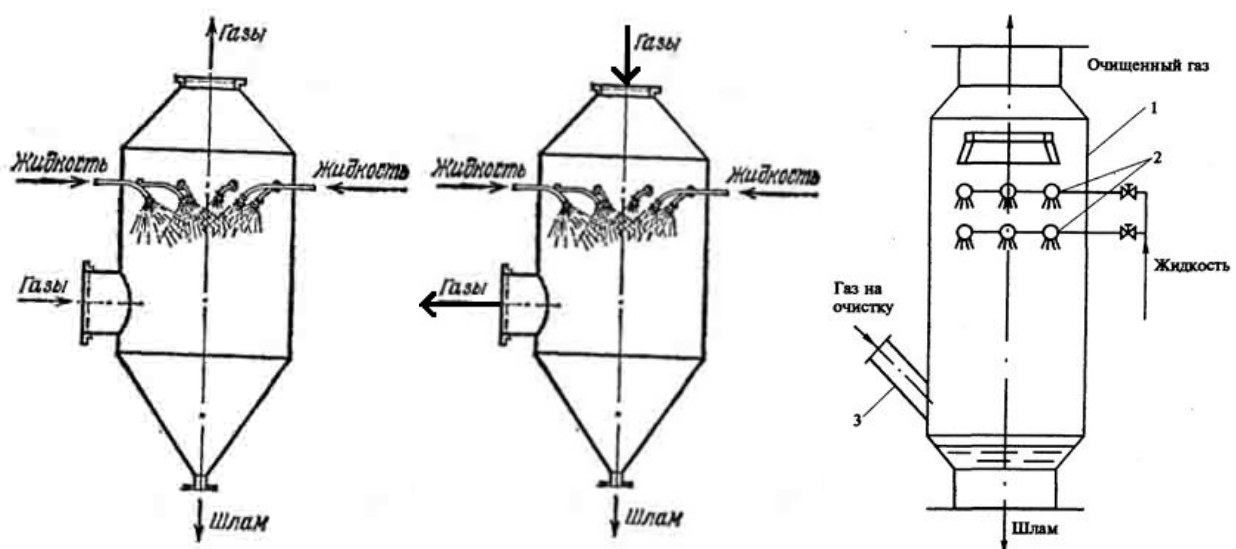


Рис. 1.11 Форсункові скрубери

1.11.2. Барботажні й пінні апарати.

У барботажних апаратах чи, як їх ще називають, барботерах, газ, що містить у зваженому стані крапельки чи пил, проходить через шар рідини у вигляді пухирців. При цьому виникає більша поверхня зіткнення газу з рідиною. Газ охолоджується, таким чином поліпшуються умови його очищення від зважених часток.

При введенні у трубу, опущену нижче рівня рідини, газ може продавлюватися через шар рідини. Для дроблення газу на пухирці край ковпака виконують зубчастим. У барботажних апаратах конструкції Гинцветмета газ продавлюють у рідину через край перегородки, що опущена нижче рівня рідини на 50 - 80 мм. Призначений він для очищення газу з великою запиленістю. На 1 м довжини перегородки рекомендують подавати до 3 тис. м³/г газу.

Пінні апарати.

Якщо через барботери пропускати газ зі швидкістю, що в 5-10 разів перевищує швидкість вільного спливання пухирців газу в рідині, то утвориться шар піни при взаємодії газу з рідиною. У цьому шарі рідина та газ інтенсивно перемішуються, таким чином відбувається безперервне руйнування, злиття й утворення нових газових пухирців. Водночас охолодження газу, очищення його від краплинних домішок й пилу, а також поглинання газоподібних компонентів відбуваються більш ефективно, ніж у барботері. Такі апарати називають пінними.

При проходженні газу через отвори ґрат зі швидкістю 5-12 м/с із рідини, яка перебуває на ґратах, утвориться шар піни. При висоті шаруючи води 20-50 мм в процесі проходження через ґрати газу утвориться шар піни висотою 100-200 мм. При цьому виникають три шари на ґратах: суцільний шар рідини, що розташований безпосередньо на ґратах, і через який газ проходить у вигляді пухирців (барботує), за ним шар піни, а ще вище - шар бризів. В основному

охолодження й очищення газу відбувається в шарі піни. При висоті шаруючої піни 100 мм забезпечується максимальний ступінь уловлювання пилу в пінному апараті та його охолодження до температури рідини. При більшій товщині шаруючої піни поліпшення вловлювання пилу не спостерігається. найоптимальніша швидкість газу у вільному перетині апарату (до та після ґрат) становитиме 2-2,5 м/с. З такою ж швидкістю газ рухається через шар піни. При більш високих швидкостях газу спостерігається бризковиніс. При швидкостях газу в отворі ґрат 5-6 м/с значна частина рідини провалюється через ґрати в апарат бункера 5. При швидкості газу понад 12-20 м/с рідина взагалі не попадає в бункер, що може призвести до засмічення отворів ґрат пилом.

При очищенні газів з великою запиленістю ($>15-20$ г/м³) або в разі використання пінного апарата, як теплообмінник використовують пінні апарати з двома і більше полицями. Під час очищення газів з меншою запиленістю зазвичай достатньо встановити в пінному апараті одну полицю. Кількість необхідних полиць визначається шляхом розрахунку рівнянь тепломасопередачі.

Більша частина вловленого пилу (60-80%) утримується в рідині, яка провалюється через ґрати в бункер. Концентрація пилу в шламі становить від 50 до 100 г/л. При вищій концентрації пилу виникають труднощі під час транспортування шламу по каналізаційних трубопроводах.

Пінні апарати ефективно працюють і процесі очищення вентиляційних і технологічних газів при температурах до 100° С і запиленості не більше 300 г/м³. Водночас питома витрата води на охолодження і очищення газів в апаратах з переливним пристроєм становить 0,2 – 0,3 л/м³ газу, а в апаратах з повним провалом води через ґрати 0,8 – 0,9 л/м³.

1.11.3. Пиловловлювачі ударно-інерційного типу

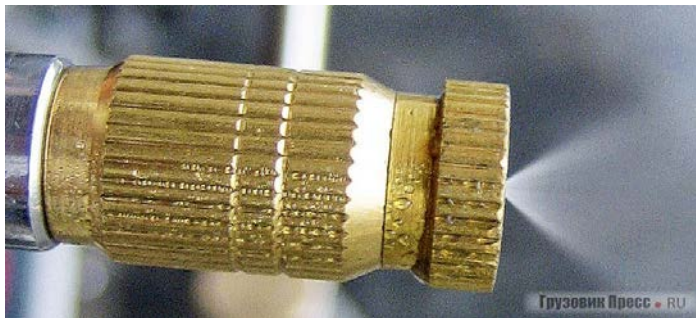
Мокрі пиловловлювачі ударно-інерційного типу працюють за принципом інерційного осадження частинок пилу чи рідини у процесі подолання газом

перешкоди, змоченої рідиною, або при різкій зміні напрямку газового потоку над поверхнею рідини.

При цьому частки пилу або краплі, що втримуються в газах, захоплюються рідиною чи тонуть у ній.



а



б



в

Рис.1.12 Зрошувальні пристрої

1.11.4.Мокрі відцентрові пиловловлювачі.

Мокрі відцентрові апарати, до яких відносяться циклони і скрубери з водяною плівкою складаються із циліндра, нижня частина якого переходить у конічний бункер (днище). Газ у такі апарати вводять через вхідний патрубок, який розташований тангенціально до циліндричної частини корпусу, що надає газу обертовий рух. У верхній частині корпусу по дотичній до внутрішньої поверхні розташовані сопла таким чином, щоб струмінь води, який впливає з них був спрямований убік обертання газу у апараті та створював тонку плівку, що стікає по стінках апарата у бункер.

Під дією відцентрової сили, що розвивається у процесі обертання газу, часточки, що втримуються у газі відкидаються на стінки апарата, захоплюються плівкою води та стікають разом із нею в бункер. Звідти через патрубок з гідрозатвором уловлений пил у вигляді шламу виводиться із апарата в каналізацію. Очищений газ видаляється з апарата через патрубок, що розташований по дотичній до корпусу апарата по ходу обертання газу, або через верх апарата без патрубка. Найефективніше із ступенем очищення до 99% взаємності від розміру часток мокрі відцентрові апарати працюють у тому випадку, якщо їхня конструкція дає можливість газу робити не менше п'яти обертів в циліндричній частині корпусу (від вхідного до вихідного патрубків).

Швидкість газу по перетину циліндричної частини апаратів рекомендують обирати від 2,5 до 5,5 м/с. При більшій швидкості газу відбувається бризковиніс. Циклони виконують діаметром не більше 1200 мм. У відцентрових скрубєрів діаметр корпусу сягає до 3300 мм. Чим більше розміри часток пилу та їхня щільність, чим менше діаметр циліндричної частини апарата й більше швидкість в його вхідному патрубку, тим краще очищається газ у відцентрових апаратах.

1.11.5. Швидкісні пиловловлювачі.

Скрубери Вентури – це високоінтенсивні газоочисні апарати, що працюють з більшою витратою енергії. Швидкість газу у звуженій трубі

(горловині скрубера) сягає 100 – 200 м/с, а в деяких установках до 1200 м/с. ПЗ такої швидкості газ, який очищається розбиває на дрібні краплі завісу рідини, що вприскують по периметру труби. Це спричиняє інтенсивне зіткнення часток аерозолі з краплями та уловлюванню часток під дією сил інерції. Скрубер Вентурі – універсальний малогабаритний апарат, який забезпечує вловлювання туману на 99 – 100%, часток пилу з $d = 0,01 – 0,35$ мкм – на 50–85% і часток пилу з $d = 0,5 – 2$ мкм – на 97%. [25.]

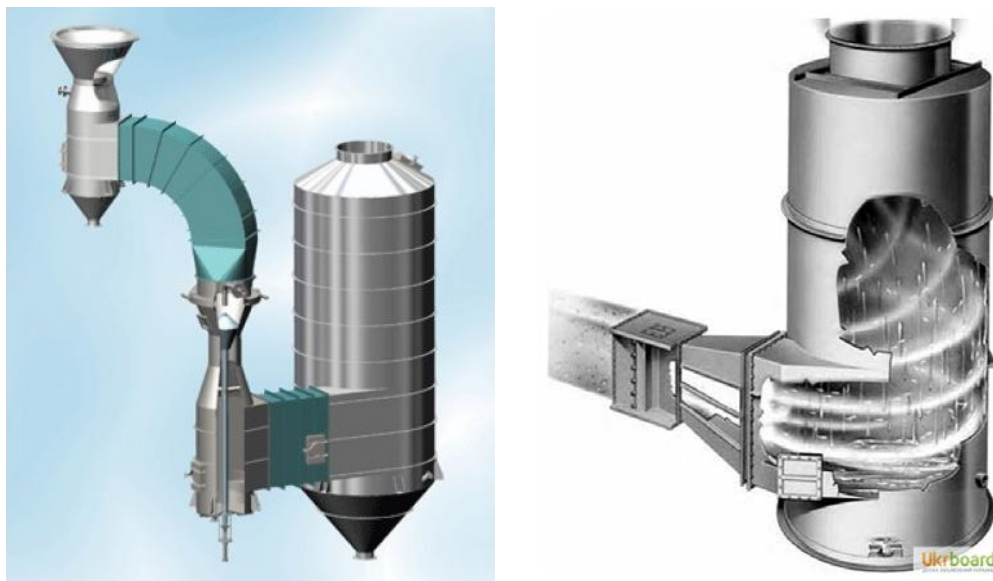


Рис. 1.13 Скрубер Вентурі

1.11.6. Динамічні газопромивачі.

У динамічних газопромивачах газ очищається від зважених у ньому часток під час зіткнення з рідиною, що розприскується за допомогою обертового тіла. Такими тілами можуть бути вали з дисками, лопатками, пустотілими циліндрами тощо. Динамічні газопромивачі здатні працювати тривалий час без поповнення свіжої рідини та відводу шламових вод. Рідину в цих апаратах можна використати до стану повного насичення газовими компонентами і пилом, що втримуються в газі. Тому динамічні газопромивачі використовуються для очищення газу від шкідливого і отруйного пилу та газових компонентів, шламові води яких потребують нейтралізації.

До динамічних газопромивачів належить також і роторний відцентровий апарат ротоклон, а також дезінтегратори, що виконують функції пиловловлювача і вентилятора.

Раніше дезінтегратори застосовували для очищення доменного газу від генераторного газу, пилу і смоли. Однак, через те що вони споживали 4 – 5 квт на кожні 1000 м3 газу і було необхідне попереднє охолодження газу до 50 – 60° С, але на тепер вони не знаходять застосування і їх змінюють більш економічними і ефективними апаратами.[24.]

Висновки

Незважаючи на недоліки мокрого пиловловлення, я використовую *скруббер Вентурі*, оскільки він використовуватиметься не як основний очисник, а як апарат доочистки повітря. Рівень очищення до 99% також можуть забезпечити фільтри і електрофільтри, але їх встановлення вимагає додаткових витрат часу (очищення мембран механічного фільтру) та економічні (значна витрата енергії на створення електричного поля електрофільтра і витрати засобів на спорудження очисних установок). Його перевага полягає в тому, його габарити значно менші, ніж у апаратів з аналогічною ефективністю очищення.

Тому в цій роботі необхідно дослідити ефективність очищення, розподіл часток, гідродинамічний опір, аеродинаміку потоку.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сам принцип використання відцентрової сили для вловлювання частинок пилу, що широко використовується в циклонах, також застосовується і в цілому ряді мокрих апаратів.

Циклон з мокрою плівкою відноситься до мокрих відцентрових пиловловлювачів. Перешкоджає вторинному виносу осілих на них частинок пилу зрошення внутрішніх стінок циклону.

Крім циклонів з мокрою плівкою відомі також і інші конструкції мокрих відцентрових пиловловлювачів, що найчастіше називають мокрими відцентровими скруберами. За рахунок збільшення відносної швидкості краплин і газового потоку, що досягається під час використання відцентрових сил обертового газового потоку, ефективність пиловловлювання таких апаратів вища, ніж звичайних циклонів.

Відцентрові скрубери, що застосовуються на практиці, конструктивно можна розділити на два види, а саме, апарати з тангенціальним підведенням газів та апарати, в яких закручування газового потоку відбувається за допомогою спеціальних направляючих лопаток.

У апаратах із тангенціальним підведенням газів швидкість газового потоку на вході може сягати 60 м/с; швидкість очищувальних газів в перерізі скрубера зазвичай складає 1,2...2,4 м/с; гідравлічний опір апарату 500...1500 кПа, а витрати води на очищення газів – 0,4...1,3 л/м³. Над форсунками встановлюють дисковий бризковідбійник для вловлювання бризок. Вирівнювання газового потоку на виході зі скрубера відбувається лопатковим розкручувачем. При розмірах завислих частинок більше 1 мкм ступінь очищення газів у апаратах може сягати 97% і більше.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.КР.007.002 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Методика проведення досліджень	Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/16

В такі скрубери підведення зрошувальної рідини може здійснюватися за допомогою форсунок, що розташовані вздовж стінок апарату (рис. 2.1). В такому випадку подача води в кількості $0,7 \text{ л/м}^3$ газів відбувається під тиском від 0,7 до 3 МПа, причому біля 40% краплин рідини припадає на ту частину скрубера, в якій вводиться газовий потік. Форсунки високого тиску з малими отворами витікання зобов'язують підведення добре очищеної від домішок рідини. Гідравлічний опір такого апарату складає від 300 до 600 Па.

У апаратах із внутрішніми завихрювачами (рис. 2.1) запилений газ через тангенціально розташований вхідний патрубок надходить у нижню камеру, де під дією відцентрових сил вилучаються найбільш великі частинки пилу. Між лопатками завихрювача, зрошуваного водою, збільшується швидкість потоку. Частинки пилу, ударяючись об зволожені поверхні та стикаючись з краплинами води, видаляються з потоку. Для зменшення виносу рідини на скрубери розміщений пакет відбивних перегородок. Для видалення дрібних частинок пилу використовуються апарати з багаторядним розташуванням закручувальних лопаток. Водночас лопатки суміжних рядів направлені в протилежні сторони. В однорядних пиловловлювачах питомі витрати води складають $0,25 \text{ л/м}^3$, гідравлічний опір складає 200...700 Па. У скруберах з

багаторядним розташуванням закручувальних лопаток гідравлічний опір та питомі витрати води збільшуються.

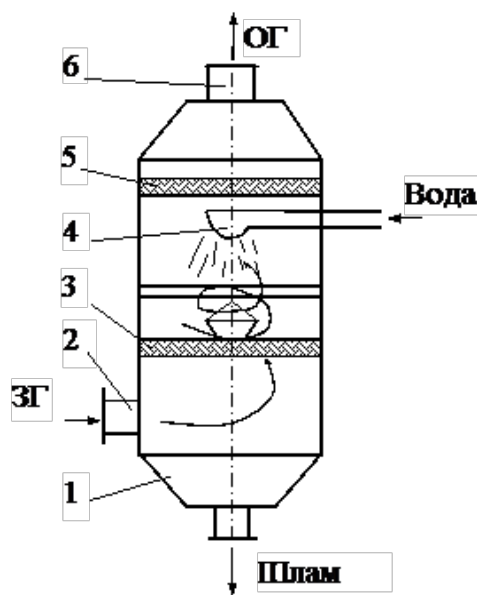


Рис 2.1 Відцентровий скрубер з внутрішніми завихрювачами:

1 – корпус; 2 – штуцер підведення запиленого газу; 3 – завихрювач для створення тангенціального руху газів; 4 – зрошувач; 5 – розкручувач для вирівнювання газового потоку;

6 – патрубок для відведення очищеного газу.

2.1.Механізми взаємодії водяних крапель і плівок з частинками пилу

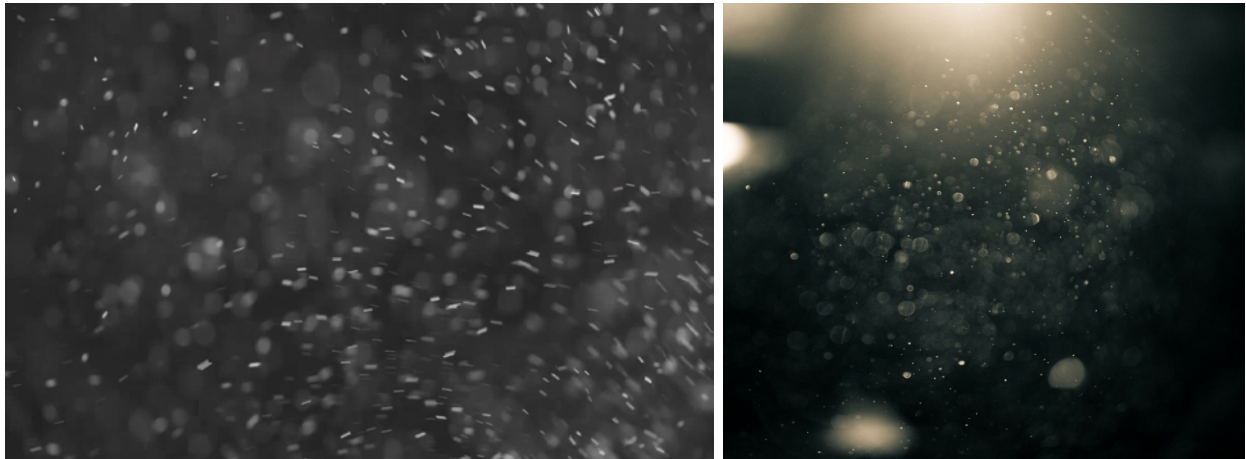


Рис. 2.2 Зображення пилу з рідиною

Сам процес уловлювання пилу у мокрих пиловловлювачах заключається в перенесенні твердої фази з газового середовища в рідку та вилучення останньої з апарату разом з твердою фазою.

Принцип дії мокрих пиловловлювачів полягає в осадженні частинок пилу чи молекул газу на поверхню крапель чи плівки рідини за рахунок сил інерції, гравітації і броунівського руху.

Щоб здійснити захоплення частинок пилу краплями рідини запилений потік промивають дисперсною рідиною. В процесі промивання частинки пилу захоплюються краплями рідини та виводяться із газового потоку.

Під час руху краплі в просторі, заповненому запиленним газом, осадження пилу на ній в основному відбувається внаслідок кінематичної коагуляції.

При гравітаційній коагуляції захоплення частинок пилу щільністю $\rho_{\text{ч}} = 2000 \text{ кг / м}^3$ розпорошеною водою можливий лише при розмірі частинок $d_{\text{ч}} > 1 \text{ мкм}$.

Частинки менше 1 мкм на краплях практично не осідають.

Кінематична коагуляція це процес злипання частинок різних за розмірами в результаті їх зіткнення при відносному русі, який виникає під впливом зовнішніх сил та при різних швидкостях.

В результаті коагуляції утворюються агрегати – більші (вторинні) частинки, що складаються зі згуртування дрібних (первинних) часток. [2.]

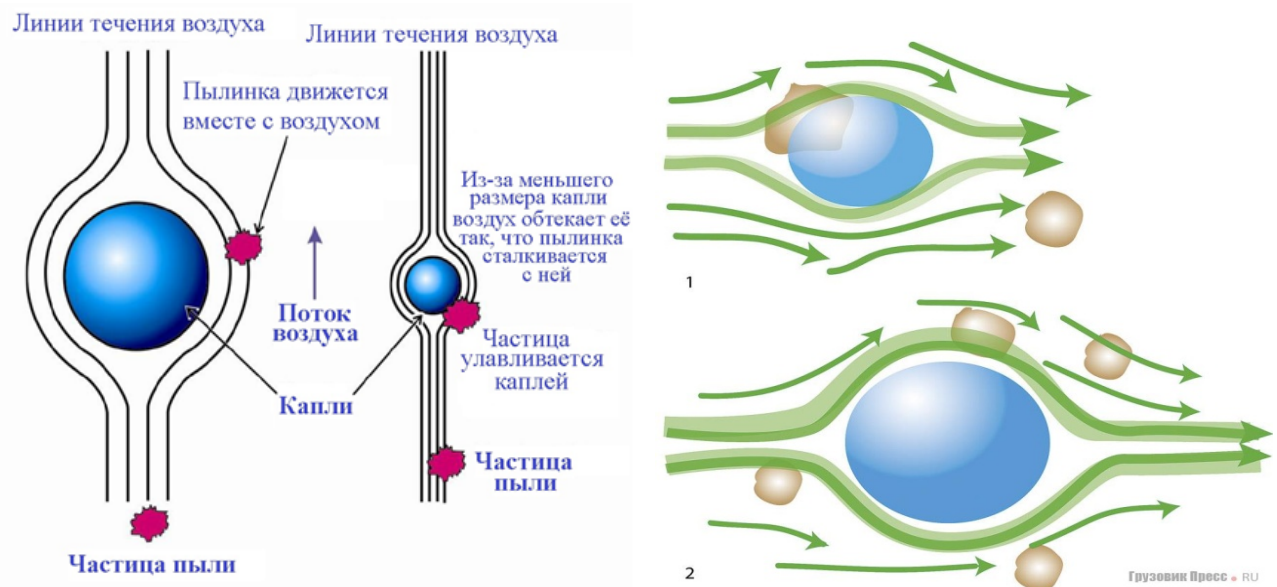
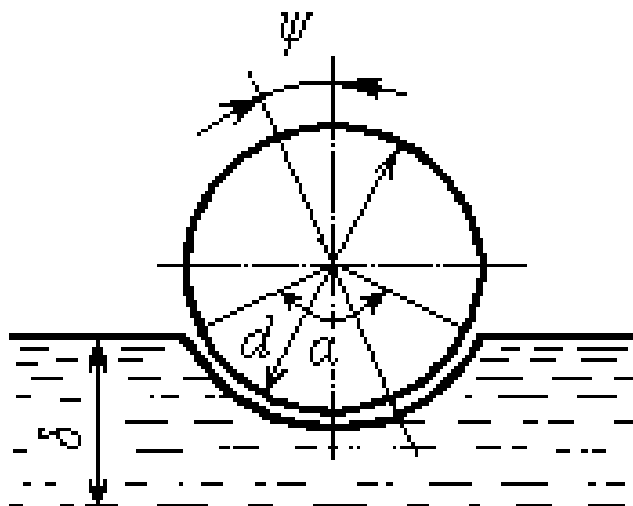


Рис 2.3 Взаємодія водяних крапель з частинками пилу

Механізм взаємодії частинок пилу в повітрі і крапель водяного туману

1 - якщо розмір частинок пилу і крапель близький, то дуже висока ймовірність їх споуки;

2 - якщо краплі набагато більші ніж частинки пилу, то пил буде обтікати краплі разом з потоками повітря і не поєднається з водою.



Сили інерції залежать від маси крапель і частинок пилу, а також залежать від швидкості їх руху. Частинок пилу дуже малого розміру (менше 1 мкм) не володіють достатньою кінетичною енергією та

при зближенні з краплями здебільшого огинають їх та не вловлюються рідиною.

Захоплення і осадження частинок пилу плівкою рідини відбувається під час направлення потоку частинок пилу на поверхню рідини, попередньо змочивши її рідиною плівку чи стінку спеціально отриманих газових бульбашок. Під час удару частинок об поверхню водяної плівки можливий або відскік частинок або уловлювання (захоплення). Для уловлювання частинок необхідно, щоб їх кінетична енергія перевищувала роботу занурення часток у рідину, тобто роботу подолання сил поверхневого натягу.

2.2 Мокрі пиловловлювачі

У мокрих пиловловлювачах (ПУ) очищення газу відбувається під час контакту газу з рідиною.

Зважені у газі частинки пилу змочуються, обтяжуються та виводяться із газового потоку під дією гравітаційних сил або сил інерції, чи захоплюються рідиною та видаляються у вигляді шламу.

Чим краще змочуваність, тим ефективніше сам процес очищення.

Водночас відбувається і охолодження газу.

Так як при змочуванні маса (розміри) частинок стає більше, у мокрих пиловловлювачах ефективність очищення буде краще, ніж в однотипних сухих.

Досить широке застосування мокрі пиловловлювачі знайшли для очищення газів та повітря від дрібнодисперсного пилу із розмірами частинок більше 0,3 – 1,0 мкм, а також для очищення від вибухонебезпечного пилу та мають високу температуру газів.

2.3 Методика визначення режимів роботи швидкісних скрубєрів (Вентурі)

Турбулентний промивач, або, як його інакше ще називають, труба Вентурі, скрубєр Вентурі, труба-коагулятор, складається із трьох частин (див.

рис. 2.4): конфузора 1, горловини 2 і дифузора 3. Запилений газ вводять у широкий отвір конфузора, у якому його швидкість збільшується.

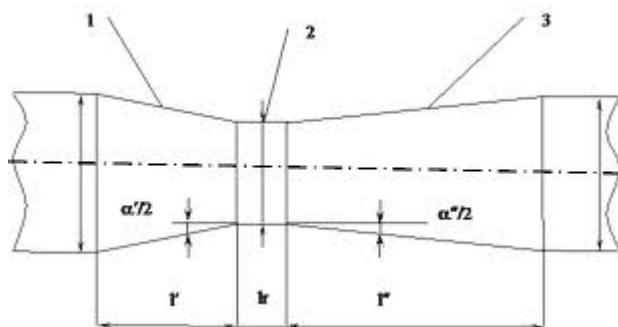


Рис.2.4 Нормалізована труба Вентурі

На деякій відстані від горловини у конфуздор подають воду. У горловині газ набуває високої швидкості руху, у турбулентному потоці якого вода дробиться на дуже дрібні краплі. Чим вище швидкість руху газу, тим виходить більше дрібних крапель та більше їх по кількості. Крапельки води, що утворилися, інтенсивно переміщуються у потоці газу, зіштовхуються із часточками пилу та укрупнюють їх. Змочений водою пил може укрупнюватися й при зіткненні частинок між собою. Чим більші краплі води, тим більша ймовірність їхнього зіткнення із частками пилу й тим ефективніше проходить процес коагуляції. Щоб дрібні частки води не випаровувалися й тим самим не погіршувалися умови коагуляції пилу, температура газу, що надходить у труби Вентурі, не повинна перевищувати 250°C .

При вході у дифуздор газ втрачає швидкість і відбувається подальша коагуляція пилу. Одночасно з коагуляцією пилу в турбулентному промивачі газ охолоджується і з нього поглинаються окремі газові компоненти, що добре розчиняються у воді або іншій рідині, що йде на зрошення. Швидкість газу у вхідному перетині конфузора та вихідному перетині дифузора рекомендують обрати $v_1=v_3= 18/24\text{ м/с}$.

Горловина труби Вентурі може бути прямокутного або круглого перетину. Турбулентні промивачі з горловиною прямокутного перетину використовують при змінній витраті газу.

Площу перетину горловини змінюють за допомогою поворотних лопат, пластинчастих елементів і секторів, з'єднаних з валом, що приводять у рух електродвигуном через редуктор, а також за допомогою конічних конусів, що вставляють у горловину. При зменшенні кількості газу автоматично зменшується і площа перетину горловини.

Більш зручні в експлуатації і не забиваються пилом круглі труби Вентурі, а також їх застосовують у всіх випадках, коли кількість газу, яка потрапляє на очищення, залишається постійною. Питома витрата води в турбулентному промивачі становить 0,25-1,25 л/м³.

Більша питома витрата води використовується при очищенні газу, що містить мілкодисперсний пил. Для очищення аспіраційного повітря, що містить крупнодисперсний пил, питома витрата води становить зазвичай 0,2-0,5 л/м³.

Подавати в горловину воду можна по осі труби через одне чи декілька сопел і за допомогою форсунки, що розташована на деякій відстані від вхідного перетину конфузора. В останньому випадку рідина, яка розпиляється форсункою, ежектує газ у трубу. На цьому принципі базується робота ежекторного скрубера. До сопла форсунки іноді додатково підводять стиснене повітря. Використовують також схему периферійного зрошення, при якій воду подають у початок горловини поперек напрямку газового потоку за допомогою трубок та кільцевого каналу. Таке зрошення застосовують коли горловина круглого та прямокутного перетину. Периферійне зрошення труби Вентурі має переваги і порівнянні із подачею води через центрально розташовані сопла, тому, що дає можливість прочищати отвори наконечників без припинення подачі газу та виключає абразивне зношування і утворення відкладень на пристрої, що зрошує. Однак під час подачі води на її дроблення витрачається більша енергія газового потоку.

У деяких випадках, зокрема під час очищення газу від пилу, схильного до утворення відкладень на стінках труби, а також при очищенні газу від газоподібних домішок, застосовують комбіноване зрошення: через центрально розташоване сопло й плівкове, коли вода стікає тонкою плівкою по стінках конфузора в горловину. Плівкове зрошення можна здійснювати за допомогою

бака з рівнем рідини, трохи вище крайки вхідного перетину конфузора (зливального порога) і за допомогою сопів, розташованих тангенціально до перетину конфузора .

На плівкову подачу витрату води приймають рівним 0,5-0,8 м³/ч на 1 м довжини зливального порога. Зливальний поріг рекомендують влаштовувати від початку горловини на відстані не менш 1,2 діаметри або ширини щілини горловини.

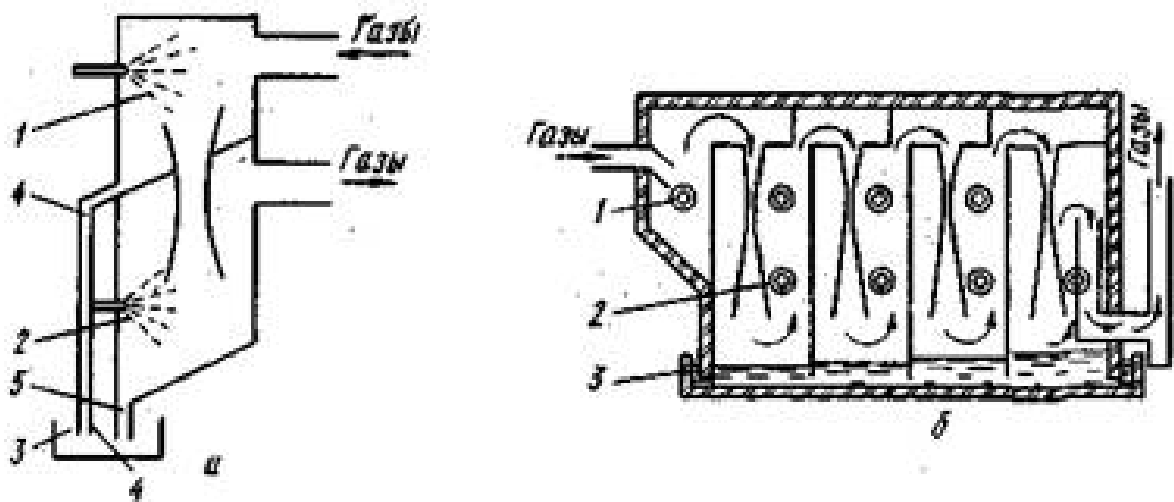


Рис. 2.5. Система скруберів Вентурі «Солівор»:

а - один щабель; б - чотирьохступінчата установка; 1 - форсунка тонкого розпилу; 2-форсунка грубого розпилу; 3 - резервуар-відстійник; 4 - пристрій для виводу великих часток; 5 - пристрій для виводу дрібних часток

Проведені на трубах Вентурі при різних способах зрошення дослідження показали, що метод підведення рідини не має вирішального значення для отримання необхідного ступеня очищення газу. Під час вибору способу зрошення рекомендують керуватися лише зручністю конструкції та надійністю роботи розпилюючі пристроїв.

Існують швидкісні пиловловлювачі, у які воду для зрошення газу не вводять безпосередньо в турбулентний промивач. До таких пиловловлювачів

відноситься система «Солівор» (рис.2.5), у якій застосовують для укрупнення пилу ефект конденсації. Запилений газ поступає у верхню камеру (рис. 2.5, а), в яку за допомогою форсунок подають воду в тонкорозпиленному стані. У цій камері газ насичується вологою, а великі частки пилу випадають із газового потоку. Насичені гази поступають у трубу Вентурі, у якій з ростом швидкості газу знижується його тиск, а крапельки води випаровуються. При просуванні газу до дифузора тиск знову зростає, а водяні пари конденсуються на частинках пилу, що укрупнюються. В результаті контакту із краплями води грубого розпилу подальше укрупнення пилу здійснюється у нижній камері. Там же частинки осаджуються під дією сил інерції при різкій зміні напрямку руху газу. На рис.2.5б зображена багатоступінчаста установка турбулентних промивачів у системі «Солівор». Саме такі системи широко використовують за кордоном для очищення технологічних газів. Останнім часом їх застосовували для очищення конверторних газів.

Для системи «Солівор» характерний низький гідравлічний опір, однак для нормальної її роботи потрібно дуже тонке розпилення рідини, якого досягають у результаті застосування води підвищеної якості та додаткових витрат енергії.

Труби Вентурі можна встановлювати у горизонтальному, вертикальному, чи похилому положенні. При цементуючому, а також пилу, що злипається, їх рекомендують встановлювати у вертикальному положенні. У цьому випадку частину води на зрошення варто подавати у вигляді плівки на внутрішню поверхню конфузора. Для забезпечення рівномірного зрошення при діаметрі горловини менше 300 мм у трубі Вентурі встановлюють форсунку або одне сопло. При більшому діаметрі горловини рівномірний розподіл води по перетину труби може бути забезпечено установкою декількох центрально розташованих сопел або форсунок. При подачі води тільки через центрально розташовані сопла діаметр горловини не повинен перевищувати більше 800 мм, а якщо горловина прямокутного перетину, то її ширина повинна бути не більше 500 мм. Якщо під час розрахунків ці розміри вийдуть більшими, то потрібно встановити не одну, а декілька труб Вентурі (об'єднати їх у блок). Діаметр вихідного перетину сопла не повинен бути менше 6 мм для запобігання

швидкого його забивання пилом, що втримується в оборотній воді, а також не більше 8-12 мм для забезпечення рівномірного розподілу рідини по перетину горловини. При плівковому зрошенні діаметр труби Вентурі чи ширина прямокутної труби не мають бути більше 100 мм.

В системі зрошення, окрім плівкової подачі води, зазвичай тиск води становить 50 - 150 кН/м² (5-15 м вод. ст.) і має бути не менш 10 кН/м² (1 м вод. ст.) перед соплом, розташоване центрально і 20 кН/м² (2 м вод. ст.) перед форсункою, розташованою центрально.[12.]

Гідравлічний опір труби Вентурі залежить від швидкості газу в горловині та інтенсивності зрошення. Його визначають за формулою

$$\Delta p = \left(\xi_c + \xi_{\text{рід}} \frac{m \rho_{\text{рід}}}{\rho_2} \right) \frac{\rho_2 v_2^2}{2} \text{ Н/м}^2 \quad (1)$$

де

ξ_c - коефіцієнт гідравлічного опору сухої труби Вентурі із круглим або прямокутним перетином горловини, що рівний 0,12-0,15;

$\xi_{\text{рід}}$ - коефіцієнт гідравлічного опору труби Вентурі, що враховує введення у неї рідини, яка зрошує;

v_2 - швидкість газу в горловині труби Вентурі, м/с;

m - питома витрата рідини;

$\rho_{\text{рід}}$ - щільність води, Нс₂/м⁴, (табл.знач);

ρ_2 - щільність газу в горловині труби Вентурі в робочих умовах, Нс²/м⁴.

Значення $\xi_{\text{рід}}$ залежить від швидкості газу і рідини, їхньої щільності та для орієнтовних розрахунків можна знайти на рис.2.6. По залежностях, що знайдені експериментально, визначається більш точне значення коефіцієнта гідравлічного опору. Зокрема, для труб Вентурі прямокутного та круглого перетину маючих довжину горловини $l_2=0,15D_2$ (або $l_2=0,15 D_{\text{екв}}$ в трубах прямокутного перетину), швидкість газу в горловині труби $v_2=60/160$ м/с та питомій витраті рідини $m=0,4/1,7$ л/м³ при введенні її через сопла.

$$\xi_{\text{рід}} = 0.63 \xi_c m^{-0.3}, \quad (2)$$

Для труб з довгими горловинами $l_2 = (0,15/12)D_2$ в круглому або $l_2 = (0,15/12)D_{\text{екв}}$ в прямокутному перетинах, при швидкості газу $v_2 > 60$ м/с

$$\xi_{\text{рід}} = 1.69 \left(\frac{l_2}{D_2} \right)^{0.29} \xi_c m^{1-b}, \quad (3)$$

Величина b , що входить у показник ступеня:

$$b = 1.12 \left(\frac{l_2}{D_2} \right)^{-0.045}. \quad (4)$$

Як видно з формули (1), чим вище швидкість газу в горловині труби та чим більша питома витрата води на її зрошення, тим вище гідравлічний опір і тим ефективніше проходить процес коагуляції пилу.

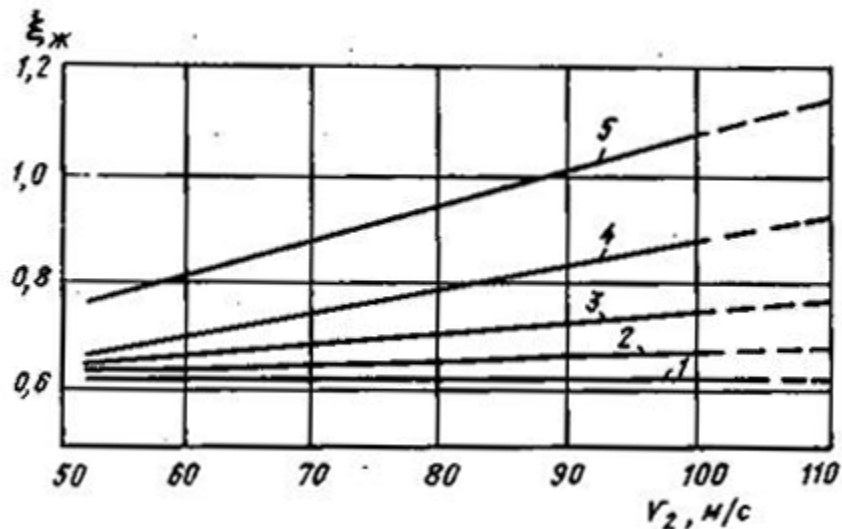


Рис.2.6 Залежність $\xi_{\text{ж}}$ від швидкості газу v_2 в горловині труби

Вентурі при різній витраті води m :

$$1 - m = 0.3 \cdot 10^{-3};$$

$$2 - m = 0.5 \cdot 10^{-3};$$

$$3 - m = 0.75 \cdot 10^{-3};$$

$$4 - m = 1 \cdot 10^{-3};$$

$$5 - m = 1.25 \cdot 10^{-3}$$

Труби Вентурі, які мають опір менше 5000 Н/м^2 (510 мм вод. ст.), називають низьконапірними. В основному їх використовують для очищення повітря та газу від частинок пилу крупніше 3 мкм у системах промислової вентиляції та газів парових казанів в енергетиці. Високонапорні труби Вентурі з опором $5000\text{-}25000 \text{ Н/м}^2$ (510-2550 мм вод. ст.) в більшості випадків використовуються для очищення технологічних газів.

Фракційну ефективність турбулентного промивача визначають по формулі

$$\eta_i = e^{-1.56m\sqrt{Stk}}, \quad (5)$$

де:

m – питома витрата зрошуючої рідини, що віднесена до об'єму газів на вході в трубу Вентурі, л/м^3 ;

$$e = 2,718;$$

Stk – критерій Стокса;

$$Stk = \frac{\rho_{\text{п}} v_{\text{ум}} D_{\text{п}}^2}{18 \nu \rho_1 D_{\text{в}}}. \quad (6)$$

де:

$v_{\text{ум}}$ – умовна швидкість газу, що дорівнює відношенню секундної витрати газу на вході в трубу до перетину її горловини, м/с ;

ρ_1 – густина газу в робочих умовах на вході в трубу Вентурі, кг/м^3 ;

$\rho_{\text{п}}$ – густина пилу, кг/м^3 ;

$$v_{\text{ум}} = \frac{4V}{\pi D_2^2} \text{ м/с}; \quad (7)$$

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості газу, м²/с;

D_B – середній діаметр крапель зрошуючої води після подрібнення її газовим потоком, м;

D_n – середній розмір часток пилу, м.

$$D_B = \frac{4810}{\nu_{ум}} + 28.8\sqrt{m^3} \text{ мкм.} \quad (8)$$

Як можемо бачити з цієї формули, то чим вище швидкість газу, тим менший розмір краплі виходить у результаті її дроблення. Збільшення питомої витрати води сприяє збільшенню розміру краплі.

Під час встановлення труб Вентурі в горизонтальному чи похилому положенні для очищення газу від укрупнених часток пилу і крапель води встановлюють відцентровий прямоточний циклон (скруббер) або апарат інерційної дії. Під час встановлення труб у вертикальному положенні між трубами й відцентровим апаратом конструктивно встановлюють апарат інерційної дії, тому, що газ насичений краплями води, у відцентрові апарати воду подають тільки періодично для промивання. При швидкості газу 30-60 м/с, при якій виходять порівняно великі краплі, після труби Вентурі може бути встановлений тільки інерційний апарат. Останнім часом для дроблення води в горловині труби Вентурі І.С.Андріанов та С.І.Луговский спробували використати гідроакустичні форсунки. Воду в них подають під тиском 0,505 МН/м² (5 ат), і за допомогою стисненого повітря тиском 0,202 МН/м² (2 ат) вода дробиться на дрібні частинки. Вторинне дроблення води відбувається в результаті турбулентного руху газу. Завдяки тому, що вода дробиться в основному за допомогою форсунки, швидкість газу в горловині не перевищує 60 м/с, а опір становить до 440 Н/м² (45 мм вод. ст.).

Під час використання гідроакустичних форсунок, на думку цих авторів, скорочується витрата зрошувальної води, поліпшуються умови коагуляції в акустичному полі та підвищується ефективність наступного пиловловлення.

Ефективність пиловловлення у швидкісному пиловловлювачі із використанням гідроакустичних форсунок можна визначити за емпіричною формулою

$$\eta = -2p^2 + 23p + 1.555v - 0.0125v^2 - 15.35 \% \quad (9)$$

де:

v - швидкість газового потоку, що дорівнює 30-60 м/с;

p - надлишковий тиск води, що дорівнює 0,404- 0,606 МН/м² (4-6 ат).

Під час розрахунку швидкісного пиловловлювача визначають гідравлічний опір, розміри, ефективність турбулентного промивача та встановлених за ним апаратів по рекомендаціях.

Режим роботи труби, а саме коагулятора, швидкість газу в перетині горловини і питому витрату води вибирають в залежності від характеристик пилу та її дисперсного вмісту, а також від необхідної ефективності очищення газу.

Розрахунок ефективності роботи скрубера Вентурі можна здійснити на основі даних фракційного ступеня очищення газів та за допомогою енергетичної теорії мокрого пиловловлення. Суть енергетичної теорії мокрого пиловловлення, що заснована на законі збереження енергії, полягає в наступному.

При вловлюванні певного виду пилу ефективність будь-якого мокрого апарату газоочистки залежить виключно від втрати тиску і не залежить від розміру та конструкції пиловловлювача. У загальну витрату енергії на очищення газу включається як енергія, затрачувана на подолання опору при проході запиленого газу через апарат, так і, що витрачає на розпилення води.

Витрату енергії на мокре очищення газу від пилу без обліку енергії, що витрачає на створення руху газу, можна визначити за формулою

$$K_T = \Delta p_{\text{ап}} + p_{\text{рід}} \frac{V_{\text{рід}}}{V_T} \text{ кДж}, \quad (10)$$

де

$\Delta p_{\text{ап}}$ - гідравлічний опір апарата, Н/м²;

$p_{\text{рід}}$ - тиск розпорошуємої рідини, Н/м²;

$V_{\text{рід}}$, $V_{\text{г}}$ - витрати відповідно рідини і газу, м³/с;

$K_{\text{т}}$ - питома енергія зіткнення, яка витрачається на очищення в мокрому пиловловлювачі 1000 м³ газів, кДж.

Перший доданок у формулі (10) характеризує ступінь турбулізації газорідного потоку в апараті, другий - якість диспергування рідини. Їхній вплив на величину $K_{\text{т}}$ залежить від типу апаратів. Наприклад, у скрубєрі Вентурі основний вплив чинить гідравлічний опір апарата. Залежність між ступенем очищення газу та витратами енергії виражають формулою

$$\eta = 1 - e^{-BK_{\text{т}}^{\chi}} \quad (11)$$

Визначають ці константи тільки експериментальним шляхом.

Величина η незначно характеризує якість очищення в інтервалі високих ступенів очищення (0,98- 0,99), тому в цьому випадку використовують поняття числа одиниць переносу:

$$N_{\text{ч}} = \ln \frac{1}{1-\eta} \quad (12)$$

З рівнянь (26) і (27) величину одиниць переносу можна визначити за формулою

$$N_{\text{ч}} = BK_{\text{т}}^{\chi} \quad (13)$$

У логарифмічних координатах формула (13) має вигляд прямої лінії, тангенсом кута нахилу якої до осі абсцис є χ , а величину B знаходять під час перетинання прямої з лінією, що відповідає значенню $K_{\text{т}} = 1,0$.

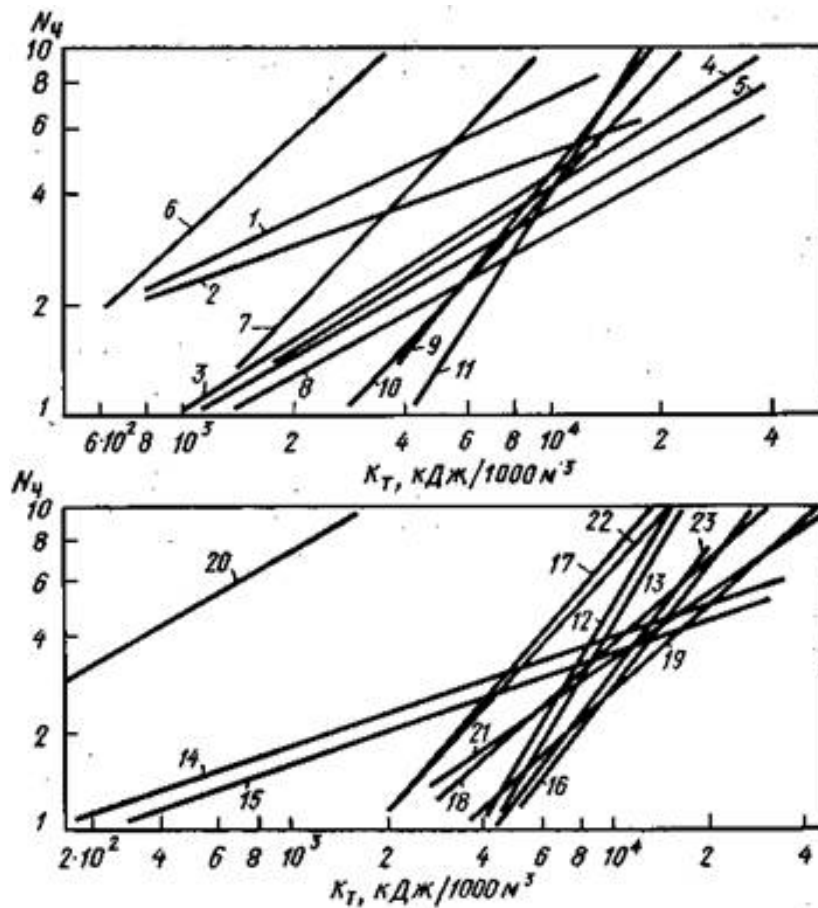


Рис. 2.7 Залежність ефективності мокрого пиловловлення від енергетичних витрат.

Знаючи питому енергію $K_{\text{т}}$ та $N_{\text{ч}}$ можна визначити за допомогою графіків, зображених на рисунку 4.

Величина $K_{\text{т}}$ враховує спосіб введення рідини в апарат, в'язкість, діаметр крапель, поверхневий натяг та інші властивості рідини.[13.]

3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1. Підготовка до дослідження

3.1.1 Дослідження механічних і аеродинамічних властивостей цукру-піску

В основу проведених методів досліджень покладено результати досліджень, що використовувались багатьма авторами (Романський І.П. Шторман Е.А., тощо). Їх результати адаптовано до умов роботи сушильного відділення Іванківського цукрового заводу. Висушений та охолоджений білий цукор з вивантажувальної камери сушильно-охолоджуваного барабану надходить у бункер, а потім на зважування цукру.

Сухий цукор-пісок має вміщувати не менше 99,75 % цукрози та не більше 0,03 % вуглекислої золи.

На підприємстві цукор намагаються отримувати розмірами 0,5-1,2 мм; 1-2,2 мм, тобто з середнім та крупним кристалом.

Дрібні кристали, які маючи велику питому поверхню вміщують більшу кількість нецукрів. Безтаре збереження цукру-піску в металевому силосі висуває підвищені вимоги до якості цукру, вологість має бути в межах 0,02-0,04 %, температура під час завантаження 20-22°C, кольоровість не має перевищувати 0,8 одиниць, кристали цукру середні 0,5-1,5 мм та крупні 1-2,5 мм.

З продуктового відділення вологий цукор за температури 50-70°C і вологості 1,5 % стрічковим конвеєром подають у сушильне відділення, після чого шнеком-живильником у сушильно-охолоджувальний барабан.

Після проходження через сушильно-охолоджувальний барабан висушений до вологості 0,03 % та охолоджений до 25°C цукор накопичують у нижній

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва Дослідна частина та узагальнення результатів	221853.КР.007.003 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/21

частині зсипної камери, а цукровий пил з верхньої частини цієї камери направляють в циклони витяжним вентилятором.

Стрічковим конвеєром цукор з камери подають на конвеєр з електромагнітним сепаратором.

Під час висушування та охолодження цукру-піску необхідно враховувати його механічні властивості. Не враховуючи механічні властивості не можливо зробити правильний вибір інтенсивності пневморежиму (в напрямку зниження ступеня стирання та подрібнення).

Густина кристалів цукру-піску складає 1588 кг/м^3 . Насипна щільність, що визначена дисперсністю і формою окремих цукрових кристалів коливається в середньому від 700 до 550 кг/м^3 .

Важливі характеристики цукру-піску, саме як зернистого сипучого матеріалу, його коефіцієнт внутрішнього і зовнішнього тертя.

Коефіцієнтом внутрішнього тертя характеризують тертя частин цукру між собою, а коефіцієнт зовнішнього тертя – тертя по поверхні стороннього матеріалу.

Найбільш практичний інтерес представляє тертя цукру по сталі, з якою цей продукт частіше всього контактує в процесі виробництва. Слід відмітити, що різниця тертя спокою і тертя руху, які відповідно характеризуються статичними і динамічними коефіцієнтами. Статичні коефіцієнти більші за динамічні. Статичний коефіцієнт тертя цукру на етапах приймають 0,8-1,0, але це розповсюджується тільки на продукцію вологістю не більше 0,14 %. Величина дисперсного складу залежить від швидкості співударання матеріалу. Мінімальна швидкість співударання під час якого матеріал помітно подрібнюється, по меншій мірі 20-30% вихідних частинок, залежить від вихідного розміру кристалу 10^{-3} м , мінімальна швидкість 10-20 м/с зі зменшенням вихідного розміру кристалів швидкість збільшується.

При швидкості співудару 120-130м/с та вище ступінь подрібнення не залежить від величини кристала продукту. Температура в межах 20-110 °C не впливає на механічну міцність цукру-піску.

Дисперсність сипучого матеріалу при суміші багато в чому визначає характер протікання процесу. Кристали цукру-піску відносяться до частинок неправильної геометричної форми із достатньо стабільним значенням геометричного коефіцієнта форми $K_{ср}^r$ для дрібних та крупних кристалів. В середньому $K_{ср}^r = 0,81$.

Ступінь полідисперсності цукру-піску може бути охарактеризований кривими розподілення визначального розміру, наприклад, ефективного діаметра d_e (Рис.3.1).

Користуючись класифікацією прийнятого математичній статистиці і теорії вірогідності, можливо віднести криву розподілення цукру (враховуючи її характер) до логорифмічних нормальних кривих розподілення, що описуються рівнянням

$$f(d_e) = \frac{1}{\sigma \cdot 2 \cdot d_e \cdot \sqrt{2\pi}^e} \cdot \frac{\ln d_e - de}{2\sigma^2}, \text{ при } d_e > 0 \quad (3.1)$$

$$d_e \leq 0$$

де $f(d_e)$ – відносна частота повторення розміру d_e може бути виражена через відносну масу вузької фракції матеріалу;

d_e – середнє значення еквівалентного діаметра частин цукру в пробі;

σ - середнє квадратичне відхилення.

За цим рівнянням можна отримати ряд числових характеристик розташування характерного розміру полідисперсного продукту. Використовуючи його можна більш чітко визначити величину поверхні частин, займаючи ними об'єм, число частинок тощо.

Отримані кількісні характеристики в свою чергу дозволяють більш строго аналізувати процеси руху і тепломасооб'ємні процеси дисперсного матеріалу. Характер пневморежиму дисперсного матеріалу залежить також і від аеродинамічних властивостей частинок матеріалу. Ці властивості дисперсної частини визначаються формою, густиною та станом поверхні. Найбільш комплексно характеризує аеродинамічні властивості швидкість частинок або швидкість вільного падіння, представленого як функція характерного геометричного розміру частинки.

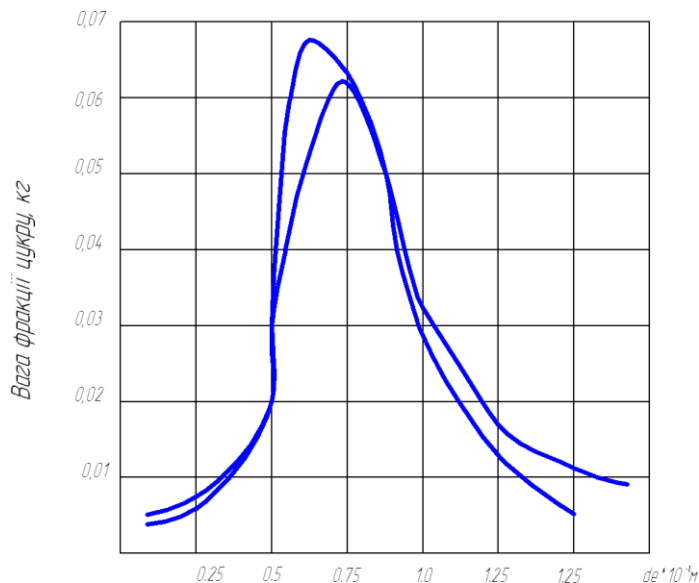


Рис. 3.1. Характерне розподілення середнього еквівалентного діаметра критеріїв цукру d_e після розсіву на наборі сит

Ситовий метод визначення дисперсного складу цукру є найбільш доступнішим. Для цієї цілі застосовують сита з розміром комірки не менше 2,5 мм. По даним ситового аналізу сипучого матеріалу наводять у формі таблиць чи графіків, що характеризують розділення широкої фракції частинок на ряд вузьких, при чому аргументом являється розмір частинки, а функцією масова доля Δ , частинок цього розміру d , в суміші.

Формули для розрахунку пневмосуміші базуються на будь-якому визначальному розмірі частинок d_e , розрахунком по гранулометричному складу суміші.

Проведення ситового аналізу проби цукру-піску і обробка результатів відбувається в наступному порядку. Пробу цукру-піску не менше 0,7 кг досконало перемішують дерев'яною лопаткою на листі щільного паперу, аналізу підлягає взята з цієї проби порція цукру 100 г. Пробу пропускають через сита просіюючої машини, що забезпечує прохід за 15-20 хвилин 100 г поважки цукру-піску через комірки сит у кількості 5 штук з розміром отворів 2,0:0,1:1,0:0,5:0,25 мм. Зважування залишку на кожному ситі виконуються з точністю 0,01 г. На основі зважування різних фракцій складаються таблиці, де проти кожного номера сит вказується маса залишеного на ньому цукру-піску.

Еквівалентний діаметр полідисперсного матеріалу визначають після розсіву його на наборі сит та підрахунку за розмірами отворів сит усередненого розміру частинок.

Якщо суміш матеріалу являє собою вузьку фракцію, то еквівалентний діаметр d_e визначаємо по середньому арифметичному або середньому геометричному від розміру комірок сит d_1, d_2 мм.

$$d_e = \frac{d_1 + d_2}{2} ; \quad (3.2)$$

$$d_e = \sqrt{d_1 \cdot d_2} ; \quad (3.3)$$

У випадку широкої фракції враховують визначальний розмір частинок за формулою для середньоарифметичної величини

$$d_e = \frac{1}{\sum \frac{\Delta_i}{d_i}} ; \quad (3.4)$$

Де Δ_i – масова доля суміші частинок розміру d_i , розрахована за формулами (3.2) і (3.3). Це найбільш розповсюджена методика розрахунку d_e .

Величина d_e , розрахована за формулами (3.2) і (3.3) буде близька до діаметру шару еквівалентного об'єму, що в даному випадку можна підрахувати за формулою

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} \quad (3.5)$$

де V – середньоарифметичний об'єм однієї частинки, підрахований, наприклад, як часне відділення маси частини та їх густина, м^3 .

Вплив форми кристала на його аеродинамічні властивості оцінюють аеродинамічним коефіцієнтом форми $K_{ср}$, враховуючи в якій мірі швидкість витання даної частинки відрізняється від швидкості витання шару еквівалентного діаметра.

На рис.3.2 показана графічна залежність $K_{ср}$ від розмірів кристалів цукру-піску. Швидкість витання визначається з умови рівноваги сили тяжіння частинки G_1 та сили опору повітряного оточення P_v .

$$G_1 = P \hat{a} \text{ і } V_1 \cdot \rho \cdot g = \lambda_1 \cdot F_1 = \frac{g_B^2}{2} \cdot \rho_0; \quad (3.6)$$

де V_1 , F_1 – об'єм частинки та аеродинамічний переріз площі прямокутної проекції частинки на площу нормально від потоку;

λ_1 – коефіцієнт аеродинамічного опору частинки.

Для визначення швидкості витання цукру-піску слід застосовувати ту швидкість, під час якої повітряним потоком будуть виноситись частинки відповідаючи d_e , вирахованому за формулою для найкрупнішої функції.

В довідниках з пневмотранспорту в харчовій промисловості величина витання цукру-піску для всіх без виключення режимів і способів транспортування приводиться як величина рівна 8,7-12 м/с.

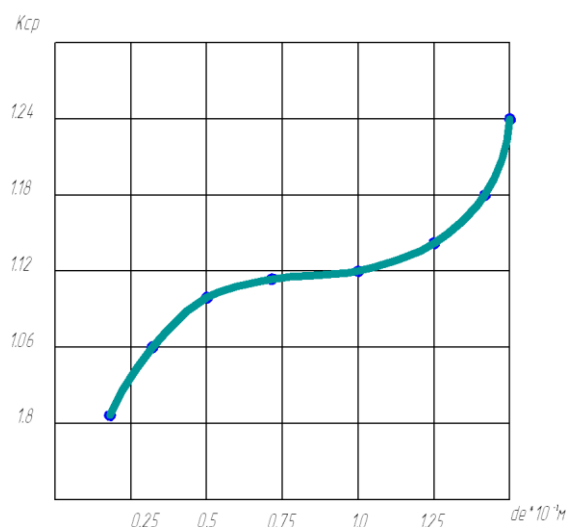


Рис. 3.2. Залежність гідродинамічного коефіцієнта форми від еквівалентного діаметра кристалів цукру-піску

Повітряна сепарація кристалів цукру відбувається в наступному режимі:

для $d_e=0.01\text{мм}$, $d_e=0.025\text{мм}$, $d_e=0.75\text{мм}$, $d_e=1.5\text{мм}$

$v_B= 0.5 \text{ м/с}$, $v_B= 3.0\text{м/с}$ $v_B= 4.0 \text{ м/с}$, $v_B= 6.0 \text{ м/с}$

3.2. Визначення аеродинамічних властивостей

3.2.1 Визначення основних геометричних параметрів скрубера

У скруберах Вентурі ефективність уловлювання зважених часток визначається реалізованими в апараті енергетичними витратами, що залежать від швидкості газового потоку у активному перетині апарата (горловині труби Вентурі) та в меншому ступені від величини питомого зрошення. Отже при змінних витратах очищуючих газів необхідною умовою забезпечення ефективності є підтримка сталості оптимальної швидкості газів у перетині горловини. У зв'язку із цим у газоочистці одержали поширення скрубери Вентурі з регульованим перетином горловини.

Був розроблений типорозмірний ряд скруберів Вентурі з конічним обтічником типу СВ на продуктивність по газу до 50000 м³/ч, що включає 4 типорозміри:

Табл. 3.1

Тип апарата	Витрата газу, тис м ³ /год	Діаметр горловини, мм	Діаметр каплевлівлю вача, мм	Швидкість газу у каплевлівлю вачі, м/с
СВ-150/90-800	2-7	150	800	1,4-5,0
СВ-210/120-1200	7-15	210	1200	2,3-5,0
СВ-300/180-1600	15-30	300	1600	2,5-5,0
СВ-400/250-2200	30-50	400	2200	3,0-5,0

В скруберах цього ряду регулювання витрат газу забезпечується за допомогою конічних обтічників з кутом розкриття 7°.

У нормалізованій труби Вентурі підібрані геометричні співвідношення, що забезпечують мінімальні шкідливі гідравлічні втрати під час руху по ній газового потоку.

Довжину конфузора l_1 знаходимо за формулою:

$$l_1 = \frac{D_1 - D_2}{2 \operatorname{tg} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \quad (3.7)$$

де D_1 - вхідний діаметр конфузора, м; α - кут звуження конфузора, $\alpha = 28^\circ$;
 D_2 - діаметр горловини труби Вентурі, м.

Вхідний діаметр конфузора D_1 , приймаємо рівним діаметру газоходу $D_1=300\text{мм}$.

Діаметр горловини знаходимо за формулою:

$$D_2 = \sqrt{\frac{V_2}{0.758 \cdot v_2}} \quad (3.8)$$

v_2 - швидкість повітря в горловині м/сек;

V_2 - об'ємна витрата повітря при робочих параметрах горловини $\text{м}^3/\text{сек}$.

Так як ми встановлюємо два скрубери Вентурі, тоді об'ємна витрата повітря для одного скрубера:

$$V_2 = \frac{21680}{2} = 10840 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 3 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (3.9)$$

Швидкість повітря в горловині приймаємо $90,0$ м/с. Тоді діаметр горловини буде дорівнювати:

$$D_2 = \sqrt{\frac{V_2}{0.758 \cdot 90}} = 0,198\text{м} \quad (3.10)$$

Приймаємо $D_2=200$ мм.

Довжина конфузора:

$$l_1 = \frac{0.9 - 0.2}{2 \cdot \text{tg} \left(\frac{28}{2} \right)} = 0.2\text{м} \quad (3.11)$$

Так як зрощення труби Вентурі периферійне, то довжину горловини l_2 конструктивно приймаємо 100 мм.

Знаходимо за формулою довжину дифузора l_3 :

$$l_3 = \frac{D_2 - D_1}{\text{lg} \frac{\alpha_2}{2}} \quad (3.12)$$

де α_2 - кут розкриття дифузора $\alpha_2=7^\circ$;

D_2 - діаметр вихідного перерізу дифузора. Приймаємо $D_2=D_1=300$ мм.

Тоді

$$l_3 = \frac{0,3-0,2}{\lg \frac{7}{2}} = 0,817 \text{ м} \quad (3.13)$$

Приймаємо $l_3=0,82$ м.

Саме такі геометричні параметри забезпечують мінімальні гідравлічні втрати під час руху повітряного потоку, так як виключають відрив потоку від стін дифузора та горловини.

3.2.2 Створення області розрахунку і математичної моделі.

в програмному комплексі Autodesk Inventor створюємо області дослідження, а саме тривимірну модель скрубера Вентурі із загальними розмірами установки згідно з розрахованими (рис.3.3).

Зкладаємо у модель зміну розмірів горловини, а саме її діаметру.

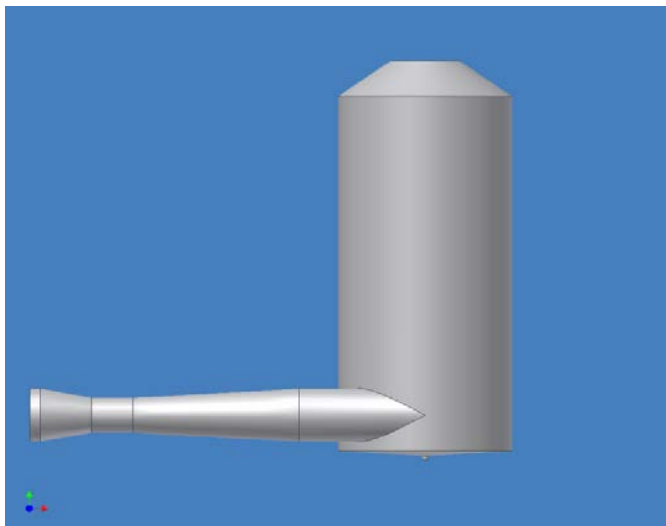


Рис.3.3 тривимірна модель скрубера Вентурі

Приймаємо наступні розміри діаметра: 150, 175, 200, 225 мм.

Діаметр вхідного патрубку конфузора та вихідного патрубку дифузора сталі 300 мм, а довжина горловини 100 мм.

3.3 Створення математичної моделі розрахунку.

В системі FlowVision - CAE-системі обчислювальної гідро-, аеро- та газової динаміки виконуємо обчислення гідродинамічних властивостей скрубера.

Ця система дозволяє моделювати рухи газу та рідини у будь-яких природних і промислових об'єктах з врахуванням фізичних ефектів, таких як теплопередача, турбулентність, фазові переходи, горіння тощо. Вона заснована на чисельному рішенні рівнянь Нав'є-Стокса, що описують рух газу і рідини.

За допомогою різних стандартних форматів файлів у FlowVision реалізовано імпортування геометрії. Це дозволяє користувачеві використовувати будь-яку відому йому зручну систему автоматизованого проектування для створення розрахункової області.

Обираємо рідину, що слабо стискається в якості основної математичної моделі підобласті.

Ця модель описує рух газу при дозвукових числах Маха і будь-яких змінах щільності.

Для моделювання обираємо в якості моделі "модель течії двохфазної речовини", що складається з потоку речовини (газу) та розподілених у ньому твердих частинках.

Модель «частинки (Particles)», це модель, що призначена для моделювання двофазних течій з частинками. Несуча фаза може бути рідиною або газом. Частинки можуть бути рідкими чи твердими .

Модель частинки (Particles) працює спільно з усіма моделями течії.

Завжди передбачається взаємний вплив фаз, тобто несуча фаза визначає траєкторії частинок, частки в свою чергу впливають на перебіг через джерела маси, імпульсу (силу опору, діючу на несучу фазу) та енергії.

Рівняння для несучої фази

Рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \rho_g}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_g \cdot \mathbf{V}_g) = Q_{\text{mass}}^p \quad (3.14)$$

Рівняння збереження маси для речовини 1:

$$\frac{\partial(\rho_g Y_1)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_g V_g Y_1) = \vec{\nabla} \cdot \left(\left(\rho_g D_1 + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \vec{\nabla} Y_1 \right) + Q_{\text{mass}}^p \quad (3.15)$$

Турбулентне число Шмідта вважається рівним одиниці:

$$Sc_t = \frac{\mu_t}{\rho_g D_t} = 1 \quad (3.16)$$

Масова концентрація речовини 0 знаходиться за умови:

$$Y_0 + Y_1 = 1 \quad (3.17)$$

Рівняння збереження імпульсу:

$$\frac{\partial(\rho_g V_g)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_g V_g \otimes V_g) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \hat{\tau}_g + \rho_g \mathbf{g} + \bar{Q}_{\text{mom}}^p \quad (3.18)$$

де

$$\tau_{g,\alpha\beta} = -\frac{2}{3} \rho_g k_g \delta_{\alpha\beta} + \mu_{g,eff} \left(\frac{\partial V_{g,\beta}}{\partial x_\alpha} - \frac{\partial V_{g,\alpha}}{\partial x_\beta} \right) - \frac{2}{3} \mu_{g,eff} \frac{\partial V_{g,\gamma}}{\partial x_\gamma} \delta_{\alpha\beta}$$

Ефективна в'язкість визначена наступним чином:

$$\mu_{g,eff} = \mu_g + \mu_t \quad (3.19)$$

Рівняння збереження енергії для моделі слабостискаєма рідина:

$$\frac{\partial(\rho_g h_g(T_g))}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho_g V_g h_g(T_g)) = \vec{\nabla} \cdot \left\{ - \left(- \left(\frac{\lambda_g}{c_p g} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \vec{\nabla} h_g(T_g) \right) \right\} + Q_{\text{enth}}^p \quad (3.20)$$

Турбулентне число Прандтля вважається рівним одиниці:

$$Pr_t = \frac{\mu_t c_p g}{\lambda_t} = 1 \quad (3.21)$$

Примітка: не випаровуючі частки можна розраховувати в моделях ламінарної і нестискаємої рідини. Випаровуючі частки потрібно розраховувати в моделях Слабостискаємої рідини або повністю стискаємої рідини.

Динаміка частки

$$\frac{dX_p}{dt} = V_p \quad (3.22)$$

$$\frac{dV_p}{dt} = \frac{\pi d^2}{8m} C_D \rho_g |V_r| V_r + g \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_p} \right)$$

де

$$V_r = V_g - V_p$$

- швидкість частинки відносно несучої фази.

Ефект приєднаної маси не враховується.

3.3.1 Визначення граничних умов і фізичних параметрів моделі

В газовій фазі вирішується 8 рівнянь, а саме рівняння збереження маси для водяної пари, рівняння Нав'є-Стокса, рівняння енергії, а також рівняння для i . Рух модельних частинок описується лагранжевими рівняннями, які інтегруються через кожні кілька гідродинамічних кроків за часом. Речовина0 (Substance0) - повітря, Речовина0 (Substance1) - водяна пара, Речовина частинок (Substance of particles) - вода. Всі три речовини завантажені з бази даних речовин. Завжди передбачається взаємодія між фазами: частинки впливають на газ через джерела маси, енергії і імпульсу.

Граничні умови моделі.

1. pinlet - умова типу вхід / вихід (Inlet / Outlet).

'Temperature': Wall value (= 20⁰ C),

'Concentration': Wall value (0),

'Velocity': Normal inlet / outlet (= 10-80 м/с).

'Particles': Two-phase inlet,

Поток частинок (2 кг/с)

Розмір частинок (2; 1; 0,6;0,3 мм)

та: Wall value (0).

Чорнота (Particle emissivity) задана рівною 1 для того, щоб 'включити' радіаційний теплообмін між частинками та газом, хоча значення 0 більш фізична для водяних крапель.

Параметр N стартових точок (N starting points) задає приблизну кількість стартових точок для модельних частинок, а параметр N модельних частинок / м³ (N trial particles / m³) задає концентрацію модельних частинок в відповідному каналі.

2. wall1, wall2, wall3 - умови типу Стінка (Wall).

'Temperature': Wall value (= 50 °C),

'Concentration': Zero Flux,

'Velocity': Wall, logarithm law,

'Particles': Particles/wall,

i: Value in cell near wall.

3. outlet - умова типу Вільний Вихід (Free Outlet).

'Temperature': Zero Flux,

'Concentration': Zero Flux,

'Velocity': Zero Pressure / Outlet,

'Particles': Particles/ outlet,

i: Zero Flux.

Завантажуємо з бази даних 'Повітря' ('Air') для Речовина0 (Substance0), 'Водяна пара' ('Water vapor') для Речовини1 (Substance1), і 'Воду' ('Water') для Речовини Часток (Substance of particles).

Щоб запустити розрахунок часток, встановлюємо маркер близько "рівняння" Частинок (Particles) у вікні Вибір моделі (Change Model).

3.3.2 Візуалізація результатів розрахунку і аналіз експериментальних значень

За допомогою постпроцесора FlowVision відбувається візуалізація результатів розрахунку. Аналіз може проводитися як в процесі розрахунку (якщо попередньо були створені шари візуалізації), так і після його закінчення. Постпроцесор надає користувачеві широкий вибір методів візуалізації векторних і скалярних змінних на різних геометричних об'єктах, а також дозволяє зберігати дані у файл для обробки іншими засобами.

Для перевірки можливості регулювання продуктивності, ефективності роботи скрубера і аеродинамічних параметрів, при змінних геометричних

розмірах сопла Вентурі, було проведено серію досліджень із різними типорозмірами стабілізуючої частини сопла (горловини).

У ході розрахунків було прийнято діапазон зміни швидкостей 10; 20;30; 35; 40; 50; 80 м/с.

Проведено аналіз чотирьох варіантів типорозмірів сопла Вентурі скрубера:

1. $D_k=200$ мм (діаметр конфузора); $D_g=150$ мм (діаметр горловини);
 $D_d=200$ мм (діаметр дифузора);
2. $D_k=200$ мм (діаметр конфузора); $D_g=175$ мм (діаметр горловини);
 $D_d=200$ мм (діаметр дифузора);
3. $D_k=200$ мм (діаметр конфузора); $D_g=200$ мм (діаметр горловини);
 $D_d=200$ мм (діаметр дифузора);
4. $D_k=200$ мм (діаметр конфузора); $D_g=225$ мм (діаметр горловини);
 $D_d=200$ мм (діаметр дифузора)

В ході досліджень перевірялись значення перепаду тиску, траєкторію руху частинок та їх концентрація в різних перетинах апарату, зміну швидкості повітря та частинок.

Використання шару **Двовимірний графік** виводить на екран графік скалярною змінною вздовж обраного в тривимірному просторі променя. Графік лежить в площині, яка також задається. Початок променя збігається з центром базового об'єкта. Графік відображається, як неосвітлена ламана з фіксованим числом ланок. На початку графіка розташована маленька освітлена кулька, а на позитивних кінцях осей - маленькі освітлені конуси.

У площині графіка промальовуються наступні коментарі:

- Максимальне значення змінної близько позитивного кінця осі ординат.
- Довжина осі абсцис близько позитивного кінця осі абсцис.
- Мінімальне значення змінної близько негативного кінця осі ординат.

3.3.2.1 Аналіз зміни швидкості руху частинок

Аналіз зміни руху швидкості частинок здійснювався з метою дослідження граничних значень швидкостей в перетинах скрубера і визначення

оптимальних величин відцентрових сил і, як наслідок, фактору розділення потоку повітря і частинок.

Частинки, які надходять до сопла Вентурі разом із повітрям піддаються впливу відцентрових та гравітаційних сил.

За розподілом значення «модуля швидкості» можливо оцінити величину впливу швидкості вхідного потоку пилоповітряної суміші та геометричних параметрів сопла Вентурі на максимально можливу швидкість в «розгонній» ділянці сопла.

Як показали дослідження, саме в горловині сопла логічно досягаються максимально можливі швидкості, які використовуються для додаткового подрібнення і рівномірного розподілу краплин води, що надходять до скрубера.

Досліджувались вхідні потоки зі значеннями швидкості 10; 20; 30; 35; 40; 50; 80 м/с

Так, при швидкості вхідного потоку 30 м/с значення її збільшення в соплі складає для:

- Ø150мм – 98 м/с;
- Ø175мм – 72 м/с (рис 3.4);
- Ø200мм – 54 м/с (рис. 3.5);
- Ø225мм – 44 м/с

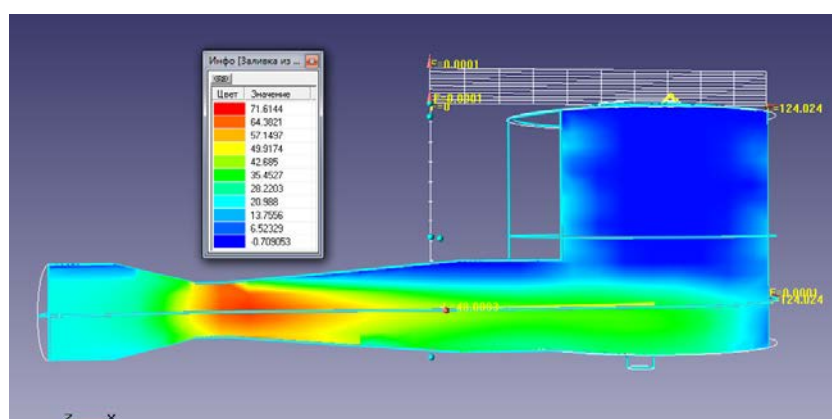


Рис.3.4 Заливка модуля швидкості частинок для Ø175мм

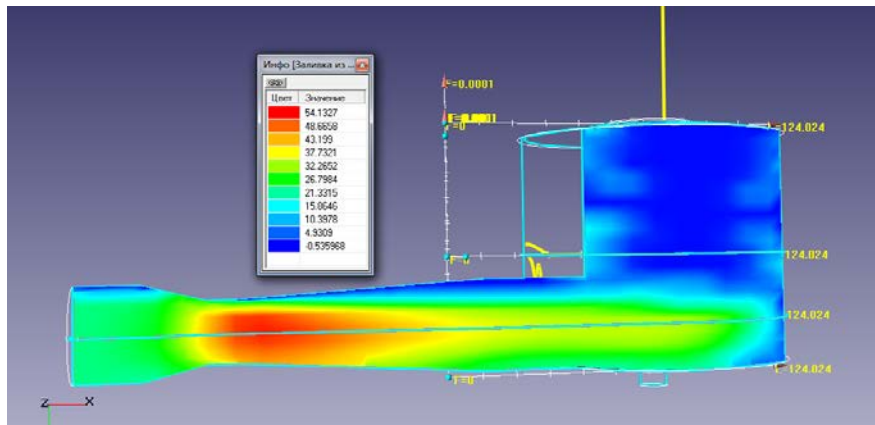


Рис. 3.5 Заливка модуля швидкості частинок для $\varnothing 200\text{мм}$

Що доводить ефективність використання сопла Вентурі з метою «розгону» твердих частинок та додаткового подрібнення розпиленої води, що надходить до сопла.

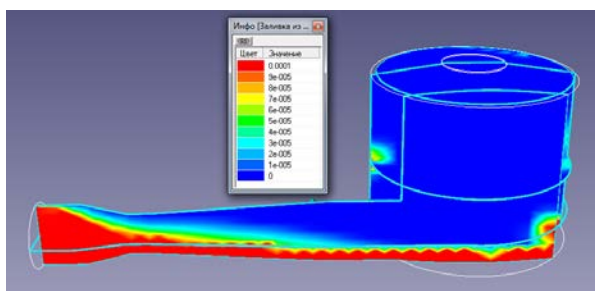
3.3.2.2 Аналіз зміни концентрації частинок в перетині скрубера.

Основним показником, що характеризує ефективність роботи скрубера є значення «Концентрації частинок» в його вихідному патрубку.

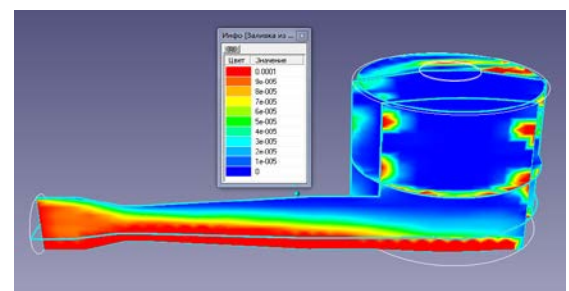
Оцінку розподілу «поля концентрації частинок» по перерізам скрубера здійснювали за допомогою шару «заливки концентрації частинок» для характерних перерізів скрубера.

Залежно від зміни швидкості вхідного потоку у межах 10-80м/с розподіляється концентрація частинок наступним чином.

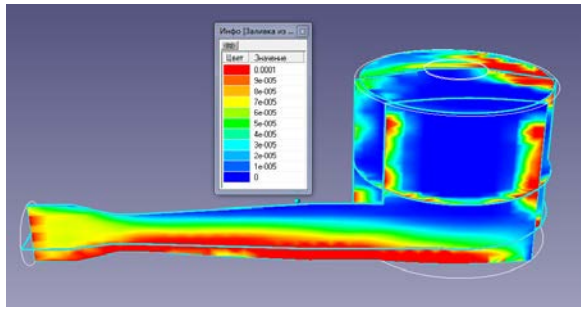
Для сопла $\varnothing 200\text{мм}$ (рис. 3.6: а - 10м/с, б – 30м/с, в – 40м/с, г – 50м/с, д - 80м/с).



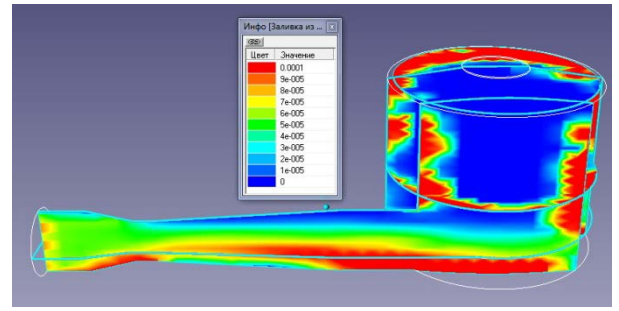
а



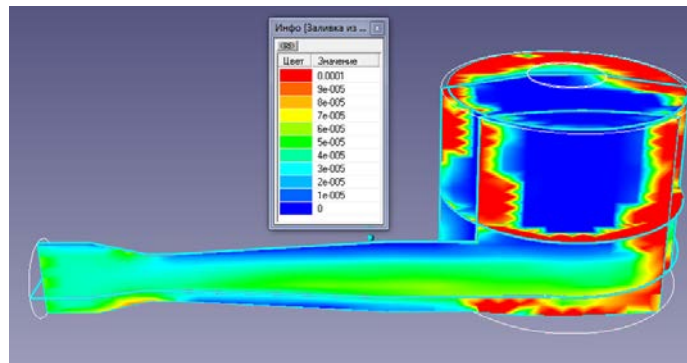
б



В



Г



Д

Рис 3.6 Значення концентрації в залежності від швидкості вхідного потоку

З рисунків видно, що збільшення швидкості вхідного потоку суміші призводить до збільшення тангенційних швидкостей у перерізах скрубера і, як наслідок, до збільшення відцентрових сил, які притискають частинки пилу до стінок апарату і тим самим підвищують ефективність розділення суміші.

Наразі збільшуються і осьові складові швидкості потоку, що після деяких значень починають перевищувати швидкості витання частинок. Це призводить до поступового підйому частинок до вихідного патрубку скрубера, і як наслідок до збільшення виносу частинок через вихідний патрубок, що призводить до збільшення втрат продукту.

Також було проведено ряд досліджень, що дозволило визначити значення концентрацій і різних перерізах скрубера через побудову двовимірних залежностей концентрації частинок для різних режимів роботи установки.

На екран графік скалярної змінної вздовж обраного в тривимірному просторі променя виводить шар «Двовимірний графік». Графік лежить в площині, яка також задається. Початок променя збігається з центром базового об'єкта. Графік відображається як неосвітлена ламана з фіксованим числом ланок. На початку графіка розміщена маленька освітлена кулька, а на кінцях осей - маленькі освітлені конуси.

У площині графіка промальовуються наступні коментарі:

- Максимальне значення змінної близько додатного кінця осі ординат.
- Довжина осі абсцис близько додатного кінця осі абсцис.
- Мінімальне значення змінної близько від'ємного кінця осі ординат.

Як приклад, двовимірний графік розподілу концентрації частинок при швидкості 30 м/с для сопла $\varnothing 200\text{мм}$ наведено на рис.3.7.

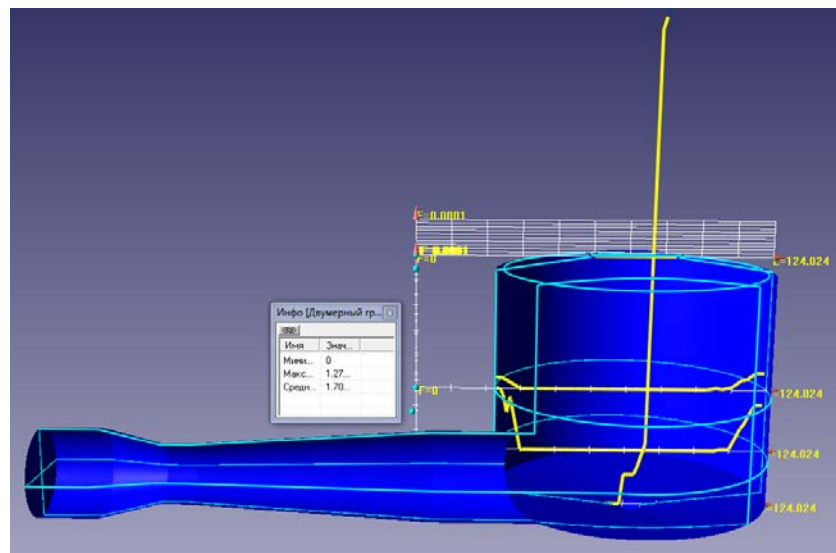


Рис. 3.7 Залежність розподілу концентрації частинок

З рисунку видно, що скалярна змінна концентрації в нижньому вихідному патрубку скрубера сягає максимуму, а в верхньому вихідному патрубку прямує до мінімуму.

Така ж картина зберігається для всіх типорозмірів сопла скрубера Вентурі в діапазоні зміни вхідних швидкостей пилоповітряної суміші 10-30 м/с.

Подальше збільшення швидкості (від 35 до 80 м/с) призводить до поступового збільшення відсотку виносу частинок через вихідний патрубок (рис.3.8), до 6% при вхідній швидкості 40 м/с.

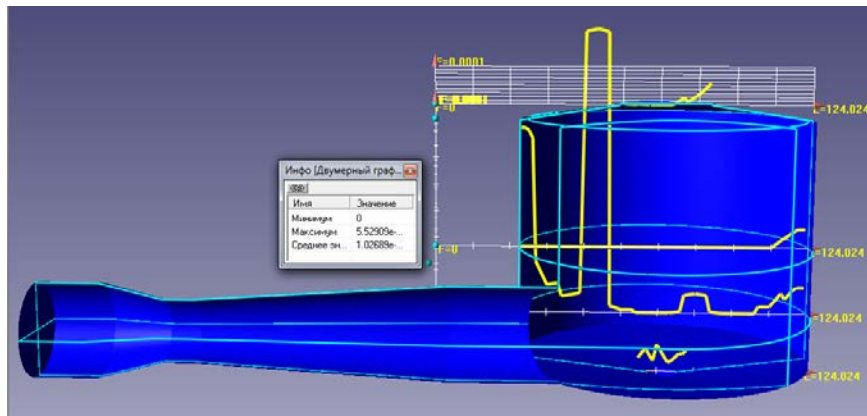


Рис. 3.8. Двовимірний графік розподілу концентрації частинок при швидкості 40 м/с для сопла $\varnothing 200\text{мм}$

Результати серії досліджень значень концентрації частинок для вихідного перерізу скрубера було винесено окремо.

Для цієї величини побудова двовимірних графіків дозволить отримати характеристику значення граничних концентрацій в вихідному перерізі скрубера (рис. 3.9).

З отриманих характеристик бачимо, що поступове збільшення вхідної швидкості суміші спричиняє до зміни відсотка виносу частинок з скрубера:

- для $\varnothing 150\text{мм}$ стабільне осадження частинок проходить до швидкості 12 м/с;
- для $\varnothing 175\text{мм}$ стабільне осадження частинок проходить до швидкості 20 м/с;
- для $\varnothing 200\text{мм}$ стабільне осадження частинок проходить до швидкості 30 м/с, при цьому процент виносу складає 0.3%;

- для $\varnothing 225\text{мм}$ порушення цілісності потоку починається зі швидкості 25м/с , з подальшим підвищенням проценту «виносу» до 2%. Стрімке збільшення «виносу» спостерігається при швидкостях більше 50 м/с .

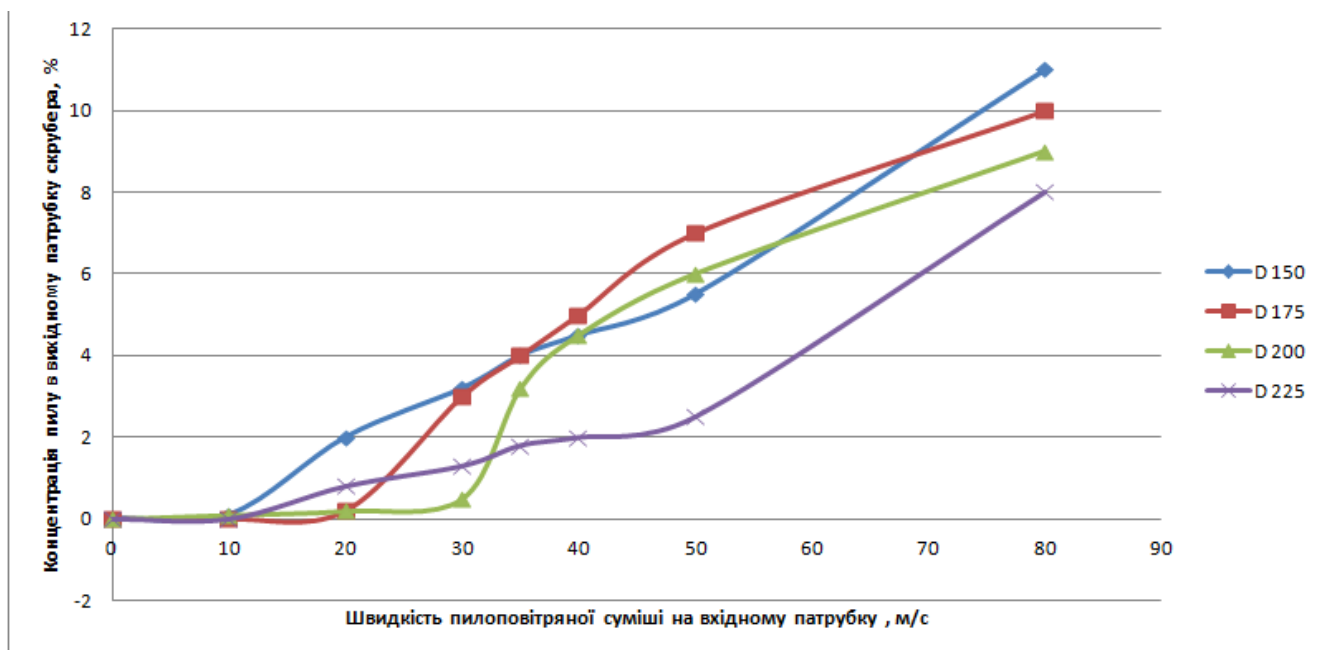


Рис. 3.9. Залежність зміни концентрації пилоповітряної суміші (виносу частинок) в вихідному патрубку скрубера

Подальше збільшення вхідних швидкостей пилоповітряної суміші веде до поступового збільшення «виносу», і, як наслідок, до збільшення втрат продукту у навколишнє середовище (до 12% в проведеному діапазоні досліджень).

Таким чином проведені дослідження дозволяють частково стверджувати, що зміна діаметра горловини сопла дозволяє змінювати продуктивність системи очищення повітря не змінюючи при цьому ефективності її роботи.

Отже, ефективна робота досліджених типорозмірів скруберів спостерігається в діапазонах продуктивності $2500\div 20000\text{ м}^3/\text{год}$, що в свою чергу корелюється з встановленими межами наведеними в табл. 3.1.

Висновки.

1. Досліджено механічні і аеродинамічні властивості цукру-піску, в результаті чого визначено характерне розподілення середнього еквівалентного діаметра критерію цукру d_e та залежність гідродинамічного коефіцієнту форми від еквівалентного діаметра кристалів цукру-піску.

2. Визначено величину зміни швидкості руху частинок всередині скрубера в залежності від зміни геометричних параметрів сопла скрубера та швидкості вхідного потоку.

3. Встановлено поля граничних концентрацій пилоповітряної суміші в різних перерізах скрубера в залежності від зміни параметрів його роботи.

4. Отримана характеристика зміни концентрації пилоповітряної суміші (виносу частинок) у вихідному патрубку скрубера дозволяє підібрати оптимальні режими роботи обладнання.

4. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ.

Для зменшення втрат цукру на цукрових заводах використовують різноманітні конструкції пиловловлювачів. Але без урахування дисперсного складу цукрового пилу, визначального фактору, що суттєво впливає на активність їх роботи.

Аналіз дисперсного складу цукрового пилу дозволяє визначити дійсні основні його параметри для очищення: $d_{50} = 3$ мкм, $lg \sigma = 0,63$. Практично невидимим є цукровий пил таких параметрів. Тому, якщо пиловловлювач працює майже не видно і здається, що він працює добре. Наявність шару дрібного цукру на даху свідчить про те, що пиловловлювач працює з ефективністю нижче 30%. За вказаними вище параметрами згідно ГОСТ 12.2.043-80 «Засіб пиловловлення. Класифікація» цукровий пил відноситься до IV класифікаційної групи пилу, дрібнодисперсного пилу. Для цього пилу з усіх існуючих типів найбільш економічних інерційних пиловловлювачів ефективні тільки пиловловлювачі II класу, до яких і відноситься скруббер Вентурі з ефективністю вловлювання 99 %.

Питома кількість пилу, що утворюється при сушінні та охолодженні цукру в установках барабанного типу, складає 2,23 кг на тону виробленого цукру.

Вирішення проблеми очищення повітря з сушильно-охолоджувальних комплексів дозволить перейти до більш ефективного процесу сушіння і охолодження цукру.

Економічний ефект модернізації існуючих сушильно-охолоджувальних комплексів має такі складові:

- від 2 до 4 т цукру за добу, вловленого скруббером Вентурі практично з повітря та поверненого у виробництво.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва Обґрунтування модернізації	221853.KP.007.004 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/3

- 0,5 ... 1 т за добу цукру вловленого при аспірації сушильно-пакувальних відділів.

- зменшення кількості дрібного ряду в товарному цукрі, а також запиленості в сушарках.

- зменшення екологічного забруднення атмосфери та виробничих стоків, поліпшення санітарно-гігієнічних умов в сушильному відділенні.

4.1 .Сутність модернізації

Апаратурно-технологічна схема залишається практично без змін після модернізації сушильно-охолоджувального комплексу в сушильному відділенні.

Вологий цукор поступає конвеєром ($B = 1$ м; $L = 10$ м) по галереї у відділення. Потім конвеєром подається до завантажувального шнеку, що направляє цукор в сушильно-охолоджувальний барабан. Зі сторони завантажувальної частини барабана спеціальними патрубками в різні зони барабана відбувається підвід теплого та холодного повітря. Повітря відбирається зі спеціально побудованої повітряної камери. Очищення повітря відбувається в касетних масляних фільтрах. Вентилятор теплого повітря пилу ВЦ–14-46-6,3 подає повітря в барабан через рамний нагрівач. Конденсат з підігрівника надходить в завод через конденсатовідвідник. Холодне повітря подається вентилятором типу ВЦ–14-46-6,3. Відведення відпрацьованого повітря з домішками цукрового пилу відбувається з відвантажувальної камери вентилятором і подається в циклони (по 4 штуки на кожен ліній) і скруббер Вентурі. Очищення повітря після скрубера Вентурі повітропроводом відводиться в атмосферу.

Через водяні фільтри вода на форсунки циклонів подається насосом типу КП–12-50-94 (2 шт.). В клеровочну мішалку продуктового відділення надходять суміш води та цукрового пилу.

Висушений і охолоджений білий цукор із вивантажувальної камери сушильно-охолоджувальних барабанів через камерні дозатори поступає на стрічкові конвеєри. Потім стрічковими транспортерами, над якими встановлені металовідділювачі, цукор поступає в ротаційний комковідділювач. Тут цукор

відділяється від комків і потупає на реверсивний конвеєр за допомогою стрічкового барабана.

Комки, відокремлені від цукру, скочуються в течійний рукав і подаються на стрічковий конвеєр комків, який подає їх в клеровочну мішалку, а далі з кожного з чотирьох бункерів цукор по двох течійниках поступає на ваги, а потім у мішок; конвеєром мішок з цукром поступає на зашивочну машину, а потім на зборочний конвеєр і в склад.

5. УСТРІЙ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ.

Пиловловлювач Вентурі дозволяє очищувати газ від домішок. Це відбувається за рахунок дроблення води потоком газу із подальшим захопленням, коагуляцією і осадженням частинок пилу в краплевловлювачі інерційного типу.

Саме апарат Вентурі більше сотні років використовувався для вимірювання витрати рідини. І тільки 68 років тому з'ясувалося, що принцип трубки Вентурі ідеально підходить для очищення газу від пилу. Його класична модель складається з прямого циклону і труби Вентурі, де відбувається очищення газу.

Принцип роботи скрубєрів.

Скрубєри дозволяють очистити потоки від дрібних частинок та сторонніх газів, хоча пил вони видаляють набагато ефективніше. Досягти максимальних результатів дозволяє диспергування газу на бульбашки чи рідину на краплі.

Пристрій скрубєра складається з горловини, звужувальної та розширювальної секцій.

Потік газу подається в звужувальну секцію, де за рахунок поступового звуження площі збільшується швидкість потоку. Одночасно з газом подається і рідина через горловину або звужується секцію по бічних патрубків.

Через підвищення швидкості потоку газу у секції виникає турбулентність. Вона розбиває рідину на краплі, що змочують та вловлюють пил. У розширювальній секції швидкість потоку знижується, що призводить до

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.KP.007.005 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування	Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/4

коагуляції крапель. На виході з труби Вентурі газ відділяється від рідини з пилом.

Вентурі є одними з найпопулярніших в світі апаратами мокрого очищення. За способом подачі рідини вони поділяються на однополичні і двохполичні. Кількість полиць залежить від забрудненості газу. Для очищення газу з вмістом пилу понад 0,02 кг / м³ використовують пристрій з двома полицями.

Технічні характеристики скрубєрів.

Скрубєри Вентурі забезпечують високий рівень очищення газу – до 98-99%, тоді як зрошувальні порожнисті скрубєри – до 65-75%.

Зручність і ефективність застосування мокрих пиловловлювачів досягається за рахунок:

рівномірного зрошення газового потоку по всьому перерізу труби;

збільшення контактної площі між рідиною і газом;

компактності;

меншої металоемності;

відсутності необхідності в частій промивці на відміну від насадок колон.

5.1. Будова та принцип роботи обладнання

Барабанна сушарка, так само як і інші сушарки, слугує для висушування вологого матеріалу.

Вологий матеріал із бункера 1 при допомозі живильника 2 надходить в обертаючий сушильний барабан 3 (рис.5.1). Паралельно з матеріалом у сушарку подається сушильний агент, який утворюється від згорання палива в топці 4 та змішування повітря з топковими газами в змішувальній камері 5. Вентиляторами 6 і 7 повітря подається в топку та змішувальну камеру. З іншого боку сушильного барабана висушений матеріал надходить в проміжний бункер 8, а з нього на транспортуючий пристрій 9. Перед викидом в атмосферу відпрацьований сушильний агент очищується від пилу в циклоні 10. якщо є така необхідність, то проводиться додаткове мокре пиловловлювання.

За допомогою вентилятора 11 здійснюється транспортування сушильного агента через сушильну установку. Установка при цьому знаходиться під

невеликим розрідженням, що виключає витіки сушильного агента через нещільності установки. Через редуктор та зубчасту передачу 12 барабан приводиться в рух.

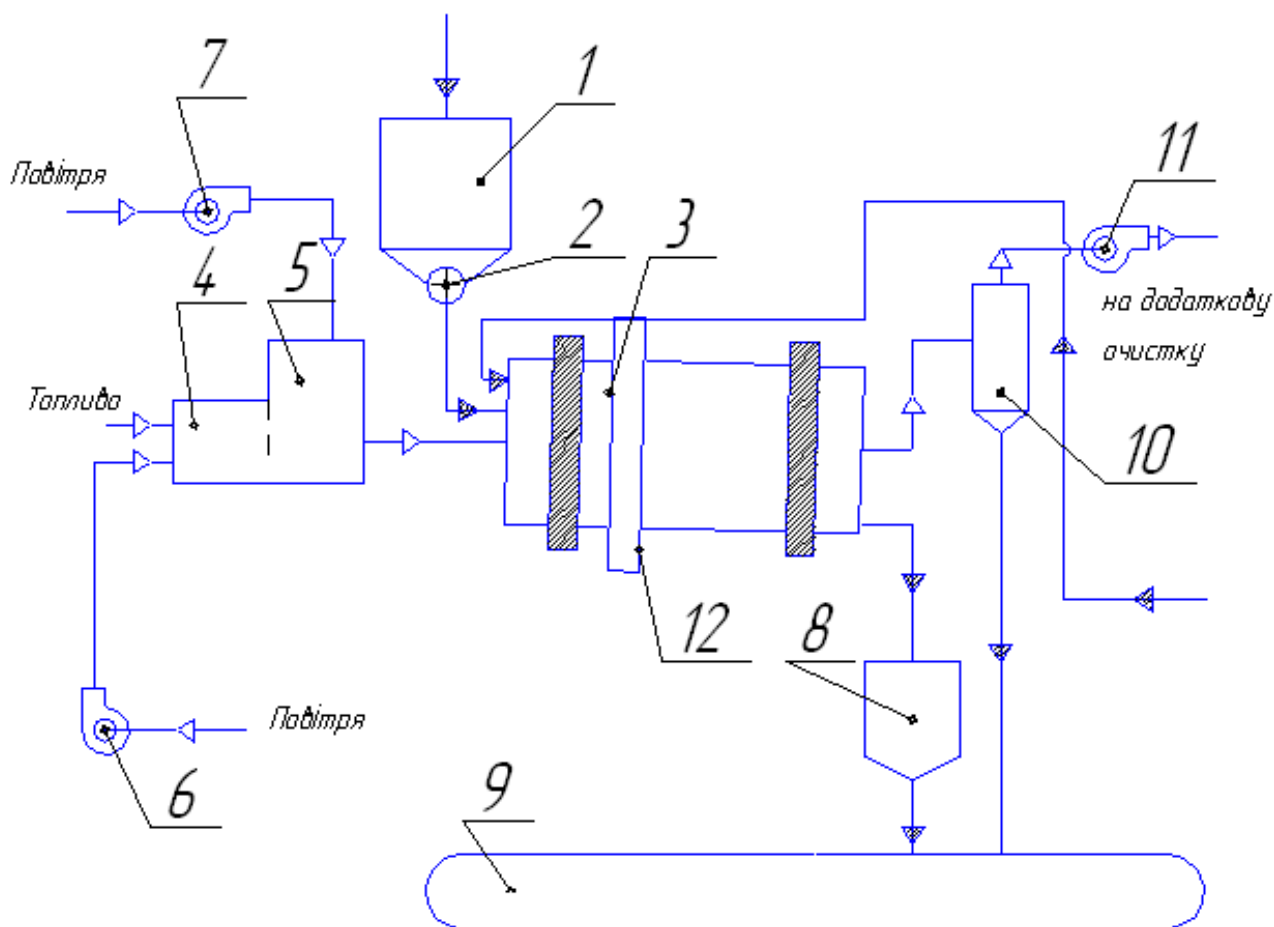


Рис. 5.1 Місце апарата в технологічній схемі.

1 – бункер ; 2 – живильник ; 3 – сушильний барабан ; 4 – топка ; 5 – змішувальна камера ; 6,7,11 – вентилятори ; 8 – проміжний бункер ; 9 – транспортуючий пристрій ; 10 – циклон ; 12 – зубчаста передача.

5.2. Принцип роботи сушильної установки

Сушильний агрегат для сушки цукру включає в себе сушильний барабан, вентилятори та димососи, топку, а також циклони для вловлювання легких висушених частин.

Сушильний барабан 1 зварений із листової сталі товщиною 10 – 14 мм. Зовні на барабані вкладені два гладких вінця, якими він спирається на ролики, та один зубчастий вінець, через який передається обертальний рух барабану.

Кожний гладкий вінець спирається на два опорних ролика. Барабани встановлюються з нахилом в бік руху висушеного матеріалу 0,5 - 5°. Для уникнення можливості зміщення барабана у вісєвому напрямку встановлюються опорні ролики з віссю обертання, що перпендикулярна осі обертання барабана.

Живильником матеріал подається в барабан, попередньо підсушується, переміщується лопатями приймально-гвинтової насадки, а далі поступає на внутрішню насадку, що розташована уздовж майже усієї довжини барабану. Насадка забезпечує рівномірний розподіл і гарне перемішування матеріалу по перерізу барабану, а також його тісне зіткнення при пересипанні з сушильним агентом, а саме паливневими газами.

Гази і матеріал особливо часто рухаються прямоютоком, це допомагає уникнути перегрівання матеріалу, оскільки в такому випадку найбільш гарячі гази стикаються з матеріалом, що має найбільшу вологість. Щоб уникнути посиленого віднесення пилу з газами останні просмоктуються через барабан вентилятором з середньою швидкістю, яка не перевищує 2 - 3 м/сек. Відпрацьовані гази очищаються від пилу в циклоні перед викидом в атмосферу.

Дуже часто на кінцях барабана встановлюють пристрої, наприклад, лабіринтові, ущільнювачі, що затрудняють витік сушильного агента.

У розвантажувального кінця барабана є підпирний пристрій у вигляді суцільного кільця чи кільця, що утворений кільцеподібно розташованими поворотними лопатками у вигляді жалюзі. Призначення цього кільця - підтримувати певну міру заповнення барабану матеріалом, як правило, міра заповнення не повинна перевищувати 20%. Зазвичай час перебування регулюється швидкістю обертання барабана, рідше, зміною кута його нахилу. Висушений матеріал видаляється з камери через розвантажувальний пристрій, за допомогою якого герметизується камера і запобігається потрапляння в неї повітря ззовні. Підсоси повітря привели б до даремного збільшення продуктивності і енергії, що споживається вентилятором.

6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

6.1 Матеріальний баланс

Параметри відпрацьованих газів та визначення витрати сушильного агента.

З рівняння матеріального балансу сушки визначимо витрату вологи W , що видаляється з висушуваного матеріалу:

$$W = G_m (\omega_n - \omega_k) / (100 - \omega_n), \text{ кг/с}; \quad (6.1.1)$$

G_m - продуктивність по вологому матеріалу, кг/с;

ω_n - початкова вологість матеріалу, % ;

ω_k - кінцева вологість матеріалу, % ;

$$G_m = \frac{W(100 - \omega_k)}{\omega_n - \omega_k} \quad (6.1.2)$$

$$G_m = \frac{W(100 - 12)}{68 - 12} = W \cdot 1,57$$

Середній час перебування матеріалу в барабанній сушарці :

$$\tau = \frac{60}{\frac{20000}{2845}} = 7 \text{ хв} = 420 \text{ с}; \quad (6.1.3)$$

L_6 - довжина барабану, м ; $L_6 = 8,6$ м;

n - частота обертання барабану, об/хв ; $n = 4$ об/хв ;

D_6 - діаметр барабану, м ; $D_6 = 1,8$ м;

β - кут нахилу барабану ; $\beta = 2^\circ$

ρ - насипна щільність матеріалу, кг/м³ ; $\rho = 924$ кг/м³ ;

u - швидкість газу, м/с ; $u = 2$ м/с;

δ_3 - розмір частинок матеріалу, мм; $\delta_3 = 1,5$ мм;

A_m - напруження барабану по волозі, кг/м³год ; $A_m = 50$ кг/м³год;

G_k - кількість матеріалу, що знаходиться в сушарці, кг ;

$$G_k = V \cdot \beta \cdot \rho$$

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.KP.007.006 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Розрахункова частина				

V – об'єм барабану м^3 ;

β – коефіцієнт заповнення барабану ; $\beta=0,14$

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 0,9^2 \cdot 8,6 = 22 \text{ м}^3$$

$$G_k = 0,14 \cdot 924 = 2845 \text{ кг.}$$

$$W = \frac{G_k}{2,07 \cdot \tau} = \frac{8452}{2,07 \cdot 420} = 3,27 \text{ кг/с.}$$

$$G_m = 1,57 \cdot W = 1,57 \cdot 3,27 = 5,1 \text{ кг/с} = 18482 \text{ кг/год.}$$

Запишемо рівняння внутрішнього теплового балансу сушки:

$$\Delta = c\theta_1 + q_{\text{дон}} - (q_m + q_{\text{м}} + q_n), \text{кДж/кг}, \quad (6.1.4)$$

де Δ - різниця між питомим приходом і витратою тепла безпосередньо в сушильній камері;

c – теплоємність води у вологому матеріалі при температурі $\theta_1 = 20^\circ \text{C}$, $c = 4,187 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$;

$q_{\text{дон}}$ – питоме додаткове підведення тепла в сушильну камеру, $\text{кДж}/\text{кг}$ води, при роботі сушарки по нормальному сушильному варіанту $q_{\text{вн}} = 0$;

q_m – питоме підведення тепла в сушку з транспортними засобами, $\text{кДж}/\text{кг}$ води, в даному випадку $q_m = 0$;

$q_{\text{м}}$ – питоме підведення тепла в сушильний барабан з висушуваним матеріалом;

$$q_i = G_i \tilde{n}_i (\theta_2 - \theta_1) / W ;$$

c_i – теплоємність висушеного матеріалу, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$

$$c_m = c \frac{\omega_k}{100} + c_{\text{сух}} \frac{100 - \omega_k}{100} \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) ;$$

$c_{\text{сух}}$ – питома теплоємність абсолютно сухого матеріалу, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{K}$;

$$c_{\text{сух}} = 1550 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot \text{K} ;$$

$$c_m = 4,18 \cdot \frac{12}{100} + 1,55 \cdot \frac{100 - 12}{100} = 1,8656 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot \text{K}$$

$$q_i = \frac{2587,2 \cdot 1,8656 \cdot (49 - 20)}{3600 \cdot 0,2} = 194,4$$

θ_2 – температура висушеного матеріалу на виході з сушарки, $^\circ \text{C}$. При випарі поверхневої води θ_2 приймають приблизно температури мокрого

термометра t_m при відповідних параметрах сушильного агента. Приймаючи в першому наближенні процес сушки адіабатичним, знаходимо θ_2 по I-x діаграмі по початкових параметрах сушильного агента $\theta_2 = 49^\circ C$;

q_n – питомі втрати тепла в довкілля, $кДж/кг$ волога, приймаємо $22,6кДж/кг$, що відповідає $\approx 1\%$ тепла, витраченого на випар 1кг води.

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$\Delta = \theta_1 \cdot c - (q_m - q_n) = 20 \cdot 4,18 - (194,4 + 22,6) = -133,4 \text{ кДж/кг}$$

Запишемо рівняння робочої лінії сушки:

$$\Delta = I - I_1 / (x - x_1) \text{ чи } I = I_1 + \Delta(x - x_1) \quad (6.1.5)$$

Для побудови робочої лінії сушки на діаграмі I-x необхідно знати координати (x і I) мінімум двох крапок. Координати однієї точки відомі:

$x_1 = 0,0188$, $I_1 = 266,7$. Для знаходження координат другої точки задамося довільним значенням x і визначимо відповідне значення I.

$$\text{Нехай } x = 0,08 \text{ Тоді } I = 266,7 - 133,4(0,08 - 0,0188) = 258,5 \text{ кДж/кг}$$

Через дві крапки на діаграмі I-x (рис.5.1) з координатами x_1, I_1 та x, I проводимо лінію сушки до пересічення із заданим кінцевим параметром, $t_2 = 80^\circ C$. У точці пересічення лінії сушки з ізотермою t_2 знаходимо параметри відпрацьованого сушильного агента:

$$x_2 = 0,073 \text{ кг/кг}, I_2 = 260 \text{ кДж/кг}$$

Витрата сухого газу:

$$L_{c,z} = W / (x_2 - x_1), \text{кг/с}; \quad (6.1.6)$$

$$L_{c,z} = 3,27 / (0,073 - 0,0188) = 60 \text{ кг/с}$$

Витрата сухого повітря:

$$L = W / (x_2 - x_0), \text{кг/с}; \quad (6.1.7)$$

$$L = 3,27 / (0,073 - 0,0092) = 10,8 \text{ кг/с}$$

Витрата тепла на сушку:

$$Q_c = L_{c,z} (I_1 - I_0), \text{кДж/с}; \quad (6.1.8)$$

$$Q_c = 60 / (266,7 - 42) = 829,149 \text{ кДж/с}$$

Витрата палива на сушку:

$$G_T = Q_c / Q = 829,143 / 53372 = 0,015 \text{ кг/скг}$$

6.2 Конструктивний розрахунок

Визначення основних розмірів сушильного барабана.

Об'єм сушильного простору V складається з об'єму V_n , необхідного для прогрівання вологого матеріалу до температури, при якій починається інтенсивний випар вологи (до температури мокрого термометра сушильного агента), і об'єму V_c , потрібного для проведення процесу випару вологи, тобто $V = V_c + V_n$. Об'єм сушильного простору барабана, може бути вчислений по модифікованому рівнянню масообміну:

$$V_c = W / (K_v \Delta x'_{cp}) \quad (6.2.1)$$

де $\Delta x'_{cp}$ - середня рушійна сила масопередачі, кг/м^3 ;

K_v - об'ємний коефіцієнт масообміну, $1/\text{с}$.

При сушці кристалічних матеріалів відбувається видалення поверхневої вологи, тобто процес протікає в першому періоді сушки, коли швидкість процесу визначається тільки зовнішнім дифузійним опором. При паралельному русі матеріалу і сушильного агента температура вологого матеріалу дорівнює температурі мокрого термометра. В цьому випадку коефіцієнт масообміну чисельно дорівнює коефіцієнту масовіддачі $K_v = \beta_v$.

Для барабанної сушарки коефіцієнт масовіддачі β_v може бути вчислений по емпіричному рівнянню:

$$\beta_v = 1,62 \cdot 10^{-2} (\omega \rho_{cp})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54} P_0 / [c \rho_{cp} (P_0 - P)], \quad (6.2.2)$$

де ρ_{cp} - середня щільність сушильного агента, кг/м^3 ;

c - теплоємність сушильного агента при середній температурі в барабані, рівна $1 \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) [1]$;

β - оптимальне заповнення барабана висушуваним матеріалом, %;

P_0 - тиск, при якому здійснюється сушка, Па ;

P - середній парціальний тиск водяної пари в сушильному барабані, $Па$.

Рівняння (6.3.2) справедливе для значень:

$$\omega\rho_{cp} = 0,6 \div 1,8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

$$n = 1,5 \div 5,0 \text{ об}/\text{мин},$$

$$\beta = 10 \div 25\%.$$

В даному випадку розмір часток висушуваного матеріалу від 1 до 2 мм. Швидкість газів, що приймається, в барабані $\omega = 2 \text{ м}/\text{с}$. Щільність сушильного агента при середній температурі в барабані $t_{cp} = (200 + 50)/2 = 175 \text{ }^\circ\text{C}$ практично відповідає щільності повітря при цій температурі:

$$\rho_{cp} = \frac{\mu_{с.в}}{V_0} \frac{T_0}{T_0 + t_{cp}} = \frac{29}{22,4} \frac{273}{(273 + 175)} = 0,789 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

При цьому $\omega\rho_{cp} = 2 \cdot 0,789 = 1,578 < 1,8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Частота обертання барабана зазвичай не перевищує 5-8 об/хв; приймаємо $n=4$ про/хв, міра заповнення барабана висушуваним матеріалом $\beta=20\%$.

Парціальний тиск водяної пари в газі:

$$P = (x/\mu_e)P_0 / \left(\frac{1}{\mu_{с.в}} + \frac{x}{\mu_e} \right). \quad (6.2.3)$$

Тиск на вході в сушарку

$$P_1 = \frac{0,0188}{18} \cdot 10^5 / \left(\frac{1}{29} + \frac{0,0188}{18} \right) = 2939,8 \text{ Па};$$

$$\text{на виході з сушарки } P_2 = \frac{0,0751}{18} \cdot 10^5 / \left(\frac{1}{29} + \frac{0,0751}{18} \right) = 10793,49 \text{ Па}.$$

Звідки

$$P = (P_1 + P_2)/2 = (2939,8 + 10793,49)/2 = 6866,6 \text{ Па}.$$

Таким чином, об'ємний коефіцієнт масовіддачі рівний:

$$\beta_V = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{1,578^{0,9} \cdot 4^{0,7} \cdot 20^{0,54} \cdot 10^5}{1 \cdot 0,86 \cdot (10^5 - 6866,6)} = 0,4 \text{ с}^{-1}.$$

Рушійну силу масопередачі $\Delta x'_{cp}$ визначимо по рівнянню:

$$\Delta x'_{cp} = \frac{\Delta x'_{cp} - \Delta x'_m}{\ln \frac{\Delta x'_b}{\Delta x'_m}} = \frac{\Delta P_{cp} \mu_e}{P_0 V_0 \frac{T_0 + t_{cp}}{T_0}}, \quad (6.2.4)$$

де $\Delta x'_b = (x_1^* - x'_1)$ – рушійна сила на початку процесу сушки, $кг/м^3$;

$\Delta x'_m = (x_2^* - x'_2)$ – рушійна сила у кінці процесу сушки, $кг/м^3$;

x_1^*, x_2^* – рівноважне утримування вологи на вході в сушарку і на виході з неї, $кг/м^3$.

Середня рушійна сила ΔP_{cp} , виражена через одиниці тиску (Па), рівна

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta P_b - \Delta P_m}{\ln \left(\frac{\Delta P_b}{\Delta P_m} \right)}. \quad (6.2.5)$$

Значення тиску насиченої пари над вологим матеріалом на початку і у кінці процесу сушки, Па, визначається по температурі мокрого термометра сушильного агента на початку t_{m1} та в кінці t_{m2} процесу сушки. По діаграмі I - x знайдемо: $t_{m1} = 49^0 C$; $t_{m2} = 47^0 C$, при цьому $P_1^* = 17523 Па$; $P_2^* = 16258 Па$

Тоді

$$\Delta P_{cp} = \frac{(17523 - 2939,8) - (16258 - 10793,49)}{\ln \frac{17523 - 2939,8}{16258 - 10793,49}} = 9303,76 Па.$$

Виразимо рушійну силу через концентрації

$$\Delta x'_{cp} = \frac{9303,76 \cdot 18}{10^5 \cdot 22,4(273 + 175)/273} = 0,046 кг/м^3.$$

Місткість сушильного барабана, необхідна для проведення процесу випарювання вологи, без урахування об'єму апарату, потрібного на прогрівання вологого матеріалу :

$$V_c = \frac{0,2}{0,4 \cdot 0,046} = 11,1 м^3$$

Місткість сушарки, необхідна для прогрівання вологого матеріалу знаходять по модифікованому рівнянню теплопередачі:

$$V_{II} = \frac{Q_{II}}{K_v \Delta t_{cp}} = \frac{42,6}{0,2448 \cdot 125} = 1,4 м^3 \quad (6.2.6)$$

де Q_{II} - витрата теплоти на прогрівання матеріалу до температури t_{m1} , $кВт$;

κ_v - об'ємний коефіцієнт тепловіддачі, $\text{кВт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$;

Δt_{cp} - середня різниця температур, град.

Витрата теплоти:

$$Q_i = G_i \tilde{n}_i (t_{i1} - \theta_1) + W_d \tilde{n}_d (t_{i1} - \theta_1); \quad (6.2.7)$$

$$Q_{II} = 0,314 \cdot 1,8656 \cdot (50 - 20) + 0,2 \cdot 4,18 \cdot (50 - 20) = 42,6 \text{ кВт}$$

Об'ємний коефіцієнт теплопередачі

$$\kappa_v = 16(\omega \rho_{cp})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54}; \quad (6.2.8)$$

$$\kappa_v = 16 \cdot 1,578^{0,9} \cdot 4^{0,7} \cdot 20^{0,54} = 244,6 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) = 0,2448 \text{ кВт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$$

Для обчислення Δt_{cp} необхідно знайти температуру сушильного агента t_x , до якої він охолонуватиметься, віддаючи тепло на нагрів висушуваного матеріалу до t_{m1} .

Цю температуру можна визначити з рівняння теплового балансу :

$$Q_{II} = L_{c,2} (1 + x_1) c_2 (t_1 - t_x). \quad (6.2.9)$$

$$\text{Звідки } t_x = 200 - \frac{49,01}{3,62(1 + 0,0188)1,05} = 187,344^\circ \text{C}.$$

Середня різниця температур

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - \theta_1) + (t_x - t_{m1})}{2}. \quad (6.2.10)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(200 - 20) + (187 - 50)}{2} = 155^\circ \text{C}$$

Загальний об'єм сушильного барабана рівний:

$$V = 11,1 + 1,4 = 12,5 \text{ м}^3$$

Внутрішній діаметр барабана визначується по формулі:

$$\omega = \frac{V_{\Gamma}}{0,785 \cdot d^2}. \quad (6.2.11)$$

$$\text{Звідки } d = \sqrt{\frac{V_z}{\omega \cdot 0,785}}, \text{ м.}$$

де V_z – об'ємна витрата вологого сушильного агента на виході з барабана.

$$V_z = L_{c,2} \cdot V_0 \frac{T_0 + t_{cp}}{T_0} \left(\frac{1}{\mu_{c,2}} + \frac{x_{cp}}{\mu_g} \right), \quad (6.2.12)$$

$$x_{cp} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{0,0188 + 0,073}{2} = 0,0459 \text{ кг/кг}$$

x_{cp} - середній зміст вологи в сушильному агенті, кг/кг сухого повітря

Підставивши, отримаємо

$$V_r = 3,69 \cdot 22,4 \cdot \frac{273 + 125}{273} \left(\frac{1}{29} + \frac{0,0459}{18} \right) = 4,438 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d = \sqrt{\frac{4,438}{2 \cdot 0,785}} = 2,78 \text{ м}$$

Довжина барабана

$$l = \frac{V}{\pi \cdot r^2} = \frac{V}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{12,5}{3,14 \left(\frac{1,68}{2}\right)^2} = 10,6 \text{ м}$$

Перевірка допустимої швидкості газів, виходячи з умови, що частки висушуваного матеріалу найменшого діаметру не повинні відноситися потоком сушильного агента з барабана.

Швидкість віднесення, рівна швидкості вільного витання

$$\omega_{c.s} = \frac{\mu_{cp}}{d \cdot \rho_{cp}} \left(\frac{Ar}{18 + 0,575 \sqrt{Ar}} \right), \quad (6.3.13)$$

де μ_{cp}, ρ_{cp} – в'язкість і щільність сушильного агента при середній температурі;

d - найменший діаметр часток матеріалу, м;

$Ar \approx d^3 \rho_{\text{ч}} \rho_{cp} g / \mu_{cp}^2$ - число Архімеда;

$\rho_{\text{ч}}$ - щільність часток висушуваного матеріалу, рівна для мезги кукурудзяної 924 кг/м³.

Середня щільність сушильного агента

$$\rho_{cp} = \left[29 \left(10^5 - \frac{P_1 + P_2}{2} \right) + \mu_{\text{е}} \frac{P_1 + P_2}{2} \right] \frac{273}{22,4 \cdot 10^5 (273 + t_{cp})}, \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{cp} = \left[29 \left(10^5 - 6866,6 \right) + 18 \cdot 6866,6 \right] \frac{273}{22,4 \cdot 10^5 (273 + 125)} = 0,838 \text{ кг/м}^3.$$

Критерій Архімеда:

$$Ar = d^3 \rho_{\text{ч}} \rho_{cp} g / \mu_{cp}^2,$$

де $\mu_{cp} = 23,475 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при $t_{cp} = 137,5^\circ \text{C}$, $\rho_{\text{ч}} = 924 \text{ кг/м}^3$

$$Ar = \frac{(1,6 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 924 \cdot 0,838 \cdot 9,8}{(23,475 \cdot 10^{-6})^2} = 51,72 \cdot 10^4$$

Тоді швидкість віднесення

$$\omega_{\text{с.в.}} = \frac{23,475 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,838} \cdot \left(\frac{51,7 \cdot 10^4}{18 + 0,575 \sqrt{51,7 \cdot 10^4}} \right) = 20,9 \text{ м/с.}$$

Робоча швидкість сушильного агента $\omega_{\text{д}} = 2 \text{ м/с}$ у сушарці менше, ніж швидкість віднесення часток найменшого розміру $\omega_{\text{с.в.}} = 20,9 \text{ м/с}$ тому розрахунок основних розмірів сушильного барабана закінчуємо.

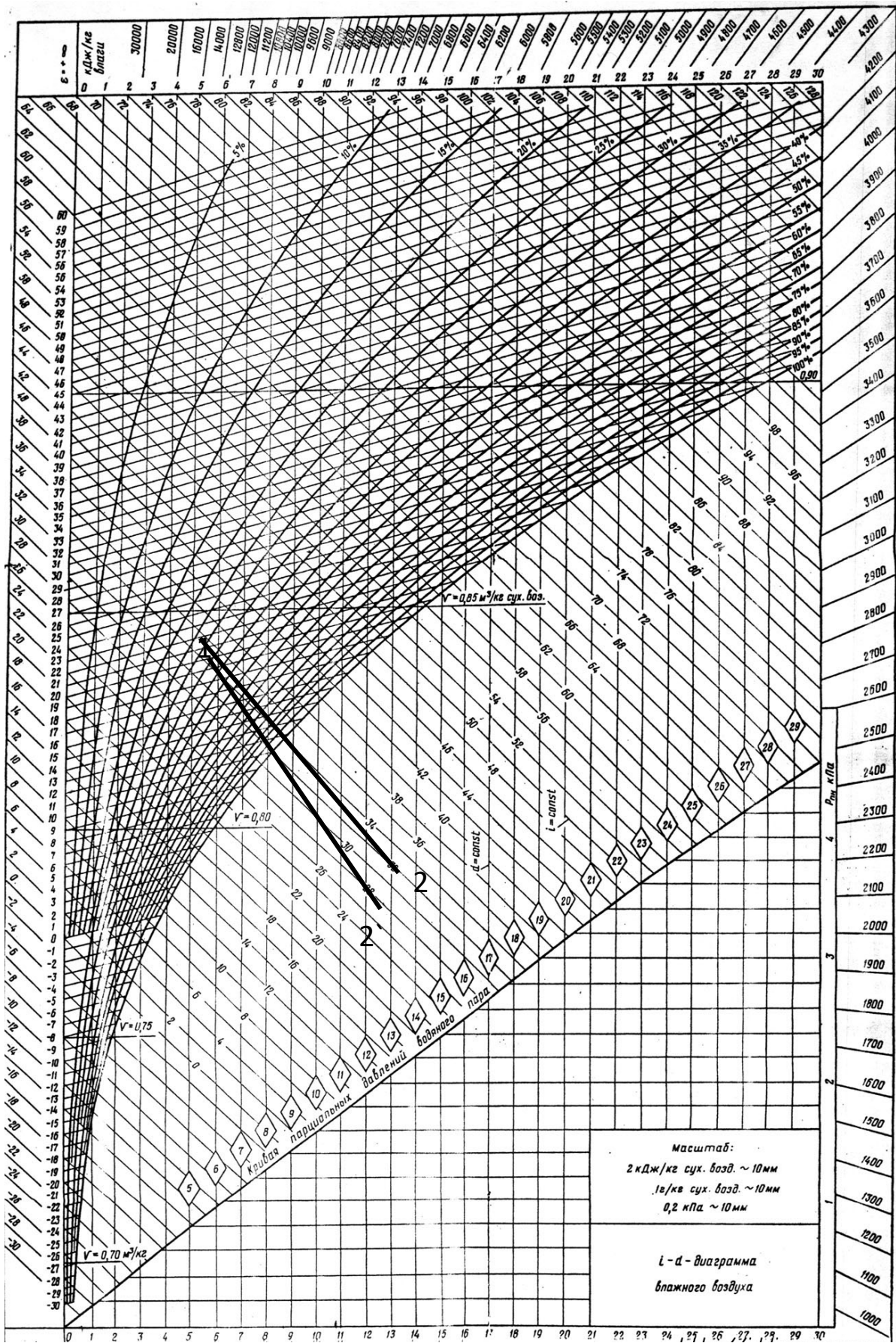


Рис. 6.1 Диаграмма стану вологого повітря.

6.3 Тепловий баланс барабанної сушарки

Параметри топкових газів, що подаються в сушарку.

Як паливо використовують природний газ наступного складу [у %]: 92,8 CH_4 ; 2,8 C_2H_6 ; 0,9 C_3H_8 ; 0,4 C_4H_{10} ; 0,1 C_5H_{12} ; 2,5 N_2 ; 0,5 CO_2 .

Теоретична кількість сухого повітря, що витрачається на спалювання 1 кг палива, рівна:

$$L_0 = 138[0,0179r_{\text{CO}} + 0,24r_{\text{H}_2} + \sum \frac{m+n/4}{12m+n} r_{\text{C}_m\text{H}_n}], \quad \text{кг/кг}, \quad (6.3.1)$$

де склади горючих газів виражені в об'ємних долях.

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$L_0 = 138[0,0179 \cdot 0 + 0,24 \cdot 0 + \frac{1+4/4}{12 \cdot 1+4} \cdot 0,928 + \frac{2+6/4}{12 \cdot 2+6} \cdot 0,028 + \frac{3+8/4}{12 \cdot 3+8} \cdot 0,009 + \frac{4+10/4}{12 \cdot 4+10} \cdot 0,004 + \frac{5+12/4}{12 \cdot 5+12} \cdot 0,001] = 16,677 \text{ кг/кг}.$$

Кількість тепла Q_v , що виділяється при спалюванні 1 м^3 газу, рівна:

$$Q_v = 35741r_{\text{CH}_4} + 63797r_{\text{C}_2\text{H}_6} + 91321r_{\text{C}_3\text{H}_8} + 118736r_{\text{C}_4\text{H}_{10}} + 146000r_{\text{C}_5\text{H}_{12}}, \quad \text{кДж/м}^3; \quad (6.3.2)$$

$$Q_v = 35741 \cdot 0,928 + 63797 \cdot 0,028 + 91321 \cdot 0,009 + 118736 \cdot 0,004 + 146000 \cdot 0,001 = 36400 \text{ кДж/м}^3.$$

Щільність газоподібного палива ρ_T :

$$\rho_T = \frac{\sum r_{\text{C}_m\text{H}_n} \cdot \mu_{\text{C}_m\text{H}_n} \cdot T_0}{22,4 \cdot T_T}, \quad \text{кг/м}^3, \quad (6.3.3)$$

де $\mu_{\text{C}_m\text{H}_n}$ – молярна маса палива, кмоль/кг ;

$r_{\text{C}_m\text{H}_n}$ – об'ємна доля горючих газів;

T_T – температура палива, рівна $T_T = 273 + 20^0 = 293\text{K}$;

T_0 – абсолютна температура, 273K ;

22,4 – молярний об'єм, $\text{м}^3/\text{кмоль}$.

Підставивши, отримаємо:

$$\rho_T = \frac{0,928 \cdot 16 + 0,028 \cdot 30 + 0,009 \cdot 44 + 0,004 \cdot 58 + 0,001 \cdot 72}{22,4} \cdot \frac{273}{293} = 0,682 \text{ кг/м}^3.$$

Кількість тепла, що виділилося при спалюванні 1 кг палива:

$$Q_H^r = \frac{Q_V}{\rho_T} = \frac{36400}{0,682} = 53372 \text{ кДж/кг} \quad (6.3.4)$$

Маса сухого газу, що подається в сушильний барабан, з розрахунку на 1 кг спалюваного палива визначуваного палива визначається загальним коефіцієнтом надлишку повітря α , необхідного для спалювання палива і розбавлення топкових газів до температури суміші $t_{c.m} = 195^0 C$. Значення α знаходять з рівнянь матеріального і теплового балансів.

Рівняння матеріального балансу:

$$1 + L_0 = L_{c.z} + \sum \frac{9n}{12m + n} r_{C_m H_n}, \quad (6.3.5)$$

де $L_{c.z}$ – маса сухих газів, що утворюються при згоранні 1 кг палива;

$r_{C_m H_n}$ – масова доля компонентів, при згоранні яких утворюється вода, кг/кг.

Рівняння теплового балансу:

$$Q_n^r \eta + c_T t_T + \alpha L_0 I_0 = [L_{c.z} + L_0(\alpha - 1)] i_{c.z} + [\alpha L_0 x_0 + \sum \frac{9n}{12m + n} r_{C_m H_n}] i_n, \quad (6.3.6)$$

де η – загальний коефіцієнт корисної дії, що враховує ефективність роботи топки і втрати тепла топкою в доквілля, приймається рівним 0,95;

c_T – теплоємність газоподібного палива при температурі $t_T = 20^0 C$,

рівна $1,34 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot K)$;

I_0 – ентальпія свіжого повітря, $I_0 = c_g t_g = 42 \text{ кДж}/\text{кг}$;

$i_{c.z}$ – ентальпія сухих газів, $i_{c.z} = c_{c.z} t_{c.z}$, $\text{кДж}/\text{кг}$;

$c_{c.z}, t_{c.z}$ – відповідно теплоємність і температура сухих газів;

$c_{c.z} = 1,05 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot K)$, $t_{c.z} = 195^0 C$;

x_0 – вологовміст свіжого повітря, $\text{кг}/\text{кг}$ сухого повітря, при температурі

$t_0 = 20^0 C$ і відносній вологості $\varphi_0 = 72\%$, $x_0 = 0,0092 \text{ кг}/\text{кг}$;

i_n – ентальпія водяної пари, $\text{кДж}/\text{кг}$; $i_n = r_0 + c_n t_n$,

r_0 – теплота випару води при температурі $0^0 C$, рівна $2500 \text{ кДж}/\text{кг}$;

c_n – середня теплоємність водяної пари, рівна $1,97 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot K)$;

t_n – температура водяної пари, $t_n = t_{c.2} = t_{cm} = 200^\circ\text{C}$.

$$i_n = 2500 + 1,97 \cdot 200 = 2884 \text{ кДж/кг}.$$

Вирішуючи спільно рівняння (5.1.5) і (5.1.6), отримаємо:

$$\alpha = \frac{Q_n^r \eta + c_T t_T - i_{c.2} (1 - \sum \frac{9n}{12m+n} g_{C_m H_n}) - i_n (\sum \frac{9n}{12m+n} g_{C_m H_n})}{L_0 (i_{c.2} + i_n x_0 - i_0)}; \quad (6.3.7)$$

Перерахуємо компоненти палива, при згоранні яких утворюється вода, з об'ємних доль в масові:

$$g_{C_m H_n} = \frac{r_{C_m H_n} \mu_{C_m H_n}}{22,4 \rho_T} \cdot \frac{T_0}{T_T};$$

$$g_{CH_4} = 0,928 \cdot 16 \cdot 273 / (22,4 \cdot 0,699 \cdot 293) = 0,884;$$

$$g_{C_2H_6} = 0,039 \cdot 30 \cdot 273 / (22,4 \cdot 0,699 \cdot 293) = 0,051;$$

$$g_{C_3H_8} = 0,011 \cdot 44 \cdot 273 / (22,4 \cdot 0,699 \cdot 293) = 0,024;$$

$$g_{C_4H_{10}} = 0,004 \cdot 58 \cdot 273 / (22,4 \cdot 0,699 \cdot 293) = 0,0138;$$

$$g_{C_5H_{12}} = 0,001 \cdot 72 \cdot 273 / (22,4 \cdot 0,699 \cdot 293) = 0,0043.$$

Кількість вологи, що виділяється при згоранні 1 кг палива, рівно:

$$\begin{aligned} \sum \frac{9n}{12m+n} g_{C_m H_n} &= \frac{9 \cdot 4}{12+4} 0,884 + \frac{9 \cdot 6}{12 \cdot 2+6} 0,051 + \frac{9 \cdot 8}{12 \cdot 3+8} 0,024 + \\ &+ \frac{9 \cdot 10}{12 \cdot 4+10} 0,0138 + \frac{9 \cdot 12}{12 \cdot 4+12} 0,0043 = 2,156 \text{ кг/кг}. \end{aligned}$$

Коефіцієнт надлишку повітря знаходимо по рівнянню (5.1.7):

$$\alpha = \frac{Q_n^r \eta + c_T t_T - i_{c.2} (1 - \sum \frac{9n}{12m+n} g_{C_m H_n}) - i_n (\sum \frac{9n}{12m+n} g_{C_m H_n})}{L_0 (i_{c.2} + i_n x_0 - i_0)};$$

Обчислимо:

$$\alpha = \frac{53372 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 20 - 1,05 \cdot 200(1 - 2,156) - 2884 \cdot 2,156}{16,677(1,05 \cdot 200 + 2884 \cdot 0,0092 - 42)} = 14,565$$

Загальна питома маса сухих газів, що отримуються при спалюванні 1 кг палива і розбавленні топкових газів повітрям до температури суміші 200°C , рівна:

$$G_{c.2} = 1 + \alpha L_0 - \sum \frac{9n}{12m+n} g_{C_m H_n}, \text{ кг/кг}; \quad (6.3.8)$$

$$G_{c.2} = 1 + 14,565 \cdot 16,677 - 2,156 = 241,754 \text{ кг/кг}.$$

Питома маса водяної пари в газовій суміші при спалюванні 1 кг палива:

$$G_n = \sum \frac{9n}{12m+n} g_{c_m H_n} - \alpha x_0 L_0, \text{кг} / \text{кг}; \quad (6.3.9)$$

$$G_n = 2,156 + 14,565 \cdot 0,0092 \cdot 16,677 = 4,39 \text{кг} / \text{кг}.$$

Вологовміст газів на вході в сушарку ($x_1 = x_{cm}$) на 1 кг сухого повітря рівно:

$$x_1 = G_n / G_{\tilde{n}, \tilde{a}}, \tilde{e} \tilde{a} / \tilde{e} \tilde{a}, \quad (6.3.10)$$

звідки

$$x_1 = 4,39 / 241,745 = 0,018 \text{кг} / \text{кг}.$$

Ентальпія газів на вході в сушарку:

$$I_1 = (Q_n^r \eta + c_T t_T + \alpha L_0 I_0) / G_{c, \tilde{a}}, \text{кДж} / \text{кг}; \quad (6.3.11)$$

$$I_1 = (53372 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 20 + 14,565 \cdot 16,677 \cdot 42) / 233 = 266,779 \text{кДж} / \text{кг}$$

Оскільки коефіцієнт надлишку повітря великий, фізичні властивості газової суміші, використовуваної як сушильний агент, практично не відрізняються від фізичних властивостей повітря. Це дає можливість використовувати в розрахунках діаграму стану вологого повітря І-х.[13.]

6.4 Розрахунок вентилятора притоку теплого повітря

Годинна продуктивність вентилятора встановленого перед сушаркою :

$$V = \frac{L}{\rho} = \frac{4920,2}{1,35} = 3644,6 \text{ м} / \text{год}, \quad (6.4.1)$$

де $\rho = 1,35 \text{ г} / \text{м}^3$ – густина повітря поступаю чого в вентилятор; V- вагова кількість повітря.

Потрібна потужність при напорі вентилятора $H = 260 \text{ мм}$.

$$N = \frac{V \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B} = \frac{3644,6 \cdot 260}{3600 \cdot 102 \cdot 0,5} = 5,2 \text{ кВт}, \quad (6.4.2)$$

$\eta_B = 0,5$ – ККД вентилятора.

При коефіцієнті запасу потужності 1,15 потрібний електродвигун потужністю:

$$N = 5,2 \cdot 1,15 = 6 \text{ кВт}$$

Діаметр ротора визначається як:

$$D = 0,015 \cdot \frac{V^{0,5}}{H^{0,25}} = 0,015 \cdot \frac{3644,6^{0,5}}{260^{0,25}} = 0,22 \text{ м}; \quad (6.4.3)$$

Визначимо число обертів ротора:

$$n = 55 * \frac{H^{0.5}}{D} = \frac{260^{0.25}}{0.22} = 1000 \text{ об/хв.} \quad (6.4.4)$$

Вибираємо вентилятор : ВЦ-14-46-6,3, А=5,2м³/хв.

6.5 Розрахунок витяжного вентилятора

Годинна продуктивність:

$$V = \frac{L}{\rho} = \frac{4920.2}{0.3} = 16402 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (6.5.1)$$

де $\rho=0,3\%$ - густина розрідженого повітря;

Ставимо вентилятор (витяжний) з загальною годинною продуктивністю:

$$N = \frac{V*80}{102*3600*\eta_b} = \frac{12148,6*80}{102*3600*0,5} = 5,3 \text{ кВт,} \quad (6.5.2)$$

Приймаємо: $N=5,3*1,15=6 \text{ кВт}$

Визначаємо діаметр ротора: $D = 0.015 * \frac{12148.6^{0.5}}{80^{0.25}} = 0.55 \text{ м;}$

Число обертів ротора: $n = 55 * \frac{80^{0.25}}{0.55} = 300 \text{ об/хв.}$

Визначаємо вентилятор холодного повітря: ВЦ-14-46-6,3, А=4,8м³/хв.

6.6 Розрахунок калорифера

Витрати тепла за одну годину:

літом $Q_{\text{л}} = q_{\text{л}} * W = 912 * 80.2 = 73142.4 \text{ ккал/год}$

$Q = 912 \text{ ккал/год.}$ – витрати тепла на випаровування вологи літом.

зимою $Q_{\text{з}} = q_{\text{з}} * W = 1112 * 80.2 = 89182,4 \text{ ккал/год}$

$Q = 1112 \text{ ккал/год.}$ – витрати тепла на випаровування вологи зимою.

Витрати пари на сушіння визначаються з формули :

$$G_n = \frac{Q}{(i_{\text{пар}} - i_{\text{к}})*\eta}; \quad (6.6.1)$$

$i_{\text{пар}} = 610 \text{ ккал/год.}$ - ентальпія пари;

$i_k = 132$ ккал/год. – ентальпія конденсату;

$\eta = 0,98$ – ККД калорифера;

$$\text{літом } G_{нл} = \frac{73142,4}{(610 - 132) \cdot 0,98} = 156,2 \text{ кг/год}$$

$$\text{зимою } G_{нз} = \frac{89182,4}{(610 - 132) \cdot 0,98} = 190,4 \text{ кг/год}$$

Витрати пари на 1 кг вологи:

$$\text{літом } q_{нл} = \frac{G_{нл}}{G_r} = \frac{156,2}{10336,4} = 0,015 \text{ кг}$$

$$\text{зимою } q_{нз} = \frac{G_{нз}}{G_r} = \frac{190,4}{10336,4} = 0,018 \text{ кг}$$

В результаті вище приведених розрахунків підбираємо калорифер КП 312 СК.

6.7 Вибір і перевірка електродвигуна

Визначення необхідної потужності електродвигуна

Обертний момент, на робочому валу редуктора;

$$P_{эд}^{тр} = \frac{P_{рв}}{\eta_o}, \text{ Вт} \quad (6.7.1)$$

де : $P_{рв} = T_{рв} \cdot \omega_{рв}$, Вт – потужність на робочому валу;

$\eta_o = \eta_m \cdot \eta_{зк} \cdot \eta_{зцо}$ – загальний коефіцієнт корисної дії приводу;

тут :

$\omega_{рв} = \pi \cdot n / 30$, с^{-1} – кутова швидкість робочого валу:

$$\omega_{рв} = \frac{3,14 \cdot 4}{30} = 0,418 \text{ с}^{-1};$$

$T_{рв} = N / \omega_{рв}$, $\text{í} \cdot \text{í}$ – момент, що обертає, на робочому валу:

$$T_{рв} = \frac{16400}{0,418} = 39234,4 \text{ í} \cdot \text{í};$$

$\eta_m = 1$ – К.К.Д. пружної компенсуючої муфти між електродвигуном і редуктором ;

$\eta_{зк} = 0,97$ – К.К.Д. закритої конічної передачі редуктора з урахуванням втрат в опорах і підшипниках ;

$\eta_{зцо} = 0,95$ – К.К.Д. відкритої циліндричної передачі ;

$P_{PB} = T_{PB} \cdot \omega_{PB}$, Вт – потужність на робочому валу:

$$P_{PB} = 39234,4 \cdot 0,418 = 16400$$

тоді:

$$P_{\text{ЭД}}^{\text{ТР}} = \frac{16400}{1 \cdot 0,97 \cdot 0,95} = 17797$$

Необхідна частота обертання електродвигуна

Потрібна частота обертання знаходиться з наступного діапазону частот обертання:

$$Dn_{\text{ЭД}} = n \cdot Du_{\Sigma}, \text{ об/хв}, \quad (6.7.2)$$

де $n=4$ об/хв – частота обертання барабана;

$Du_{\Sigma} = Du_{\text{ЗК}} \cdot Du_{\text{ЗЦО}}$ – діапазон можливих передавальних чисел приводу.

тут:

$Du_{\text{ЗК}} = 2 \div 4$ – діапазон можливих передавальних чисел конічної передачі редуктора ;

$Du_{\text{ЗЦО}} = 3 \div 7$ – діапазон можливих передавальних чисел відкритої циліндричної передачі ;

Тоді:

$$Du_{\Sigma} = (2 \div 4) \cdot (3 \div 7) = 6 \div 28.$$

Звідси:

$$Dn_{\text{ЭД}} = 4 \cdot (6 \div 28) = 24 \div 112, \text{ об/хв}$$

Вибір електродвигуна

Виходячи з отриманих вище за даних, вибираємо трифазний електродвигун змінного струму загального застосування єдиної серії 4А по ГОСТ 19523-81 (серія АИР по ТУ16-526.621-85) з технічними характеристиками, представленими в таблиці 6.1.

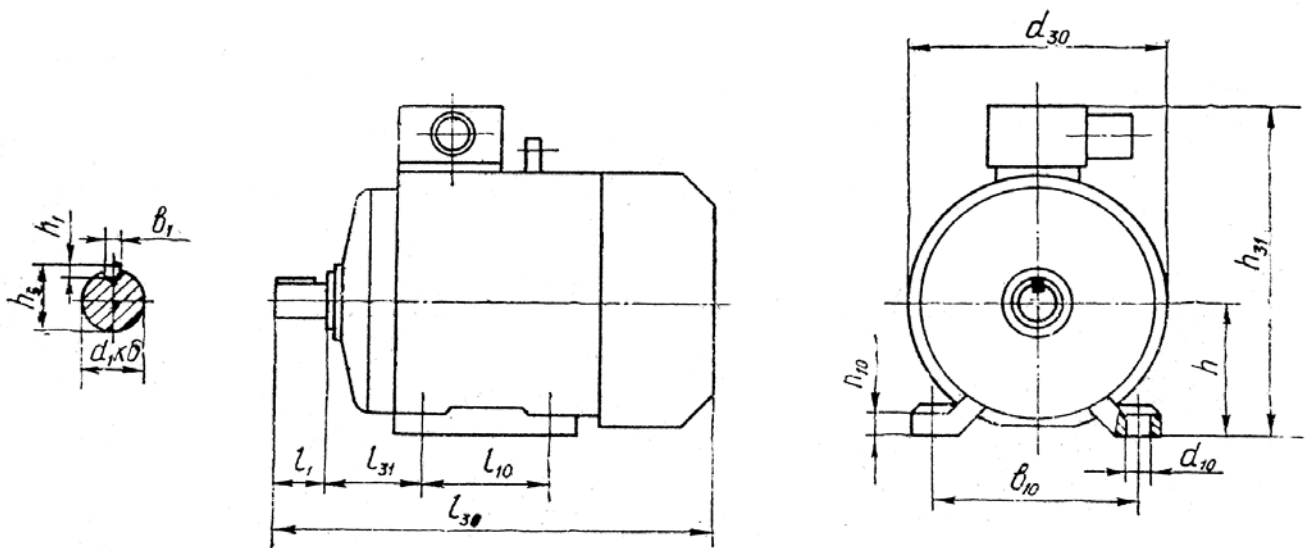


Рис. 6.7.1 Двигун асинхронний АИР160М8 У2 380 В,50 Гц,ІМ1081 ТУ16-526.621-85

Таблиця 6.7

Технічні характеристики вибраного електродвигуна

Тип двигуна	Виконання	Число пар полюсів	Потужність, $P_{\text{эд}}$, кВт	Точна частота обертання $n_{\text{эд}}$, мин^{-1}	$\frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{ном}}}$	Діаметр вала d , мм
АИР180М6	ІМ1081	6	18,5	975	2	55

Визначення загального передаточного числа і розбиття його між ступенями

Загальне передаточне число приводу:

$$U_{\Sigma} = \frac{n_{\text{эд}}}{n_{\text{рв}}} \quad (6.7.3)$$

$$U_{\Sigma} = \frac{975}{4} = 243,75$$

Вибір редуктора

Виберемо по ГОСТ 13563-68 редуктор циліндричний триступінчатий горизонтальний типу 1ЦЗУ-355М-31,5-12У1

Відповідно до вибраного типу редуктора і електродвигуна зображуватимемо кінематичну схему приводу сушарки:

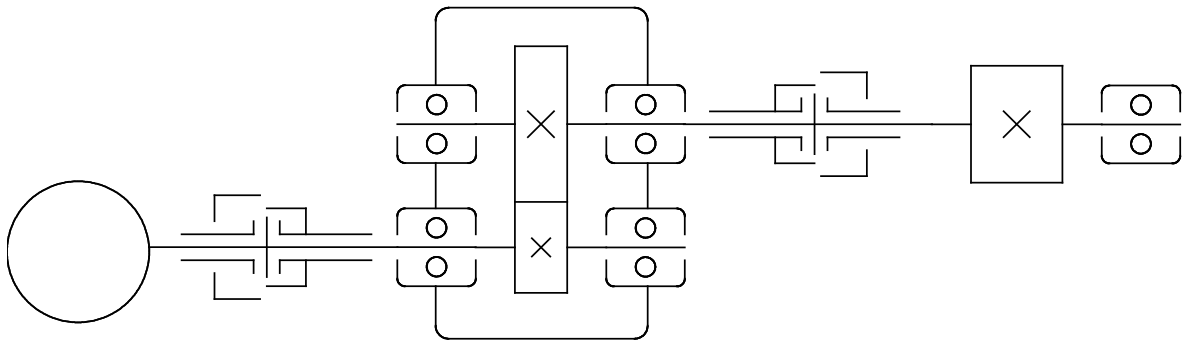


Рис. 6.7.2 Кінематична схема приводу сушарки

Робимо розбиття загального передавального числа по східцях

Передаточне число редуктора $U_{зц}$ рівне:

$$U_{зц} = \frac{U_{\Sigma}}{U_{оц}} \quad (6.7.4)$$

Прийmemo $U_{зц} = 60$. Тоді передаточне число відкритої циліндричної передачі рівне:

$$U_{оц} = \frac{243,75}{60} = 4,06 \approx 4$$

Надалі для простоти розрахунку позначимо кожен вал приводу і барабан індексами (уточнивши деякі величини):

I - вал електродвигуна

II - вхідний вал редуктора

III - вихідний вал редуктора

IV - барабан

Визначення частоти обертання валів і барабана приводу

$$n_I = n_{II} = n_{эд} = 975 \text{ об/хв}$$

$$n_{III} = \frac{n_{II}}{u_{зк}} \text{ об/хв} \quad (6.7.5)$$

$$n_{III} = \frac{975}{60} = 16,25 \text{ об/хв.}$$

$$n_{IV} = \frac{n_{III}}{U_{зц}} \text{ об/хв;} \quad (6.7.6)$$

$$n_{IV} = \frac{16,25}{4,06} = 4 \text{ об/хв.}$$

Визначення кутових швидкостей валів приводу

$$\omega_I = \omega_{II} = \frac{\pi \cdot n_I}{30}, \text{ рад/с;} \quad (6.7.7)$$

$$\omega_I = \omega_{II} = \frac{3,14 \cdot 975}{30} = 102,05, \text{ рад/с.}$$

$$\omega_{III} = \frac{\pi \cdot n_{III}}{30}, \text{ рад/с;} \quad (6.7.8)$$

$$\omega_{III} = \frac{3,14 \cdot 16,25}{30} = 1,701, \text{ рад/с.}$$

$$\omega_{IV} = \frac{\pi \cdot n_{IV}}{30}, \text{ рад/с;} \quad (6.7.9)$$

$$\omega_{IV} = \frac{3,14 \cdot 4}{30} = 0,4186, \text{ рад/с.}$$

Визначення потужностей на валах приводу

$$P_I = P_{II} = P_{эд} = 18500, \text{ Вт;}$$

$$P_{III} = P_{II} \cdot \eta_{зк}, \text{ Вт;} \quad (6.7.10)$$

$$P_{III} = 18500 \cdot 0,97 = 17945, \text{ Вт.}$$

$$P_{IV} = P_{III} \cdot \eta_{зц}, \text{ Вт;} \quad (6.7.11)$$

$$P_{IV} = 17945 \cdot 0,95 = 17047, \text{ Вт.}$$

Визначення обертових моментів, на валах приводу

$$T_I = T_{II} = \frac{P_I}{\omega_I}, \text{ Н} \cdot \text{ м;} \quad (6.7.12)$$

$$T_I = \frac{18500}{102,05} = 181,3, \text{ Н} \cdot \text{ м.}$$

$$T_{III} = \frac{P_{III}}{\omega_{III}}, \text{ Н} \cdot \text{ м;} \quad (6.7.13)$$

$$T_{III} = \frac{17945}{1,701} = 10550, \text{ Н} \cdot \text{ м.}$$

$$T_{IV} = \frac{P_{IV}}{\omega_{IV}}, \text{Н} \cdot \text{м}; \quad (6.7.14)$$

$$T_{IV} = \frac{17047}{0,4186} = 40723,8, \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Таблиця 6.7. 2

Результати кінематичного розрахунку приводу[14.]

Вали приводу	Величини			
	Частота обертання, n_i , об/хв	Кутова швидкість ω_i , рад/с	Потужність P_i , Вт	Обертвий момент T_i , Н·м
I	975	102,05	18500	181,3
II	975	102,05	18500	181,3
III	16,25	1,701	17945	10550
IV	4	0,4186	17907	40723,8

6.8. Розрахунок скрубера Вентурі

6.8.1. Розрахунок параметрів нормалізованої труби

У нормалізованої труби Вентурі підібрані геометричні співвідношення, що забезпечують мінімальні „шкідливі” гідравлічні втрати при русі по ній газового потоку. Довжину конфузора l_1 знаходимо за формулою:

$$l_1 = \frac{D_1 - D_2}{2 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right)}$$

де D_1 - вхідний діаметр конфузора, м; D_2 - діаметр горловини труби Вентурі, м; α_1 - кут звуження конфузора, $\alpha_1 = 28^\circ$.

Вхідний діаметр конфузора D_1 , приймаємо рівним діаметру газоходу $D_1 = 300$ мм.

Діаметр горловини знаходимо за формулою:

$$D_2 = \sqrt{\frac{V_2}{0.758 \cdot v_2}}$$

V_2 – об’ємна витрата повітря при робочих параметрах горловини $\text{м}^3/\text{сек.}$; v_2 - швидкість повітря в горловині $\text{м}/\text{сек.}$

Так як ми встановлюємо два скрубери Вентурі, та об’ємна витрата повітря для одного скрубера:

$$V_2 = \frac{21680}{2} = 10840 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 3 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Швидкість повітря в горловині приймаємо $90,0$ м/с. Тоді діаметр горловини буде дорівнювати:

$$D_2 = \sqrt{\frac{V_2}{0.758 \cdot 90}} = 0,198 \text{ м}$$

Приймаємо $D_2 = 200$ мм.

Довжина конфузора:

$$l_1 = \frac{0.9 - 0.2}{2 \operatorname{tg} \left(\frac{28}{2} \right)} = 0.2 \text{ м}$$

Так як зрощення труби Вентурі периферійне, то довжину горловини l_2 конструктивно приймаємо 100 мм.

Довжину дифузора l_3 знаходимо за формулою:

$$l_3 = \frac{D_2 - D_1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2}}$$

де D_2 - діаметр вихідного перерізу дифузора. Приймаємо $D_2 = D_1 = 300$ мм.

α_2 - кут розкриття дифузора $\alpha_2 = 7^\circ$.

Тоді

$$l_3 = \frac{0.3 - 0.2}{\operatorname{tg} \frac{7}{2}} = 0.817 \text{ м}$$

Приймаємо $l_3 = 0.82$ м.

Такі геометричні параметри забезпечують мінімальні гідравлічні втрати при русі повітряного потоку, так як виключають відрив потоку від стін горловини та дифузора.

6.8.2. Розрахунок швидкостей руху повітряного потоку в трубі Вентурі

Швидкість повітряного потоку на вході в конфузор дорівнює:

$$v_1 = \frac{V_r}{F_1},$$

де F_1 - площа перерізу вхідного патрубку в конфузор, м^2 .

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.3^2}{4} = 0.07 \text{ м}^2,$$

Тоді

$$v_1 = \frac{3,0}{0,07} = 43 \text{ м/с.}$$

Швидкість повітряного потоку в горловині:

$$v_r = \frac{3,0}{0,025} = 90 \text{ м/с.}$$

Швидкість повітряного потоку дорівнює швидкості повітря в конфузіві

$v_1 = v_2 = 43 \text{ м/с}$, так як площа перерізу конфузора F_1 дорівнює площі перерізу дифузора $F_2 = F_1$.

6.8.3. Гідравлічний опір скрубера Вентурі

Гідравлічний опір скрубера Вентурі складається з гідравлічного опору труби Вентурі і гідравлічного опору краплевловлювача. Основна частина втрати енергії приводиться на трубу Вентурі.

Гідравлічний опір труби Вентурі Δp_r при подачі в неї зрошувальної рідини описується рівнянням:

$$\Delta p_{TB} = \Delta p_r + \Delta p_p,$$

де Δp_r - гідравлічний опір труби Вентурі, обумовлений рухом повітря (без подачі зрошення), Н/м^2 ; Δp_p - гідравлічний опір труби Вентурі, обумовлений введенням зрошувальної рідини. Н/м^2 .

Гідравлічний опір „сухої” труби Вентурі Δp_r знаходимо за формулою:

$$\Delta p_r = \xi_{\text{сух}} \frac{v_r^2 \cdot \rho_r}{2}$$

де $\xi_{\text{сух}}$ - коефіцієнт гідравлічного опору „сухої” труби Вентурі; v_r - швидкість газів в горловині труби Вентурі, м/с .

Коефіцієнт гідравлічного опору „сухої” труби Вентурі знаходимо за формулою:

$$\xi_{\text{сух}} = 0,165 + 0,034 \left(\frac{\ell_2}{D_r} \right) - \left(0,06 + 0,028 \left(\frac{\ell_2}{D_r} \right) \right) M,$$

де $M = \frac{v_{\Gamma}}{v_{зв}}$ – число Маха ($v_{зв}$ - швидкість звука, м/с); $v_{зв} = 340 \text{ м/с}$.

Тоді:

$$\xi_{сх} = 0,165 + 0,034 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) - \left(0,06 + 0,028 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \right) \frac{90,0}{340},$$

Гідравлічний опір Δp_p дорівнює:

$$\Delta p_{\Gamma} = 0,169 \frac{90^2 \cdot 1,2}{2} = 365 \text{ Н/м}^2$$

Гідравлічний опір труби Вентурі, обумовлений введенням зрошувальної рідини Δp_p , знаходиться за формулою:

$$\Delta p_p = \xi_p \frac{v_{\Gamma}^2 \cdot \rho_p}{2} m,$$

де $\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$ - густина рідини; ξ_p - коефіцієнт гідравлічного опору, який враховує введення в трубу Вентурі зрошувальної рідини; m - питоме зрошення труби Вентурі, $m = (0,4 \dots 1,7) \text{ л/м}^3$.

Так як у нас периферійна подача зрошення безпосередньо в горловину труби Вентурі, то коефіцієнт ξ_p приблизно знаходимо по графіку при $m=1 \text{ л/м}^3$, тоді:

$$\Delta p_p = 1,5 \frac{90^2 \cdot 1000}{2} 0,001 = 1243 \text{ Н/м}^2,$$

Гідравлічний опір труби Вентурі:

$$\Delta p_{ТВ} = \Delta p_{\Gamma} + \Delta p_p = 365 + 1243 = 1608 \text{ Н/м}^2.$$

Гідравлічний опір краплевловлювача:

$$\Delta p_{к.в} = \xi_y \frac{v_y^2 \cdot \rho_2}{2},$$

де ξ_y - коефіцієнт гідравлічного опору для приточного циклона, $\xi_y = 33$; v_y - швидкість газів в перерізі, рекомендується приймати (2,5 - 5 м/с); ρ_2 - густина рідинно-газової суміші;

$$\rho_2 = \rho_z \cdot \rho_p \cdot m = 1,2 \cdot 1036 \cdot 0,001 = 2,24 \text{ кг} / \text{м}^3,$$

Тоді:

$$\Delta p_{к.б} = 33 \frac{2,5^2 \cdot 2,24}{2} = 230 \text{ Н} / \text{м}^2,$$

Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі буде дорівнювати сумі опорів труби Вентурі та краплевловлювача:

$$\Delta p_{с.б} = \Delta p_{м.б} + \Delta p_{к.б} = 1608 + 230 = 1838 \text{ Н} / \text{м}^2.$$

6.8.4. Розрахунок геометричних розмірів краплевловлювача

Діаметр краплевловлювача знаходимо з залежності:

$$Q = v_y \cdot \frac{\pi \cdot d_{к.з}^2}{4} \Rightarrow \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v_y \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,0}{2,5 \cdot 3,14}} = 0,88 \text{ м}.$$

Висота краплевловлювача:

$$H_{к.з} = 2,5 \cdot d_{к.з} = 2,5 \cdot 0,88 = 2,2 \text{ м}.$$

Визначимо товщину стінки циліндричної оболонки краплевловлювача.
Вихідні дані:

- довжина оболонки $l=2,2$ мм;
- внутрішній діаметр краплевловлювача $B=880$ мм;
- робочий тиск краплевловлювача $P=0,25$ МПа;
- температура в середині $t_c=70^0$;
- матеріал краплевловлювача - листовий прокат зі сталі ВСТ ЗПС (ГОСТ 380-71);
- швидкість корозії $\Pi=0,1$ мм/год;
- термін експлуатації $\tau_{\epsilon}=15$ років.

Масу молока в краплевловлювачі не враховуємо.

Розрахункова температура стінки котла $t = t_c = 70^{\circ}\text{C}$ так як температура середовища позитивна. Допустиме напруження в робочому стані 210 МПа - для

сталі ВСТЗПС при температурі $t = 70^{\circ}\text{C}$ і $\eta = 1$, так як апарат виготовлений з листового прокату, то при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_{TzO}}{1,1} = \frac{210}{1,1} = 190,9 \text{ МПа},$$

де $\sigma_{TzO} = 210$ МПа – для сталі ВСтЗпс при температурі 20°C .

Розрахункове значення внутрішнього надлишкового тиску $P_p = p = 0,25$ МПа, так як у котлі робоче середовище – газове.

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні

$$P_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,25 p [\sigma]_{20}}{[\sigma]} = \frac{0,25 \cdot 0,25 \cdot 140}{120} = 0,0729 \text{ МПа} \\ p + 0,3 = 0,25 + 0,3 = 0,55 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,73 \text{ МПа},$$

де $[\sigma]_{20} = \eta \cdot \sigma_{20} = 140$ МПа при температурі 20°C .

Коефіцієнт міцності повздовжніх зварювальних швів оболонок $\varphi = 0,8$, так як прийнято, що шви з двостороннім суцільним проваром виконуються автоматичною зваркою.

Додатки до розрахункової товщини стінки: для компенсації корозії

$C_k = II_{zB} = 0,1 \cdot 15 = 1,5$ мм, ерозії $c_e = 0$. Приймаючи $c_2 = 0$ і $c_3 = 0$, отримаємо $c = c_1 = c_k = 1$ мм.

Розрахункова і виконуюча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p c}{2\varphi[\sigma] - P_p} = \frac{0,25 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,8 \cdot 120 - 0,25} = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ \frac{P_u c}{2\varphi[\sigma] - P_u} = \frac{0,073 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,8 \cdot 190,9 - 0,073} = 0,29 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{array} \right\} = 1,01 \text{ мм}$$

$$S = S_p + C + C_0 = 1,01 + 1,0 + 0,2 = 3,21 \text{ мм}$$

де $C_0 = 0,2$ мм із умови округлення товщини стінки до найближчої більшої стандартної товщини (ГОСТ 19903-74*).

Так як

$$\frac{S - C}{D} = \frac{(3,2 - 1,0) \cdot 10^{-3}}{0,88} = 0,002 < 0,1$$

умова застосування формул виконується. Таким чином при товщині стінки $S=3,2$ мм забезпечується міцність циліндричної обичайки краплевловлювача у робочому стані, так і при гідравлічних випробуваннях. Можна прийняти $S=4$ мм.

6.8.5. Розрахунок насоса подачі цукрового пилу в трубу Вентурі

Вихідні дані:

Q - годинна витрата цукрового пилу для двох працюючих скрубєрів
 $Q = 21,68 \text{ м}^3 / \text{год}$;

P_n - надлишковий тиск в горловині, утворений насосом:

$$P_n = H_n = 0,03 - 0,1 \text{ МПа} = 3 - 10 \text{ мм.вод.ст.};$$

$P_{аб}$ - абсолютний тиск цукрового пилу в горловині, утворений насосом:

$$P_{аб} = P_{ат} + P = 0,13 - 0,2 \text{ МПа}$$

d - діаметр трубопроводу $d=25$ мм;

H - подача рідини на рівень 5 м від рівня встановлення насоса.

Знаходимо повний напір насоса :

$$H = H_{ур} + H_{надлиш} + H_{втрат},$$

Витрати напору H_n знаходимо за формулою:

$$H_n = \frac{v_h^2}{2g} \left(\lambda \frac{\ell}{d} + \sum \xi_i \right),$$

де v_p - швидкість руху рідини в трубопроводі, м/с; λ - коефіцієнт опору тертя по довжині трубопроводу; ξ_i - коефіцієнт місцевих опорів; ℓ - довжина трубопроводу $\ell = 20$ м.

Швидкість руху рідини знаходимо за формулою:

$$v_p = \frac{Q}{F_{mp}} = \frac{Q \cdot 4}{\pi d^2} = \frac{0,003 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,025^2} = 6,13 \text{ м/с.}$$

Знаходимо коефіцієнт:

для ламінарного руху: $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$.

для турбулентного руху: $\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}$

Для знаходження режиму руху рідини знаходимо критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{v_p \cdot d}{\vartheta},$$

де ϑ - кінематична в'язкість рідини, м/с. Для цукрового пилю $\vartheta = 26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$

$$\text{Re} = \frac{6,13 \cdot 0,025}{26 \cdot 10^{-6}} = 5894.$$

При $\text{Re}=5894$ режим руху рідини ламінарний, тому:

$$\lambda = \frac{64}{5894} = 0,0108.$$

Знаходимо коефіцієнт місцевих опорів:

коліно 90° $\xi_1 = \frac{A}{\text{Re}} + \xi_{\text{кв}}$,

де $A = 130$, $\xi_{\text{кв}} = 0,2$, тоді $\xi_1 = \xi_2 = \frac{130}{5894} + 0,2 = 0,22$,

трийник А-150, $\xi_{\text{ек}} = 0,3$,

$$\xi_3 = \frac{150}{5894} + 0,3 = 0,324;$$

різкі звуження потоку:

$$\xi_{\text{р.звуж}} = \xi_4 = 0,5 \left(1 - \frac{F_2}{F_1} \right),$$

де F_1 - площа поперечного перерізу трубопроводу; F_2 - сумарна площа перерізу всіх сопел;

$$F_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4} = 0,00049 \text{ м}^2,$$

де $n=16$ число сопел одного скрубера, $d_c=3$ мм - діаметр сопла.

Тоді

$$F_2 = 2 \frac{16 \cdot 3,14 \cdot 0,003}{4} = 0,00023 \text{ м}^2,$$

Коефіцієнт ξ_5 :

$$\xi_5 = 0,5 \left(1 - \frac{0,00023}{0,00049} \right) = 0,26.$$

Знаходимо втрати напору H_n :

$$H_n = \frac{6,13^2}{2 \cdot 9,81} \left(0,0108 \frac{20}{0,025} + 0,22 + 0,22 + 0,324 + 0,26 \right) = 18,5 \text{ м}.$$

Тоді повний напір насоса дорівнює:

$$H = 5 + 18,5 + 10 = 33,5 \text{ м}.$$

По продуктивності $Q=11 \text{ м}^3/\text{год}$ і повному напору $A=33,5$ м вибираємо насос 2К-6 з електродвигуном А-51-2М301.

Характеристика насоса 2К-6 електродвигуном А-51-2М301

Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$ - (10...30).

Напір, м - 24,0...34,5.

Потужність електродвигуна, кВт - 4,5.

Число обертів валу, с^{-1} - 2900.

7. ПІДБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.

Вибір матеріалів, що застосовують у харчовому машинобудуванні, а також при виготовленні сушильних установок зокрема, зумовлений наступними основними факторами, а саме, допустимістю контакту з харчовими продуктами, вимогами до надійності і довговічності устаткування, а також економічною доцільністю застосування. Під час проектування машин та апаратів харчового машинобудування такі задачі вирішуються шляхом застосування конструкційних матеріалів, які допускаються до контакту з харчовими продуктами, використання найдешевших матеріалів, що відповідають вимогам, а також сполученням пари конструкційних матеріалів, що забезпечує мінімальний знос і тертя.

Довговічність машин в основному визначається зносостійкістю її деталей, тому одним із основних шляхів підвищення терміну служби та надійності роботи устаткування є підвищення зносостійкості деталей з поверхнями тертя.

Під час зношенням деталей зазори збільшуються, порушується нормальна робота приладу, виникають ударні навантаження на поверхні деталей.

Вихід з ладу деталей внаслідок зношування приводить до зупинки обладнання, порушення ритму виробництва, що неприпустимо під час виробництва на харчових підприємствах. В таких випадках особливо важливого значення набувають питання надійності устаткування, оскільки від роботи сушильної установки залежить робота всього іншого обладнання.

Частинки обладнання можуть попасти у вентилятори і циклони при зносостійкості технологічного устаткування, що є неприпустимим і може

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва Підбур конструкційних матеріалів	221853.KP.007.007 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/2

призвести до пошкодження цього обладнання та подальшого виведення його з робочого стану.

Внутрішні частини сушильної установки постійно знаходяться у контакті з вологим цукром-піском.

При навантаженнях до 80 кгс/мм зносостійкість сталі у вологому твердому матеріалі може бути підвищена гартуванням та високим відпустком, а при більш високих навантаженнях – гартуванням та низьким відпустком. Підвищення зносостійкості чавуну досягається підвищенням твердості за рахунок зміцнювальної термічної обробки, ефективним способом підвищення зносостійкості є цементація сталі з подальшим гартуванням та низьким відпустком.

Використання сталі 40X13 та бронзи БрОЦС5-5-5 для металевих пар тертя у вологому твердому матеріалі є економічно недоцільною, а корозієстійкі сталі 12X17 і 12X18Н10Т, бронза БрАЖ9-4, прості латунні та свинцеві бабіти не придатні для роботи. Найбільш зносостійкою та економічно вигідною парою тертя у цих умовах є пара сталь-чавун.

Зносостійкість залізовуглецевих сплавів підвищується зі збільшенням у їхній структурі перліту. Тому, щоб збільшити довговічність чепцевого ущільнення захисні втулки необхідно виготовляти зі сталі, що має великий вміст вуглецю із сірого перлітного чавуну.

Найбільший знос деталей спостерігається на ділянках, де відносна швидкість руху середовища максимальна у вихровій або кавітаційній зоні.

Найбільш вразливими частинами є лопаті апарата.

Таким чином під час вибору конструкційних матеріалів, були використані матеріали, які дозволені органами Держсаннагляду міністерства охорони здоров'я України та забезпечують високу довговічність і економічну доцільність їх використання.

8. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

8.1. Технологічний маршрут складання ролика

Технологічний аналіз

Як виріб машинобудівного виробництва було вибрано вузол підтримуючого ролика, який служить для обертання та підтримування сушильного барабану. Принцип роботи вузла полягає у підтримуванні і обертанні, а також служить для уникнення можливості зміщення барабана. Барабан приводиться в рух через редуктор та зубчасту передачу. Обертання ролика забезпечує вал та два підшипника.

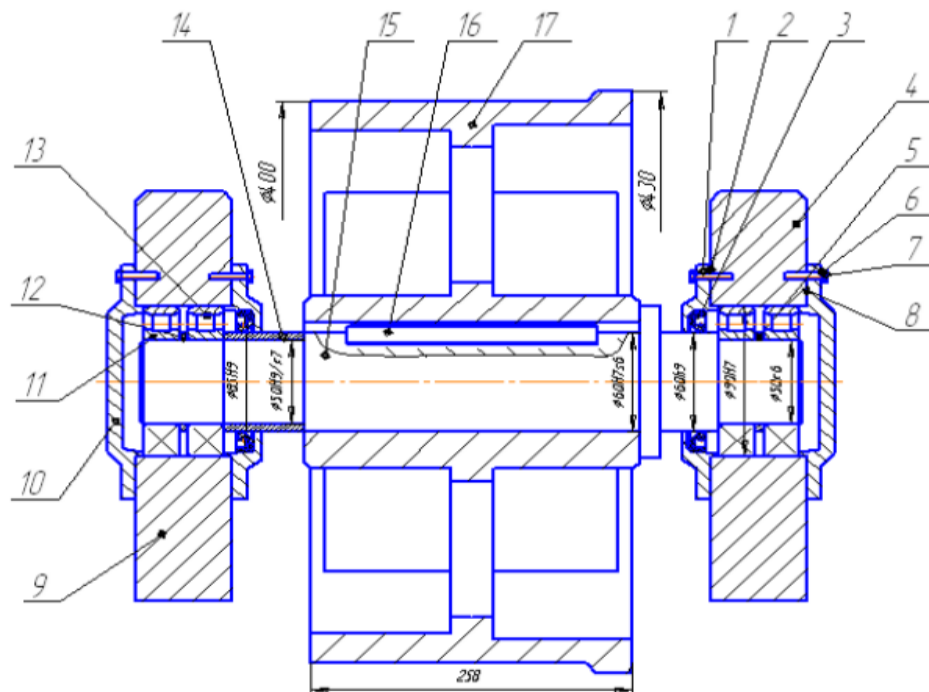


Рис.8.1 Підвісний ролик

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.КР.007.008 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Технологія машинобудування	Інд. змін.	Дата видання	Мова уа	Аркуш 1/11

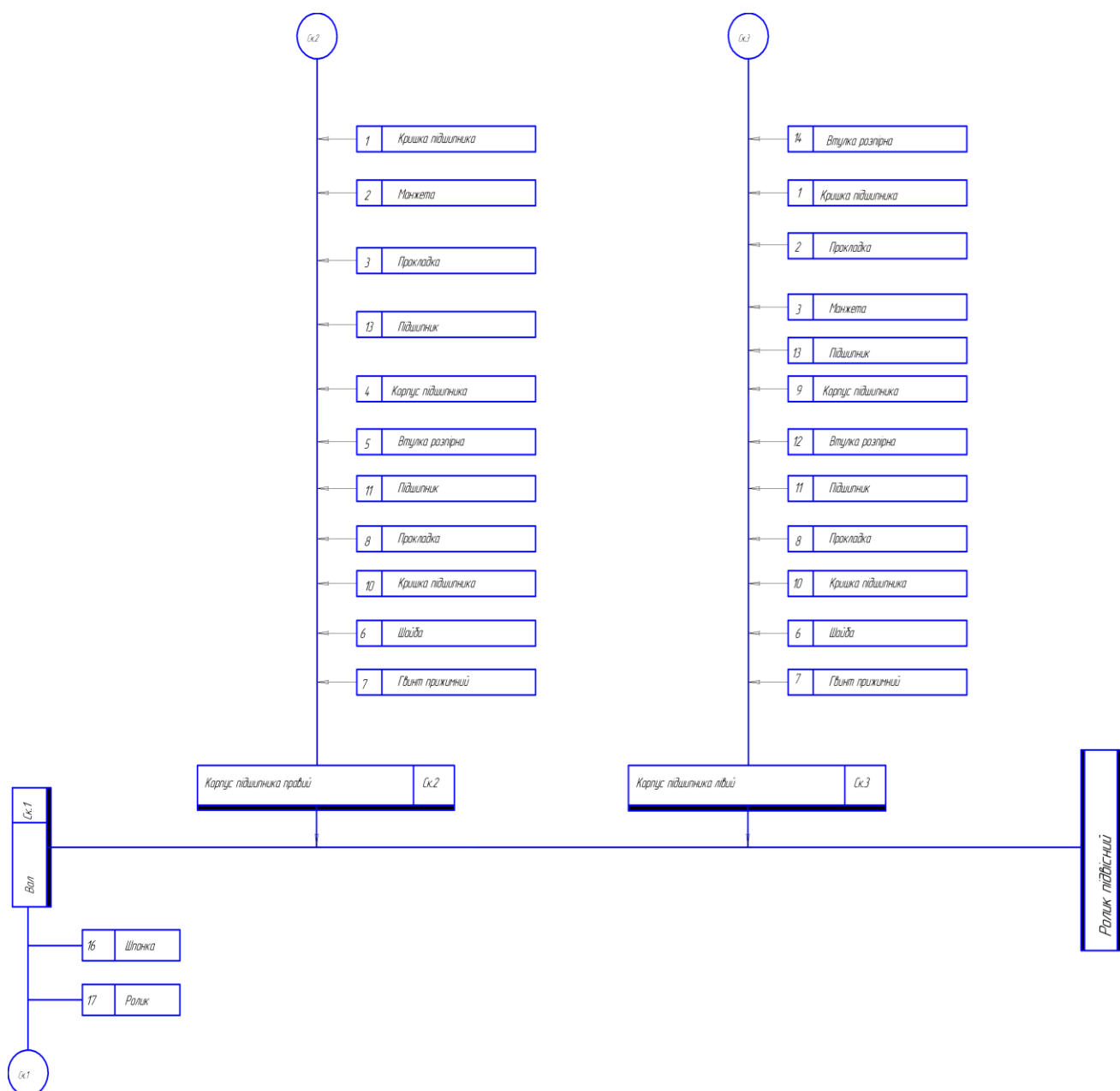
Таб.8.1 Подетальний склад підтримуючого ролика

Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1	Кришка підшипника	2
3	Прокладка	4
2	Манжета 60×10 ГОСТ 8752-79	2
11,13	Підшипник 2210 ГОСТ 8328-75	4
4,9	Корпус підшипника	2
14	Втулка розпірна	2
5,12	Втулка розпірна	1
15	Вал	1
16	Шпонка 17×22×70	1
6	Шайба 12	16
7	Болт М 10×38	16

З огляду на складальне креслення і виконаний технологічний аналіз конструкції можна виявити складальні одиниці 1-го порядку. Це вал 15 зі шпонкою 16 та надітим на нього роликом; вузол корпусу підшипника правий у складі з кришкою підшипника 1, прокладка 2, манжета 3, підшипник 13, корпус підшипника 4, втулка розпірна 5, підшипник 11, прокладка 8, кришка підшипника 10, шайба 6, болт прижимний 7.

Із розглянутих складальних одиниць базовою є перша складальна одиниця (вал у зборі зі шпонкою). Решта складальних деталей – прокладки 12,

шайби 6 і болти 7 – призначені для з'єднання складальних одиниць і беруть участь у загальному складанні об'єкта . У кожній складальній одиниці є базова деталь: Ск.1 – вал, Ск.2 – корпус підшипника правий, Ск.3 – корпус підшипника лівий.



Технологічний маршрут складання ролика

Табл.8.2

№ операції	№ переходу, зміст переходу
10. Складання валу (Ск. 1)	10.1 Установити вал на верстаті 10.2 Очистити пази валу від стружки 10.3 Встановити втулку розпору на вал 10.4 Запресовать шпонку в паз вала 10.5 Закріпити ролик
20. Складання корпусу підшипника (правий) (Ск.2)	20.1 Установити кришку на вал 20.2 Очистити отвори від стружки 20.3 Встановити манжета 1.1-64x78 20.4 Встановити прокладку 20.5 Закріпити підшипник 2210 в корпус 20.6 Встановити розпірну втулку 20.7 Встановити підшипник 2210 20.8 Встановити прокладку 20.(9 -11) Закріпити кришку підшипника, встановити шайбу та прижимний гвинт 20.12 Закріпити складальний вузол «Корпус підшипника правий Ск . 2» на « Вал Ск. 1»
30. Складання корпусу підшипника лівий (Ск. 3)	30.1 Встановити розпірну втулку на вал 30.2 Установити кришку підшипника на вал 30.(3-4) Встановити прокладку та манжета 1.1-64x78 30.(5-6) Встановити підшипник 2210 та закріпити корпус підшипника 30.7 Встановити розпірну втулку на вал 30.(8-9) Встановити підшипник 2210 та прокладку 30.(10-12) Закріпити кришку підшипника, встановити шайбу та прижимний гвинт 30.13 Закріпити складальний вузол «Корпус підшипника лівий Ск . 3» на « Вал Ск. 1»
40. Контрольна	40.1. Проконтролювати роботу ролика при максимальних обертах барабана
50. Консервація	50.1. Нанести захисне покриття

Розрахунок бандажів і перевірка умови контактної міцності в місці торкання ролика і бандажа

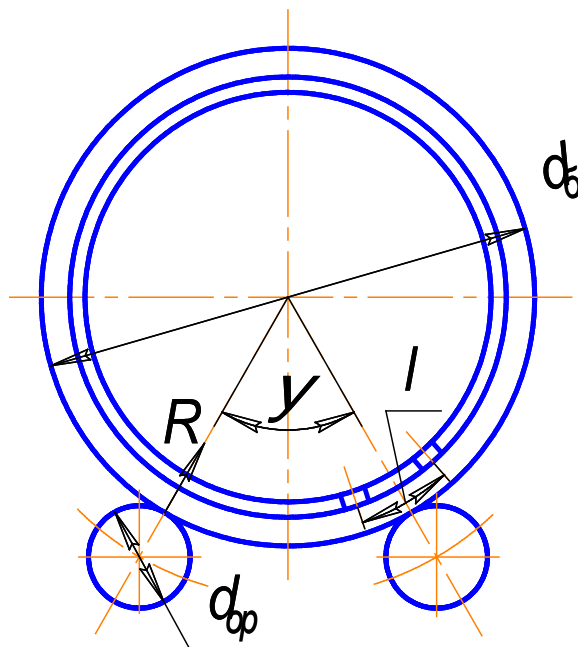


Рис. 8.2 Розрахункова схема бандажів

Визначення реакції опорного ролика

Реакція опорного ролика:

$$R = \frac{P}{2 \cdot \cos \frac{\psi}{2}} \quad (8.1.)$$

де $P = \frac{G_{\text{всього}}}{z} \cos \alpha$ – навантаження на один бандаж;

ψ - кут між опорними роликами ($\psi = 60^\circ$);

z – кількість бандажів ($z = 2$);

α – кут нахилу барабана до горизонталі, $\alpha = 2^\circ$ ($\cos 2^\circ \cong 0,999$).

$G_{\text{всього}} = G_{\text{бар}} + G_{\text{мат}} + 2 \cdot G_{\text{бан}}$ - вага усього барабана;

$G_{\text{бан}} = 4600$ – вага бандажа,

$$G_{\text{всього}} = 32648 + 15779,5 + 2 \cdot 4600 = 57627,5 \text{ Н.}$$

Тоді:

$$P = \frac{57627,5}{2} \cdot 0,999 = 28785, \text{ Н.}$$

$$R = \frac{28785}{2 \cdot 0,866} = 16619,5 \text{ Н}$$

Визначення відстань між двома сусідніми черевиками:

$$l = \frac{\pi \cdot D}{m}, \text{ м} \quad (8.2.)$$

де m - число черевиків для цього діаметру барабана (приймаємо $m = 9$).

$$l = \frac{3,14 \cdot 1,6}{9} = 0,558, \text{ м.}$$

Визначення максимального моменту, що вигинає, в місці контакту опорного ролика і бандажа

Визначимо по формулі:

$$M_{\text{max}} = \frac{R \cdot l}{4}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (8.3.)$$

$$M_{\text{max}} = \frac{16619,5 \cdot 0,558}{4} = 2318,4, \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

По каталогу вибираємо бандаж прямокутного перерізу з розмірами:

$$b_{\sigma} = 0,120, \text{ м}; h_{\sigma} = 0,160, \text{ м.}$$

Визначення моменту опору перерізу бандажа

$$W = \frac{b_{\sigma} \cdot h_{\sigma}^2}{6} = \frac{0,12 \cdot 0,16^2}{6} = 5,12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \quad (8.4.)$$

Визначення напруги, що виникає в бандажі

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{W}, \text{ Па} \quad (8.5.)$$

$$\sigma_u = \frac{2318,4}{5,12 \cdot 10^{-4}} = 452 \cdot 10^4, \text{ Па.}$$

Зовнішній діаметр бандажа приймаємо наслідуючи міркування, що

$$d_{\sigma} = D + 2 \cdot h_{\sigma}, \text{ тобто } d_{\sigma} = 1,6 + 2 \cdot 0,16 = 1,92, \text{ м.}$$

Приймемо $d_{\sigma} = 2,1, \text{ м}$

Визначення діаметру опорного ролика

Визначаємо з наступного співвідношення:

$$d_{op} = 0,25 \cdot d_{\sigma}, \quad (8.6.)$$

$$d_{op} = 0,25 \cdot 2,1 = 0,525$$

Приймаємо $d_{op} = 0,58 \text{ м.}$

Перевірка умови контактної міцності в місці торкання ролика і бандажа

$$\sigma_c = 0,418 \sqrt{\frac{R}{b_{\sigma}} \cdot E \cdot \frac{d_{\sigma} + d_{op}}{d_{\sigma} \cdot d_{op}}}, \text{ МПа} \quad (8.7.)$$

$$\sigma_c = 0,418 \sqrt{\frac{16619,5 \cdot 1,86 \cdot 10^5 (2,1 + 0,58)}{0,12 \cdot 2,1 \cdot 0,58}} = 315,4, \text{ МПа.}$$

Для бандажа виготовленого з чавуну $\sigma_c \geq 350, \text{ МПа}$, отже умова контактної міцності дотримується.

Обираємо критичний переріз вала, який має шпонковий паз.

Небезпечні перетини вала – це перетини де стоять підшипники А-А (по краям) та по центру, де знаходиться шпонковий паз Б-Б.

Матеріал вала	Сталь 45
Термообробка	покращення
Межа міцності	$\sigma_B = 730$ мПа
Межа текучесті	$\sigma_T = 390$ мПа

1. Межа витривалості вала при симетричному циклі згибу

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot \sigma_B = 0,43 \cdot 730 = 313,9 \text{ мПа}$$

2. Межа витривалості при симетричному циклі дотичних напруг

$$\tau_{-1} = 0,58 \cdot \sigma_{-1} = 0,58 \cdot 313,9 = 182,1 \text{ мПа}$$

3. Вибір розмірів шпонкових пазів

При $d_1 = 15$ мм: ширина шпонкового паза $b = 5$ мм; глибина шпонкового паза $t_1 = 2$ мм.

4. Моменти опору перетинів згибу

Перетин А – А

$$W_{\text{нетто}}^a = \frac{\pi \cdot d_3^3}{32} - \frac{b \cdot t_1 (d_3 - t_1)^2}{2 \cdot d_3} = \frac{3,14 \cdot 15^3}{32} - \frac{32 \cdot 9(15-2)^2}{2 \cdot 15} = 104086,4 \text{ мм}^3$$

Перетин Б – Б

$$W_u = \frac{\pi \cdot d_2^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 100^3}{32} = 98125 \text{ мм}^3$$

5. Полярні моменти опору перетину крутінню

$$W_{\text{к нетто}}^a = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16} - \frac{b \cdot t_1 (d_3 - t_1)^2}{2 \cdot d_3} = \frac{3,14 \cdot 15^3}{16} - \frac{32 \cdot 2(15-2)^2}{2 \cdot 15} = 220954,85 \text{ мм}^3$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_2^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 100^3}{16} = 196250 \text{ мм}^3$$

6. Запас міцності у перетинах

Перетин Б-Б

Перетин працює на згин з крутінням. Концентрацію напружень викликає наявність шпонкової канавки.

7. Амплітуда нормальних напружень згину

$$\sigma_v = \frac{M_b \Sigma}{W_{\text{нетто}}^a} = \frac{2,7 \cdot 10^6}{104086,4} = 25,9 \text{ МПа}$$

8. Амплітуда та середні напруження цикла дотичних напружень

$$\tau_v = \tau_m = \frac{M_t}{2 \cdot W_{\text{К нетто}}^a} = \frac{11,48 \cdot 10^6}{2 \cdot 220954,85} = 26 \text{ МПа}$$

9. Коефіцієнт запаса міцності по нормальним напруженням

$$S_\sigma = \frac{\sigma - 1}{\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_v + \varphi_\sigma}; \text{ де}$$

K_σ – коефіцієнт концентрації напружень ; $K_\sigma = 1,4$;

ε_σ – масштабний фактор при згині; $\varepsilon_\sigma = 0,71$;

φ_σ – коефіцієнт, що визначає співвідношення меж витривалості при симетричних і пульсуючих циклах згину; $\varphi_\sigma = 0,2$;

$$S_\sigma = \frac{314}{\frac{1,4}{0,71} \cdot 25,9 + 0,2} = 5,3$$

10. Коефіцієнт запаса міцності по дотичним напруженням

$$S_\tau = \frac{\tau - 1}{\frac{K_\tau}{\varepsilon_\tau} \cdot \tau_v + \varphi_\tau \cdot \tau_m}; \text{ де}$$

K_τ – коефіцієнт концентрації напружень при крутінні; $K_\tau = 1,5$;

ε_τ – масштабний фактор при крутінні; $\varepsilon_\tau = 0,59$;

φ_τ – коефіцієнт, що визначає співвідношення меж витривалості при симетричних та пульсуючих циклах при крутінні; $\varphi_\tau = 0,1$;

$$S_\tau = \frac{182}{\frac{1,5}{0,59} \cdot 26 + 0,1 \cdot 26} = 2,2$$

11. Результуючий коефіцієнт запаса міцності

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} = \frac{5,3 \cdot 2,3}{\sqrt{5,3^2 + 2,2^2}} = 2,3$$

$$2,3 > [2]$$

Перетин А – А

Концентрація напружень обумовлена посадкою підшипника з натягом.
Перетин працює на згин та крутіння.

12. Амплітуда та середні напруження цикла дотичних напружень

$$\tau_v = \tau_m = \frac{M_4}{2 \cdot W_p} = \frac{11,48 \cdot 10^6}{2 \cdot 196250} = 29,2 \text{ мПа}$$

13. Амплітуда нормальних напружень згину

$$\sigma_v = \frac{M_B \Sigma}{W_u} = \frac{2,7 \cdot 10^6}{98125} = 27,5 \text{ мПа}$$

14. Коефіцієнт запаса міцності по нормальним напруженням

$$S_\sigma = \frac{\sigma - 1}{\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_v + \varphi_\sigma \cdot \sigma_m}; \text{ де}$$

$$K_\sigma = 1,6;$$

$$\varepsilon_\sigma = 0,7;$$

$$\varphi_\sigma = 0,2;$$

$$S_\sigma = \frac{314}{\frac{1,6}{0,7} \cdot 27,5} = 5$$

15. Коефіцієнт запаса міцності по дотичним напруженням

$$S_\tau = \frac{\tau - 1}{\frac{K_\tau}{\varepsilon_\tau} \cdot \tau_v + \varphi_\tau \cdot \tau_m}; \text{ де}$$

$$K_\tau = 1,55;$$

$$\varepsilon_\tau = 0,59;$$

$$\varphi_\tau = 0,1;$$

$$S_\tau = \frac{182}{\frac{1,5}{0,59} \cdot 29,2 + 0,1 \cdot 29,2} = 2,32$$

16. Результируючий коефіцієнт запаса міцності

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} = \frac{5 \cdot 2,32}{\sqrt{5^2 + 2,32^2}} = 2,1$$

$$2,1 > [2].$$

17. Загальний сумарний коефіцієнт запасу міцності визначається за формулою:

Перетин А – А

$$n = \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 \cdot n_{\tau}^2}} = \frac{27.5 \cdot 29.2}{\sqrt{27.5^2 \cdot 29.2^2}} = 1.65.$$

Перетин Б-Б

$$n = \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 \cdot n_{\tau}^2}} = \frac{25.9 \cdot 26}{\sqrt{25.9^2 \cdot 26^2}} = 1.649.$$

18. Коефіцієнт варіації амплітуд

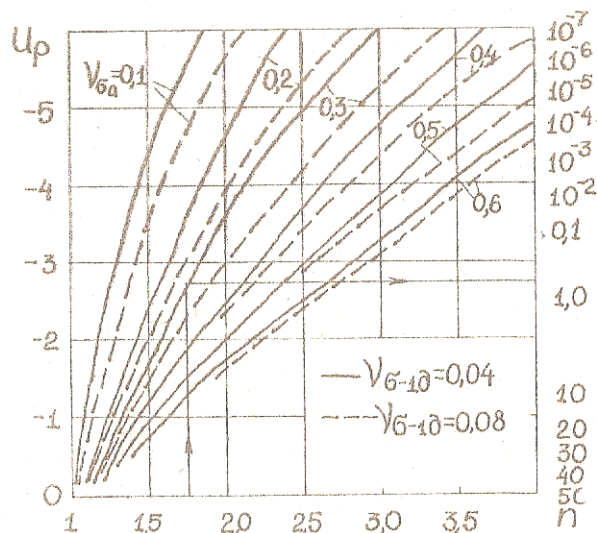
Перетин Б-Б

$$v_a = \frac{S_a}{\sigma_{3z}} = \frac{2.3}{25.9} = 0.09.$$

Перетин А – А

$$v_a = \frac{S_a}{\sigma_{3z}} = \frac{2.1}{27.5} = 0.089.$$

Приймаємо сумарний коефіцієнт варіації амплітуд $v_a = 0.9$. Знаходимо за графіком ймовірність відмови (руйнування валу в критичному перетині) при одержаних розрахункових даних ($n = 1.65$; $v_a = 0.9$). Ймовірність руйнування валу в критичному перерізі: $F(t) = 0.06$.



Враховуючи співвідношення між ймовірностями безвідмовної роботи і відмов, ймовірність безвідмовної роботи вала становить:

$$P(t) = 1 - F(t) = 100 - 0.06 = 99.4.$$

Одержаний показник свідчить, що вал має високу експлуатаційну надійність.

9. ПРАВИЛА МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ

ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ

9.1 Вимоги до ремонту

Барабанна сушарка призначена для теплової обробки різноманітних продуктів. Встановлюється вона з нахилом для можливості транспортування твердого матеріалу. Протитечією відносно матеріалу рухаються димові гази. Зсередини барабани обмуровуються вогнетривким матеріалом. Значна частина вузлів сушарки не можна замінити за допомогою існуючих самохідних монтажних кранів через недостатню вантажопідйомність їх та довжину стріл кранів. Це призводить до потреб використання під час ремонту барабанних сушарок різних такелажних пристосувань, порталів, щогл тощо. Водночас використання кранів замість порталів та щогл дозволяє збільшити продуктивність праці у 3-4 рази в період одночасного значного скорочення термінів ремонту.

Для визначення дійсного стану обладнання необхідно здійснювати заміри експлуатаційних параметрів деталей та вузлів барабанної сушарки в її гарячому стані, що зв'язано з рядом труднощів. Досконале обстеження усіх деталей та вузлів барабанної сушарки перед її зупинкою на ремонт дозволяє встановити експлуатаційний стан агрегатів, що слугує основою для складання відомостей дефекту.

Під час ремонту сушарок, які обертаються, обов'язковим є застосування вузлового методу виробництва робіт. Такий метод передбачає заміну усіх зношених вузлів завчасно підготовленими відремонтованими або новими. Вузловий метод вимагає чіткого проведення підготовчих робіт та організаційних заходів, які включають складання номенклатури взаємозамінних

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.KP.007.009 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання	Інд. змін.	Дата видання	Мова уа	Аркуш 1/5

вузлів та комплектів деталей за видами устаткування, а також перевірку придатності підготовлених до заміни деталей та вузлів.

Проводяться наступні роботи під час підготовки до ремонту:

- 1) готують під'їзні шляхи та засоби доставки вузлів;
- 2) встановлюють підтримуючі вантажопідйомні пристрої;
- 3) виконують укрупнену зборку вузлів.

Зменшити тривалість капітального ремонту та провести його протягом 18-28 діб дозволяють підготовчі роботи.

З барабанної сушарки перед здачею в ремонт необхідно видалити клінкер та футерування, ретельно очистити її, впевнитися, що ремонту і розбиранню підлягають усі вузли. Для уточнення відомості дефектів під час ревізії агрегатів перевіряється стан вузлів і деталей.

Найчастіше ремонтowanими вузлами в барабанній сушарці є корпус, системи водяного охолодження, вентилятори і димососи, вінцова пара, бандажі, роликоопори, привід печі, транспортуючі і живлячі механізми, холодильники, маслосистеми, теплообмінні пристрої, аспіраційні пристрої.

Для зниження вартості ремонту і скорочення його термінів розроблені та успішно застосовуються методи центрування зубчастих вінців без повороту печі.

Зсередини блоку зубчастого вінця (рис. 9.1) встановлюють стійки приладів 2 в гайки 7, що приварюють до корпусу на однакових відстанях (5/2) від осі кріплення вінця на блоці. За допомогою штихмаса 3 визначають вісь обертання блоку. У восьми точках дотику штихмаса з корпусом сушарки просвердлюють отвори 4 діаметром 18 мм. Згодом через отвори пропускають штихмас до зіткнення з перевірконою металевою лінійкою 5, що встановлена на вершині зуба, і по діленнях штихмаса визначають відхилення від номінального розміру, рівного радіусу вінця на вершині зуба. За цими відхиленнями підраховують значення розмірів А 4 - А4 у чотирьох положеннях з усіх боків зубчастого вінця. При точному центруванні вінця на корпусі печі, що обертається, мають бути однаковими усі значення А.

Якщо ж значення A різні, то враховують радіальне і осьове биття у вертикальній та горизонтальній площинах, а потім знаходять середнє значення. На рис. 9.2 зображено конструкцію кріплення зубчастого вінця до корпусу сушарки, що обертається та можливість його центрування.

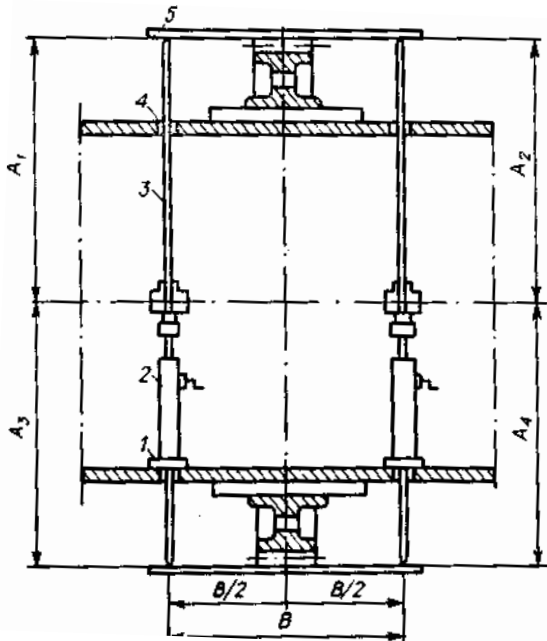


Рис. 9.1. Центрування зубчастого вінця без повороту корпусу, що обертається, :
1 - гайка; 2 - стійка приладів; 3 - штихмас; 4 - отвір; 5 - лінійка.

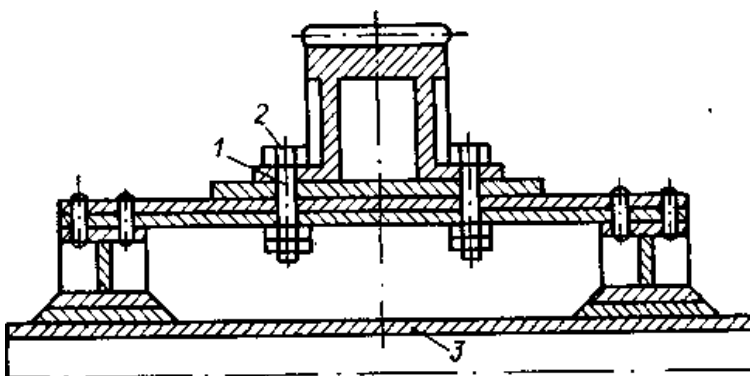


Рис. 9.2 Кріплення зубчастого вінця :
1 - отвір; 2 - болт; 3 - корпус сушарки.

.2 Підготовка до монтажу

Перед початком монтажу необхідно перевірити фундамент на відповідність розміру габаритів опорних частин сушарки. Фундамент повинен бути виконаний на повну проектну відмітку та здаватися під монтаж з вивіреною і вирівняною поверхнями. Монтажний майданчик має бути обладнаний необхідними транспортерними і вантажопідйомними механізмами. Розвантаження і транспортування виробу повинні здійснюватися таким чином, щоб виключити будь-які пошкодження виробу. Згідно схем строповки виробляти строповку. Монтаж систем автоматики, електроустаткування і управління має задовольняти діючим вимогам пристрою монтажу електротехнічних установок.

Перед самим монтажем здійснити:

- розпакування і розконсервацію виробів;
- перевірку укомплектованості постачання;
- огляд для встановлення ушкоджень, які могли виникнути під час транспортування;
- перевірку міцності затягування відповідних болтових з'єднань.

Монтаж сушарки необхідно проводити поставними блоками відповідно до вимог креслень дійсного паспорта. На підготовлений фундамент жорстко закріпити приводну станцію, привід шнека та привід транспортерної стрічки заздалегідь вивіривши їх в горизонтальній площині. На підготовленому фундаменті необхідно встановити підкладки строго по рівню та жорстко закріпити їх. Вкласти ролики у підкладки. На ролики послідовно встановити секції від 1 до 11, проклавши азбестовий шнур по периметру з'єднань та забезпечивши достатнє затягування болтових з'єднань.

Монтаж топки з вентилятором відбувається наступним чином. На підготовлений фундамент встановлюють і жорстко закріплюють топку та вентилятор з приводом, монтують лінію газопроводу та повітропроводу. Футерування зсередини топки виконують засобами і силами замовника.

Силами і засобами замовника на місці монтажу згідно вимог креслень проводиться теплоізоляція сушарки.

9.3 Підготовка сушарки до роботи

Під час підготовки сушарки до роботи необхідно перевірити:

- наявність мастила в підшипникових вузлах, редукторах, варіаторах;
- легкість обертання від руки відцентрових вентиляторів, без зачіпання робочих коліс;
- наявність огорожень та кріплень їх на повну кількість деталей якими вони кріпляться;
- надійність замикання усіх дверей;
- наявність електроенергії та стислого повітря.

Відрегулювати шиберами витяжної і припливної вентиляції кількість повітря, що видаляється з сушарки.

Відрегулювати положення заслінок штуцерів подачі і відведення повітря у кожній проміжній секції та положення розвантажувального шнека.

Для усунення провисання ланцюгів приводів потрібно за допомогою натягачів виробити їх натягнення. Обкатати усе на холостому ході механізму сушарки протягом двох годин. В процесі не повинно спостерігатися зачіпання рухомих деталей та нагрівання підшипникових вузлів.

10. АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ

1. Технологічні вимоги до системи автоматизації. Завдання на автоматизацію.

Головним завданням сушильно-охолоджувального процесу якомога краще висушити вологий цукор, що потрапляє на сушіння. Цукрове виробництво ґрунтується на безперервності технологічного процесу, що являється базою для повної і комплексної автоматизації процесу. Із врахуванням технічного регламенту на дільниці сушки цукру потрібно встановлювати автоматичні системи контролю, регулювання та програмно-логічного управління для таких параметрів як температура (t) в нагрівальній установці та сушарці, тиск в повітропроводах, положення запірних клапанів та стан електроприводів.

У таблиці 10.1 представлено завдання на розробку системи автоматизації дільниці.

2. Опис функціональної системи автоматизації.

Розроблена система виходячи із завдання на розробку системи автоматизації передбачає:

- автоматичний контроль температури в нагрівальній установці, сушарці та тиску в пароппроводах.
- дистанційне та автоматичне регулювання температури повітря у сушарці.
- дистанційне та автоматичне програмно-логічне управління клапанами і електроприводами.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування	221853.КР.007.010 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/5

В установці 3 контроль за температурою повітря, що нагрівається, відбувається за допомогою датчика (2-1) вторинного показуючого, сигналізуючого приладу (2-2). Якщо спостерігається відхилення температури за допустимі межі, а саме 100 °С, то загоряються лампи HL 1 та HL 2. Вторинний прилад (2-2) має вихід через інтерфейс RS - 485 на мікропроцесорний контролер (1-1). Останній здійснює програмну стабілізацію температури, шляхом впливу на регулюючий клапан з мембранним виконавчим механізмом (2-5) може відбуватись і через байпасну панель управління (2-4).

Контроль всіх інших температур в паропроводах виконують аналогічні системи на основі датчиків (3-1; 3-2; 4-1) та вторинних приладів (3-3; 4-2) з виходом МПК (1-1).

В трубопроводі тиск повітря контролюється електроконтактними манометрами (5-1;6-1; 7-1) та сигналізуючими лампами (HL 7÷ HL 12) з виходом через перетворювачі (5-2; 6-2; 7-2) на МПК.

Управління електроприводами вентиляторів та шнека здійснюють системи на основі магнітних пускачів MZ 2, KM 3, KM 4, NS/KM 1 кнопочних станцій (SB 1÷SA 4), та ламп МПК (1-1) та (HL 13÷HL 16).

Для дистанційного управління запірними клапанами на трубопроводах, передбачені системи на основі панелі управління (9-2), електропневматичного перетворювання (9-1), виконавчих механізмів (9-3) та МПК (1-1). Для звукової сигналізації передбачено дзвінок НА 1.

3. В таблиці 10.2 наведена специфікація на засоби автоматизації.

№ п/п	Машина, агрегат	Кількість	Параметри	Значення параметру	Система автоматизації			Місце контролю
					Вид системи автоматизації	Характер контролю, управління	Додаткові вимоги	
1.	Нагрівальна установка	1	t°	100 °С	Контроль Регулювання	Покази , сигналізація, автоматична та ручна стабілізація	Світлова, звукова Дія на витрату пари	Щит Щит
2.	Сушарка	1	t°	100 °С	Контроль	Покази, сигналізація	Світлова	Щит
3.	Фільтр	1	t°	30 °С	Контроль	Покази, Сигналізація	Світлова	Щит
4.	Повітре-провід вентиляторів	4	тиск	186÷1245 Па	Контроль	Покази, Сигналізація	Світлова	Щит
5.	Електроприводи вентиляторів і трансформатора	4	стан		Контроль	Сигналізація	Світлова, Звукова.	Щит
					Управління	Ручне дистанційне та програмно-логічне	Пуск, зупинка	Щит
6.	Запорні клапани		Положення	0-100%	Управління	Ручне дистанційне та програмно-логічне	Відкрите, закрите	Щит
					Контроль	Покази		

Специфікація на засоби автоматизації

Таблиця 10.2

№ позиції	Параметр	Значення параметру	Місце розташування	Найменування і технічна характеристика засобів автоматизації	Тип	Кількість	Постачальник
1-1	Положення клапанів	0-100%	Щит	Регулюючий мікропроцесорний контролер «Реміколт»	Р-120	1	Мікрон Івано-Франківськ
2-1; 3-1; 4-1; 8-1	t°	100°C 30°C 17°C	Трубопроводу,	Термоперетворювач опору мідний Гр 50М	ТЕМ-0871	4	Луцьк, Приладо-Будівний Завод
2-2; 3-3; 4-2	t°	- // -	Щит	Індикатор технологічний мікропроцесорний 2-канали вимірювання	ИТМ-2М	3	Мікрон, Івано-Франківськ
2-3; 9-1	t°	- // -	Щит	Електропневматичний перетворювач. Вихід 20÷100 кПа	ЕП-01010	4	Мікрон, Івано-Франківськ
2-4; 9-2	t°	- // -	Щит	Байпасна панель дистанційного керування	БПДУ-А	4	Баку
2-5; 9-3	t°	- // -	Щит	Мембранний виконавчий механізм	МММ-4	4	Київ
5-1 6-1 7-1	Тиск	186 ÷ 1245 Па	За місцем	Електроконтактний манометр	ЕКМ-ІУ	3	Манометровий Завод Томсон
8-1	- // -	559 Па	- // -	Манометр загального призначення	ОБМ-100	1	- // -

Висновок

Завдяки автоматизації сушильного відділення можна безперервно контролювати параметри температури повітря, що підсушує цукор, стан електроприладів та положення запірних клапанів, а також тиск в повітропроводах. Кількість обслуговуючого персоналу зменшилася. Автоматизація сушильного відділення суттєво спрощує контроль над ним.

11. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Закон України «Про охорону праці»

Закон «Про охорону праці» було прийнято 14 жовтня 1992р., від 21 листопада 2002 р. закон діє у редакції.

Закон є основною законодавчою базою охорони праці. Доповнюють їх державні галузеві та міжгалузеві нормативні акти про охорону праці – це норми, правила, стандарти, статuti, положення, інструкції тощо, яким надано чинність правових норм обов'язкових для виконання всіма установами та працівниками України.

11.1 Інструктажі з питань охорони праці

Попередження нещасних випадків і аварій не може бути забезпечено без належного інструктажу працюючих з охорони праці . На ділянках з підвищеною небезпекою та складними виробничими процесами кожен працюючий після практичного навчання індивідуально проходить перевірку засвоєння практичних навичок безпечної роботи на підприємствах, що очолюють керівники цехів відповідних служб.

Забороняється допуск до роботи без попереднього інструктажу з охорони праці . Працівників, які обслуговують об'єкти підвищеної небезпеки періодично переатестовують.

За характером і термінами проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий.

Вступний інструктаж проходять усі працівники, щойно прийняті на роботу (постійну або тимчасову), незалежно від їх стажу роботи за цією професією, освітою чи посадою.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва Заходи з охорони праці	221853.КР.007.011 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/12

Вступний інструктаж проводить спеціаліст з питань охорони праці чи людина, яка призначена наказом для проведення цієї роботи.

Це фіксується в журналах навчання та в трудових документах працівників.

Первинний інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці до початку роботи з новоприйнятим працівником чи працівником, що буде виконувати нову для нього роботу. Зміст цього інструктажу включає навчання правилам безпечної поведінки на виробництві.

Розробляється програма первинного інструктажу керівником цеху чи дільниці, узгоджується зі службою охорони праці та затверджується керівником підприємства чи їх відповідного структурного підрозділу.

Повторний інструктаж має зміст і організацію, подібні до вступного. Частота його виконання залежить від ступеня небезпеки виконуваної роботи. Проводиться на робочому місці з усіма працівниками без виключення: на підприємствах із підвищеною небезпекою – один раз на квартал; на інших підприємствах – один раз на півріччя.

Позаплановий інструктаж проводиться у разі нещасних випадків, зміни технологічних процесів, встановлення нового устаткування, зміни робіт, які відповідно до нормативних документів працівники не мають права виконувати. Проводиться індивідуально або з групою працівників спільного фаху. Зміст та обсяг інструктажу визначається залежно від обставин, що спричинили необхідність його проведення, в кожному окремому випадку.

Цільовий інструктаж проводиться із працівниками під час виконання разових робіт, які не пов'язані безпосередньо з основними роботами працівника, під час ліквідації наслідків аварії чи стихійного лиха, а також під час виконання робіт, які фіксуються нарядом, а саме допуском, письмовим дозволом чи іншою документацією, що дозволяє проведення таких робіт.

Цільовий інструктаж фіксується нарядом – допуском.

Усі інструктажі, крім вступного, проводяться безпосередньо керівником та фіксуються в книзі інструктажів з охорони праці структурного підрозділу.

11.2 Аналіз виробничого травматизму

Аналіз виробничого травматизму на виробництві спрямований на виявлення походження шкідливих і небезпечних факторів у конкретних умовах виробничої діяльності, що призводять до негативних наслідків, та визначення їх причин.

Причини нещасних випадків можна розділити на непрямі та прямі.

Шкідливі причини можна виявити до того, як станеться аварія.

Безпосередня причина виникає до аварії і не може бути виявлена заздалегідь.

Непрямими та непрямими причинами можуть бути фізичні та особисті причини (постійна необачна поведінка людини).

Фізичні та особисті фактори, що створюють можливість нещасного випадку за участю конкретної особи.

Аналіз причин аварії дозволяє стверджувати, що вона стала результатом ланцюгової реакції подій, завершальна частина яких вважається безпосередньою.

Можливі причини нещасних випадків на виробництві поділяються на 4 групи:

- технічні причини - недосконалість технологічних процесів, устаткування, інструментів, засобів безпеки, відсутність технічних розрахунків тощо;
- нормативно-правові документи або нормативно-правові акти з охорони праці.

Цільовий інструктаж, який проводиться безпосередньо перед початком роботи підвищеної небезпеки або під час одноразового виконання:

- організаційні причини - неналежне спостереження і контроль за виконанням роботи, незадовільна організація праці та відпочинку, порушення правил праці та технологічна дисципліна, низька професійна кваліфікація, підготовка тощо;

- гігієнічні причини - незвичайні погодні умови, метеоризм, запиленість повітря, неправильне освітлення, незадовільні умови прибирання та побутового обслуговування тощо;

- психофізіологічні причини - неуважність, емоційна збудливість, втома, придатність до даної роботи, схильність до ризику, зміни функції нервової системи, патологічні стани, відсутність досвіду, відповідних навичок, психічне напруження, фактори алкоголізму тощо.

Аналіз причин нещасних випадків на виробництві повинен визначити в конкретних виробничих умовах усі основні та супутні фактори, що призводять до нещасного випадку.

Для достовірного встановлення причини нещасного випадку під час розслідування необхідно зібрати повну та достовірну інформацію – від характеру виробничої діяльності до поведінкових реакцій працівників.

11.3 Шкідливі і небезпечні фактори

Мікроклімат виробничого приміщення визначається технологічним процесом і певною мірою зовнішніми метеорологічними умовами. У нашому випадку ми розглядаємо обладнання для сушіння цукру-піску, за допомогою якого під час сушіння продукту підтримується температура повітря не менше 32°C. кількість тепла, що виділяється в сушильному цеху заводу, становить близько 100 ккал на 1 м³ за годину.

Виконання робіт в умовах теплового випромінювання і високих температур викликає явні фізіологічні зміни в організмі працівника. В таких умовах їхня працездатність знижується на 50 %. Фізіологи встановили, що температура 22°C є межею, за якою працездатність починає поступово знижуватись. Так, коли температура підвищується до 26°C то працездатність знижується на 4 % з кожним градусом, а при підвищенні до 30°C, вона знижується на 6 %. В умовах, коли температура повітря дорівнює температурі тіла працівника або перевищує її, віддача тепла організмом відбувається шляхом випаровування вологи. Тому під час інтенсивної важкої фізичної роботи при високій температурі повітря кількість поту, що виділяється може

досягати 1,0...1,5 л/год. Крім того для зменшення впливу високих температур на працівника необхідне відведення тепла за допомогою систем вентиляції. Вентиляції класифікуються за способом організації повітрообміну, а саме природна (регульована, організована, неорганізована), механічна та змішана; а за способом подачі та видалення повітря буває витяжна, припливна та припливно-витяжна; за місцем дії буває загальнообмінна, змішана, місцева; за призначенням буває робоча та аварійна.

11.4 Вентиляція

У сушильному цеху вентиляція має бути механічною, оскільки вона являє собою комплекс вентиляторів та повітропроводів, які забезпечують безперервний повітрообмін у приміщенні незалежно від зовнішніх факторів. При механічній вентиляції організований рух повітря відбувається за рахунок різниці тисків, що створюються вентиляторами. Вона може бути витяжною та припливною.

Шкідливим фактором у процесі сушіння є виділення пилу. Виробничий пил завдає шкоди людині внаслідок впливів механічного (ураження органів дихання), хімічного (отруєння), бактеріологічного (проникнення пилу з бактеріями). В таких випадках засобами захисту можуть служити респіратори, системи вентиляції, велика кількість вікон для природної вентиляції.

11.5 Освітлення

У сушильних відділеннях використовують природній та штучний типи освітлення.

Природне освітлення, або бічне, здійснюється через світлові прорізи у зовнішніх стінах. Для нормальної роботи та обслуговування обладнання і невеликих ремонтів природного освітлення достатньо у денний період доби, а в інші періоди у цеху використовується штучне освітлення. Наряду з лампами розжарювання використовуються також і лампи денного світла.

Основною нормованою величиною природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості КПО. Сушильне відділення відноситься до приміщень з бічним природним освітленням, тому нормується мінімальне значення КПО і воно становить 0,9%.

Розряд зорових робіт є основною нормованою величиною штучного освітлення. Сушильне відділення відноситься до 7 розряду, для нього освітленість складає 200 лк.

Для кращого обслуговування окремого обладнання та машин використовують комбіноване освітлення — це поєднання загального штучного освітлення та місцевого освітлення. Крім того у даному відділенні заводу також передбачена система аварійного освітлення для забезпечення роботи відділення у разі аварійного відключення системи робочого освітлення. Мінімальна освітленість під час аварійного режиму становить не менше 5% робочого освітлення.

Світильники аварійного освітлення під'єднанні до мережі, яка не залежить від мережі робочого освітлення. Світильники аварійного освітлення відрізняються від світильників, що використовуються для робочого освітлення. Відрізняються розміром, типом і мають спеціальні знаки.

Для робочого освітлення найчастіше використовують газорозрядні лампи високого та низького тисків. Це люмінесцентні лампи і дугові ртутні, тому що вони мають ряд переваг перед лампами накаливання. Деякими перевагами цих ламп є більша світловіддача та висока економічність.

11.6 Шум і вібрація

Наявність у цеху великої кількості двигунів, редукторів, насосів, транспортерів та технологічного обладнання з рухомими частинами підвищує шум і вібрацію у приміщенні. Шум і вібрація впливають на серцево-судинну і нервову системи людини і є шкідливими факторами, які перешкоджають нормальній діяльності працівників.

Відповідно до стандарту допустимий рівень шуму становить 80 дБ. Але після проведення низки досліджень та розрахунків виявилось, що рівень шуму

у сушильному відділенні становить 82 дБ. Можна зробити висновок, що еквівалентний рівень шуму на 2 дБ перевищує допустимий санітарними нормами. Умови праці за Гігієнічною класифікацією № 4137-86 належать до III класу I ступеня.

Для того, щоб зменшити існуючий шум, досягти норми шуму, допустимого по ГОСТ 12.1.003.83. у цеху сушильного відділення цукрового заводу було вжито ряд заходів, а саме:

1. Використовувати основи і фундаменти для віброактивного обладнання відповідно їх динамічних навантажень;
2. Ізолювати фундаменти такого обладнання від технологічних комунікацій та несучих конструкцій;
3. Застосовувати віброгасильник для пристроїв та покриттів;
4. Звукоізолювати приводи машин за допомогою кожухів.

11.7 Електробезпека

У цеху сушильного відділення є багато електричних приладів, які становлять велику потенційну небезпеку для працівників, тому забезпечення електробезпеки є одним із ключових завдань служб охорони праці на підприємстві. Сушильне відділення за рівнем небезпеки ураження людини електричним струмом і в залежності від стану виробничого середовища належить до середнього ступеня небезпеки.

Забезпечення електробезпеки від випадкового дотику до струмопровідних частин механізмів здійснюється таким чином:

- ізоляція струмоведучих частин;
- ізоляція робочого місця;
- захисні огороження;
- захисні оболонки;
- блокування;
- попереджувальна сигналізація.

До індивідуальних засобів захисту відносять:

- дотримання техніки безпеки під час ремонту та обслуговування обладнання;
- спецодяг;
- гумові рукавиці та чоботи.

Ізоляція є головним захистом від ураження електричним струмом.

У цеху використовується електропровідна арматура з ізоляцією по ГОСТ 12.1.019.79. За допомогою мегомметра типу М1101 здійснюється періодичний контроль ізоляції.

Також повною мірою використовується захисне заземлення - це ефективний захист електрообладнання напругою до 1000 В від мережі з ізолюваною нейтраллю. Захисне заземлення знижує до безпечного рівня напругу дотику до корпусу за рахунок зменшення потенціалу відносно землі через низький опір заземлення.

Більшість заводів використовують дійсні заземлення, а саме арматуру залізобетонних конструкцій, металеві оболонки електрокабелів, обсадні труби.

Існують ізоляційні захисні пристрої, здатні тривалий час витримувати робоче напруження електроустановок і дозволяють персоналу доторкатися і працювати з струмоведучими частинами, що знаходяться під напругою. До них відносять: ізолюючі і електровимірвальні прилади, вказівники напруження, ізолюючі штанги, інструмент з ізолюючою рукояткою, діелектричні рукавиці.

І

11.8 Техніка безпеки під час обслуговування сушильних установок

До роботи по обслуговуванню сушильних камер допускаються особи, які знають їхній пристрій і правила технічної експлуатації. Основну небезпеку представляють заходи обслуговуючого персоналу в камери. Їхня кількість повинна бути максимально скорочена, для чого необхідно застосовувати

стаціонарні чи дистанційні психрометри, пристосування для закладки і виїмки контрольних зразків з коридору керування.

При заході в камеру оператор сушильної установки повинний надягати брезентовий костюм із щільними застібками біля коміра і долоней рук, рукавички, шолом і протигазову маску з повітроохолоджувачем. Підлоги приміщення камер, особливо які мають підвал, повинні знаходитися в справному стані. Камери повинні бути обладнані електричним освітленням напругою 12...18 В. Якщо воно відсутнє, варто зкористатися акумуляторними ліхтарями чи переносними низьковольтними лампами із сіткою і броньованим шнуром.

Двері в камеру повинні мати зовнішні і внутрішні ручки. При вході в камеру необхідно стежити за тим, щоб двері випадково не закрили зовні. Якщо оператору треба зайти в гарячу камеру, біля її дверей повинен знаходитися черговий.

Коридори керування камер, лабораторія, топкові приміщення газових камер повинні бути обладнані вентиляцією для того, щоб підтримувати температуру не вище 25° С. Паропроводи необхідно теплоізолювати, фланці з'єднань паропроводів і калориферів закрити захисними екранами. Усі рухомі частини устаткування, сушильних камер повинні бути закриті огороженнями.

У сушильному цеху необхідно періодично проводити навчання персоналу правилам охорони праці і техніки безпеки, а також інструктаж з виробничої санітарії. У цеху повинний бути обладнані санітарний пост і стенди з наочними посібниками по техніці безпеки.

При експлуатації газових камер необхідно стежити за герметичністю газоходів, топок і дверей камер. Заходити в працюючі газові камери дозволяється тільки в протигазі і захисному костюмі.

Зольне приміщення топки повинне бути обладнане вентиляцією і мати двері, що ведуть назовні. Перед топковим отвором повинні бути встановлені екрани, що охороняють робітників від впливу теплового випромінювання. Шибери і заслінки, що перекривають газоходи, повинні мати систему

керування ними з підлоги приміщення. Положення шибєрів і заслінок повинне надійно фіксуватися запірними пристроями. Категорично забороняється ходити по зводу топки під час її роботи.

11.9 Протипожежне водопостачання на Линовицькому цукровому заводі

У сушильному відділені заводу протипожежне водопостачання може поєднуватися із зовнішнім промисловим питним водопроводом.

В зовнішньому водопроводі забезпечується постійний напір постійно діючими насосами водонапірної башні і пневматичними установками. Для забезпечення безперервної подачі води при розриві, замерзанні або іншій аварії водопроводу системи протипожежні водопроводи роблять кільцевими і діаметром труб не менше 0,1 м.

В залежності від необхідності, протипожежний водопровід може бути високого і низького тиску. Водопровід високого тиску проектують на підприємствах підвищеної пожежної небезпеки. Це водопровід, в якому напір води забезпечує підймання ступеня води на висоту 10 м. із пожежного ствола розташованого на рівні найвищої точки самої високої будівлі підприємства. У протипожежних водопроводах низького напору повинен створюватися ступінь води висотою 10 м від рівня землі і гасіння пожежі здійснюється рухомими засобами пожежогасіння, такими як автонасоси, мотопомпи і вода подається від гідрантів до місця пожежі.

Для забору води із протипожежної водопровідної мережі встановлюють пожежні гідранти, відстань між якими не перевищує 150 м, а від стін будівель не менше 5 м і не далі 2,5 м від проїзної частини дороги.

Якщо з технічних причин необхідно подати необхідну кількість води із пожежного водопроводу або економічно не вигідно, то передбачають створення недоторканого запасу воду в водоймищах-резервуарах. Об'єм недоторканого запасу воду в резервуарах визначається із розрахунку гасіння пожежі протягом 3 годин.

Будівельні норми і правила встановлюють максимальний термін відновлення недоторканого протипожежного запасу води на підприємствах протягом 24...36 годин, в залежності від категорії виробництв за вибухопожежною небезпекою.

Розрахункові витрати води на підприємствах складаються із загальної її витрати на зовнішнє і внутрішнє пожежогасіння і максимальної витрати на виробничі потреби.

Витрати води на внутрішнє пожежогасіння (n_1) приймаються 5 л/с (два ступеня по 2,5 л/с). Розрахункова потреба води на зовнішнє пожежогасіння на харчових підприємствах регламентується з СНиП і визначається в залежності від ступеня вогнестійкості будівлі, категорію виробництва за вибухопожежонебезпечкою і об'єму будівлі.

Для будівель, які поділені протипожежними стінами, тобто мають різну категорію за пожежною небезпечкою, розрахункова потреба води визначається на ту частину будівлі, яка потребує найбільшої кількості води.

На харчових підприємствах при площі території не менше 1,5 км² розрахункова кількість одночасних пожеж одна, а якщо площа підприємства 1,5 км² і більше – дві пожежі.

Розрахунковий запас води при 3 годинному пожежогасінні

$$Q = \frac{3 \cdot 3600 \cdot (n_1 + n_2)}{1000} \approx 11 \cdot (n_1 + n_2),$$

де 3600 і 1000 – переводні коефіцієнти відповідно годин в секунди і літрів в м³; n_1 – потреба води на внутрішнє (5 л/с) і n_2 – зовнішнє пожежогасіння беремо з таблиці в залежності від об'єму будівлі, ступені вогнестійкості будівлі, категорії виробництва вибухопожежобезпечі ($n_2 = 10$).

$$Q = 11 \cdot (5 + 10) = 165 \text{ л/с}$$

Отже, на пожежогасіння сушильно-охолоджувальної лінії об'ємом 17200 м³ потрібно затратити 165 л/с води.

Висновки

Для покращення умов праці, на Линовицькому цукровому заводі, в сушильному відділенні, необхідно вжити низку заходів:

- Покращити систему вентиляції, а саме встановити комбіновану систему вентиляції, а також систему кондиціонування повітря, що створить найбільш оптимальні параметри мікроклімату на робочих місцях та забезпечить більш нормальні чинники для працівників.

- Зменшити існуючий шум, допустимого по ГОСТ 12.1.003.83, адже за показниками еквівалентний рівень шуму вищий за допустимий санітарними нормами на 2 дБ. Для цього необхідно: застосування віброгасильних пристроїв та покриттів; звукоізоляція приводів машин за допомогою кожухів; ізоляція фундаментів такого обладнання від несучих конструкцій.

12. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

До недавнього часу розвиток людського суспільства і самоочищення навколишнього природного середовища від техногенних забруднень перебували в динамічній екологічній рівновазі. Проте останніми роками інтенсивне зростання населення планети, надзвичайно інтенсивний розвиток промисловості, сільського й комунального господарства та інші чинники антропогенної дії на навколишнє середовище, призвели до різних негативних наслідків, з якими біосфера впоратися не здатна.

Увага вчених – екологів на сучасному етапі зосереджена на вирішенні кількох кардинальних проблем, у яких фокусуються основні напрямки і розділи сучасної екології. Серед цих проблем можна виділити такі:

1. Керування продукційними процесами.

Вирішення цієї проблеми спрямоване на розробку заходів раціонального використання природних ресурсів.

2. Стійкість природних ресурсів і антропогенних чинників.

Ця проблема пов'язана із зміною біосферних зв'язків в навколишньому середовищі. Дослідження цієї проблеми дають змогу в майбутньому створити принципово нові природно – господарські екосистеми, в яких мають превалювати ознаки стабільності, стійкості та максимальної ефективності продуктивного процесу.

3. Екологізація виробництва.

Вирішення цієї проблеми пов'язане з виробництвом екологічно безпечної продукції при мінімальних витратах природних ресурсів (сировини, енергії, палива та інших матеріалів) з утворенням мінімальної кількості не утилізованих та розсіювальних відходів, які не порушують функціонування природних екосистем та біосфери загалом.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва Охорона довкілля	221853.KP.007.012 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/4

Приймаючи до уваги екологічний стан на Україні, дуже велика увага приділяється контролю забруднень підприємств в навколишнє середовище.

Підприємства харчової промисловості, в тому числі і сушильної, є значними джерелами забруднень навколишнього середовища. Тому на цих підприємствах велика увага приділяється вирішенню екологічних проблем.

Екологічна служба розділена на три складові частини, що підпорядковуються головному екологу:

1.Ліміти, викиди, розробка проектів ГДВ, моніторинг (спостереження) розробляє і виконує сам еколог.

2.Звітність водного господарства покладена на начальника виробничої лабораторії і енергетика.

3.Аналіз стічних вод покладений на одного з лаборантів.

Необхідність такої системи екологічної служби викладена значним обсягом роботи, що пов'язано з великим об'ємом виробництва. На малих підприємствах цей розділ роботи не потрібно. Всю роботу виконує еколог.

При сушильних процесах виділяється велика кількість пилу,тому для зменшення забруднення навколишнього середовища при таких процесах використовується циклон (мокрый пиловловлювач), який очищує гази, що виходять з барабанної сушарки.

Запропоноване встановлення вихрового вловлювача дає ефект очистки повітря пилової суміші 99.97%, що значно покращує екологічний етап в сушильному відділенні.

Організація охорони навколишнього середовища на підприємстві.

На Линовицькому цукровому заводі в цілому за стан екологічної безпеки відповідає головний інженер та його служба: головні спеціалісти та керівники структурних підрозділів.

Відповідальність за стан і користування водним господарством покладена на заступника головного інженера і його службу.

Контроль за виробничими стічними водами здійснює на підприємстві центральна заводська лабораторія під керівництвом головного технолога.

Водокористування здійснюється на підставі дозволу виданого обласним управлінням екобезпеки.

На підприємстві складений паспорт водного господарства Линовицького цукрового заводу. В даному документі детально розписані всі дані про водне господарство заводу: споживання води різних категорій з переліком по споживачах, система очищення води, характеристика очисних споруд, характеристика обладнання та комунікацій, що задіяні в водному господарстві, система водовідведення і т.п.

Особлива увага на підприємстві приділяється контролю за стічними водами. З цією метою відділ головного технолога складає графік з зазначенням місць відбору, також порядок відбору. Ці документи затверджуються головним інженером підприємства. Роботи по контролю проводяться згідно плану і звіти надаються головному інженеру та директору підприємства.

Порядок здійснення хімічного контролю.

1. Організаційно-хімічний контроль поділяється на три етапи:

- відбір проб і доставка їх в лабораторію;
- виконання хімічного аналізу;
- оформлення результатів аналізу.

2. Відбір проб проводиться лаборантом-пробовідбірником за правилами відбору проб і техніки безпеки. Точки та порядок відбору встановлюються керівником групи.

3. Об'єм проби, що відбирається на аналіз встановлюється залежно від методу визначення конкретного інгредієнта.

4. Для відбору проб води використовують пробовідбірник із нержавіючої сталі – посудини з широким горлом об'ємом 0,5 – 1,5 л. Для зберігання і доставки проб користуються поліетиленовими флягами, кожна із яких має свій номер, нанесений фарбою, що не змивається. Фляги, які використовуються вдруге, ретельно миють з допомогою поверхнево-активних речовин, промивають водою, потім розведеною (1:50) соляною кислотою і знову водою.

5. Проби надходять в лабораторію, реєструються, проводиться відповідний аналіз, результати заносяться в журнал і складається звіт.

При неможливості провести аналіз на вміст окремих речовин в воді в умовах заводської лабораторії такі аналізи проводяться в спеціалізованих лабораторіях за окремою угодою.

13. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Нинішнього року спостерігаються позитивні зміни вітчизняної цукрової галузі. Розширюються площі вирощування цукрових буряків, підвищується якість продукції, зростає експортний потенціал. Проте залишається ще багато стримувальних факторів подальшого розвитку галузі, над якими доведеться працювати ще не один сезон.

Виробництво

Україна займає п'яте місце в світовій бурякоцукровій галузі та третє серед країн Східної Європи. За даними асоціації «Укрцукор», 2021–2023 маркетингового року (МР) прогнозується виробництво до 2 млн т цукру.

Станом на 31 жовтня 2023 року було виготовлено цукру понад 1 млн т і перероблено цукрових буряків 7,2 млн т. У кінці жовтня працювало 40 цукрових заводів. Їх добова потужність із переробки цукрових буряків становила 172,4 тис. т, що на 6% більше порівняно з минулим роком. Цьогоріч цукристість солодких коренів виявилася нижчою, порівняно з минулорічним урожаєм. Якщо торік цей показник становив 17,9%, то нинішнього — 17,2%. Вихід цукру також зменшився. Поточного року він становив 14,2% проти 14,9% минулого. Разом з тим, за оцінками галузевої асоціації, виробництво цукру вдасться зберегти на рівні минулого року.

На збільшення обсягів та темпів виробництва цукру впливали позитивні зміни з вирощування цукрових буряків. Так, цьогорічна площа під цукровими буряками розширилася порівняно з минулорічною на 9% та досягла 318 тис. га. Станом на 30 жовтня 2023 року в Україні викопано цукрових буряків на площі 227,1 тис. га, що становить 71% до прогнозу.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.КР.007.013 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Маркетингове обґрунтування проекту	Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/6

Якщо за період 2013–2023 років посівні площі в Україні під цукровими буряками зменшились удвічі, то й урожайність зросла майже у стільки ж. Тому обсяги виробництва цукрових буряків та цукру суттєво не змінилися. Нинішнього року урожайність становить близько 44,5 ц/га, валове виробництва очікується близько 14,2 млн т. Найбільше врожаю «солодких» коренів зібрано у Вінницькій, Полтавській та Хмельницькій областях.

Загалом урожайність цукрових буряків поточного сезону нижча порівняно з торішнім через погодно-кліматичні умови. Тому західні та південні регіони отримали набагато кращі результати, ніж центральні та східні. Так, понад 500 ц/га вдалося аграріям із Херсонської, Хмельницької, Львівської, Тернопільської областей. Тоді як у регіонах, які постраждали весною від холоду, а у літку від нестачі опадів — Харківська, Київська, Черкаська, Сумська, — середня урожайність коливалася у діапазоні 340–370 ц/га.

Експорт

Україна поступово нарощує обсяги експорту цукру. За підсумками 2022–2023 маркетингового року (МР) українські виробники експортували рекордні 767,3 тис. т цукру на суму \$377,8 млн. Цукор продавався як у країни близького, так і далекого зарубіжжя. Так, найбільші обсяги зовнішніх продажів здійснювались до Шрі-Ланки, а саме 112,2 тис. т, до Грузії — 47,9 тис. т та Туреччини — 42,5 тис. т.

Лідером серед вітчизняних експортерів цукру в 2022–2023 МР став ТзОВ «Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2». Це підприємство зуміло поставити на зовнішні ринки 152,5 тис. т цукру на суму \$74,7 млн. До трійки лідерів українського експорту солодкого піску потрапили також ТзОВ «Цукорагропром» та ТзОВ «Радехівський цукор», які експортували цукру, відповідно, 117,3 та 101,9 тис. т. За оцінками Національної асоціації цукровиків України «УкрЦукор», експорт цукру поточного маркетингового року орієнтовно становитиме 500 тис. т.

Топ-10 експортерів цукру з України 2022–2023 МР

№ з/п	Компанія	Обсяг, тис т	Вартість, млн \$
1	ТзОВ «Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2»	152,5	74,7
2	ТзОВ «Цукорагропром»	117,3	58,5
3	ТзОВ «Радехівський цукор»	101,9	48,7
4	ТОВ «Хмільницьке» ВП «Жданівський цукровий завод»	35,4	17,9
5	ТОВ «Новооржицький цукровий завод»	31,3	16,0
6	ТОВ «Юкрейніан Шугар Компані»	29,2	14,5
7	ПАТ «Теофіпольський цукровий завод»	26,1	13,4
8	ТОВ «Агрофірма «ім. Довженка» ВП «Яреськівський цукровий завод»	22,9	11,7
9	ТзОВ «Сігнет Холдинг»	20,1	10,0
10	ПСП «Агрофірма «Світанок»	19,8	10,0

За даними Національної асоціації цукровиків України «УкрЦукор»

Цінова ситуація

Собівартість цьогорічного виробництва цукру значно збільшилася порівняно з торішньою. Найбільший вплив на таке зростання мало підвищення тарифів на електроенергію та інші комунальні послуги. Тож переробні підприємства були вимушені підвищити вартість своєї продукції.

Оптово-відпускні ціни на цукор в Україні станом на 20 жовтня поточного року коливалися від 11,9 до 16,4 тис. грн/ т. При цьому мінімальна ціна на цукор була зафіксована в Тернопільській області, а максимальна — в Запоріжській; середня становила 14,3 тис. грн. Порівняно з відповідною датою минулого року солодкий пісок подорожчав на 10%. Проте за останній місяць ціни на нього знизилися на 2%.

Про підвищення внутрішніх цін свідчать і дані Держстандарту України. До того ж ціни роздрібних мереж мали вищі темпи зростання порівняно з оптово-відпускними. Так, за офіційною статистикою у вересні 2022 року споживчі ціни на цукор підвищилися порівняно з відповідним періодом минулого року на 14,5%. Проте порівняно з попереднім місяцем знизилися на 0,5%. Це незначне відставання роздрібною мережі пояснюється наявними запасами цукру, сформованими в попередні періоди. Тож після їх продажу пересічні споживачі відчують зниження оптово-відпускних цін. Загалом у наступні місяці збережуться передумови до подальшого зниження цін.

Подорожчання цукру впливає на зменшення обсягів його споживання. Тож виробники активно розглядають можливості реалізації продукції на зовнішніх ринках. Середня ціна імпорту українського цукру становить майже \$500/т. До того ж держава повертає експортерам податок на додану вартість. Загалом за 1 тонну «піску», проданого за кордон, цукрові заводи отримують більш як 16 тис. грн, що значно перевищує ціну внутрішнього ринку.

Державне регулювання

Цукор належить до стратегічних видів продовольства, які підлягають державному регулюванню. Останнє передбачає обмеження у надходженні продукції на внутрішній та зовнішні ринки, визначення мінімальних цін на цукрові буряки та цукор, визначенні обсягів закупівель продукції до Державного фонду та встановленні цін для проведення таких закупівель.

Тож урядовою постановою від 18 січня 2023 року № 22 «Про державне регулювання виробництва цукру та цукрових буряків у період з 1 вересня 2023 року до 1 вересня 2024 року» для переробних підприємств установлений граничний обсяг поставки цукру на внутрішній ринок на рівні 1640 тис. т. Додатково визначаються мінімальні закупівельні ціни на цукрові буряки та оптово-відпускні на цукор. Так, цукрові заводи мають закуповувати солодкі корені базисної цукристості за ціною не нижче 633,1 грн/ т без урахування податку на додану вартість (ПДВ), та реалізовувати цукор білий (кристалічний) за цінами від 9172,57 грн/ т (без ПДВ).

За даними Держстандарту України у вересні 2023 року середні ціни реалізації цукрових буряків становили 849,8 грн/ т без урахування ПДВ, дотацій, транспортних, експедиційних та накладних витрат. Такий рівень цін більше ніж на 34% перевищує визначений урядовою постановою та не має підстав для зниження до завершення цього річного сезону цукроваріння.

Перспективи

Наявні потужності українських цукрових заводів дозволяють щорічно виробляти із цукрових буряків понад 3 млн т цукру. При цьому для забезпечення внутрішніх потреб достатньо й половини такого виробництва. Тобто до 1,5 млн т продукції може реалізовуватися на зовнішніх ринках. Враховуючи експортну ціну українського цукру \$500/т, зовнішні надходження у розвиток вітчизняної цукрової галузі можуть перевищити \$700 млн. З кожним роком експортна ціна для України стає більш привабливою. Тож виробники розробляють перспективні плани розвитку, орієнтуючись на зовнішні ринки. Для досягнення потенційно можливих показників виробництва та експорту

продукції перш за все необхідно залучити інвестиції для модернізації та відновлення діяльності всіх наявних цукрових заводів.

Упродовж останніх трьох років в Україні підвищувалася якість цукру, що проявлялося у збільшенні обсягів виробництва цукру I категорії та екстра і, відповідно, зростання експорту. До того ж проводилася робота з відповідності вітчизняного законодавства до стандартів Європейського Союзу.

Подальше збільшення обсягів виробництва цукру залежатиме від розвитку сировинної бази. Процес вирощування цукрових буряків є трудомістким та витратним. Навіть при наявності необхідного технічного забезпечення виробничі витрати на 1 га у поточному році становили близько 30 тис. грн. Для порівняння: при вирощуванні ранніх зернових культур на площі 1 га — до 17 тис. грн. Тож переробні підприємства мають розширювати сировинну базу шляхом збільшення власного виробництва або налагодження партнерських відносин із потенційними виробниками цукрових буряків та часткового авансування такого виробництва.

Важливою складовою подальшого розвитку виробництва цукру є модернізації систем енергоспоживання переробних підприємств. Виробництво цукру потребує значних витрат енергії, тому на підприємствах переходять на застосування сучасної інженерної інфраструктури та запровадження альтернативної енергетики.

Подальший розвиток бурякоцукрової галузі матиме загальне економічне значення. Перш за все це збільшення валютних надходжень від нарощування експорту продукції, що позитивно впливатиме на курс національної валюти. Окрім цього, створюватимуться додаткові робочі місця у сільському господарстві та в суміжних галузях. Відтак, збільшення обсягів виробництва впливатиме на зростання надходження до бюджетів усіх рівнів. Отже, вітчизняна цукрова галузь має великий потенціал, який буде реалізовуватися упродовж наступних сезонів[22].

ВИСНОВКИ

Типові сучасні методи пилоповітряних сумішей відпрацьованого повітря забезпечують ефективність очищення до 90%. При цьому на ефективність очищення впливають зовнішні та внутрішні фактори, місцеві опори та втрати напору, швидкість надходження, гранулометричний склад суміші. Таким чином стандартні системи пиловловлення доводять свою ефективність при роботі з частинками розміром більше 20 мкм. При зменшенні розміру частинок якість роботи суттєво падає і в деяких випадках ефект очищення знижується до 70%, що суттєво погіршує техніко-економічні показники роботи обладнання.

Ступінь очищення до 99% може забезпечити встановлення додаткового обладнання такого як фільтри і електрофільтри. Але їх встановлення вимагає додаткових витрат на очищення мембран механічного фільтру, витрат на спорудження очисних установок, витрата енергії на створення електричного поля електрофільтра.

З метою покращення якісних показників та зменшення втрат готового продукту пропонується встановити апарат доочистки повітря «скруббер Вентурі».

В результаті проведених досліджень механічних та аеродинамічних властивостей цукру-піску, аеродинамічних потоків, ефективності очищення та гідродинамічного опору встановлено найоптимальніші режими роботи обладнання, а саме:

1. Визначено характерне розподілення середнього еквівалентного діаметра критерію цукру-піску d_e та залежність гідродинамічного коефіцієнта форми від еквівалентного діаметра кристалів цукру-піску.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва	221853.КР.007.000 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.	Висновки	Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/2

2. Визначено величину зміни швидкості руху частинок всередині скрубера в залежності від зміни геометричних параметрів сопла скрубера і швидкості вхідного потоку.
3. Встановлено граничне поля концентрації пилоповітряної суміші при різних перерізах скрубера в залежності від зміни його параметрів роботи.
4. Отримана характеристика зміни концентрації пилоповітряної суміші (видалення частинок) в вихідному патрубку скрубера дає можливість підібрати оптимальні режими роботи обладнання.

Запропоновані на основі проведених досліджень технічні рішення значно підвищують ефективність виробництва і можуть бути рекомендовані до впровадження на виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Андріанов, І.О.* Ремонт і монтаж обладнання бурякоцукрових заводів. 1983. – 328 с.
2. *Автоматизація* виробничих процесів та АСУ ТП у харчовій промисловості. Книга П.А. Широков, В.І. Михайлов, Р.В. Фсельдман та ін. 1986 – 311 с.
3. *Анур'єв, В.І.* Довідник конструктора-машинобудівника (в 3х томах). / *В.І. Анур'єв*, 1982р.
4. *Гребенюк, С.М.* Технологічне обладнання цукрових заводів / *С.М. Гребенюк*. 1983. – 520 с.
5. *Дальський, А.М.* Технологія конструкційних матеріалів / *А.М. Дальський, І.А. Арутюнова*, 1987. – 664 с.
6. *Жвирблянський, Ю.М.* Бурякоцукрові заводи САСШ. / *Ю.М. Жвирблянський, В.І. Колпаков*. 1989. – 316 с.
7. *Економічний* словник-довідник / За ред. С.В. Мочерного. – К.: Феміна, 199р.
8. *Знаменський, Г.М.* Технологічне обладнання бурякоцукрових і рафінадних заводів / *Г.М. Знаменський*. 1997. – 372 с.
9. *Інструкція* з приймання, зберігання та обліку цукрового буряку. – К.: ВНПСР, 1988. – 224 с.
10. *Козаков, Н.Ф.* Технологія харчового машинобудування / *Н.Ф. Козаков, Г.А. Мартинов*. 1982. – 296 с.
11. *Кононюк, А.Е.* Довідник конструктора обладнання харчових виробництв / *А.Е. Кононюк, В.А. Басанько*. – К.: Техніка, 1981. – 318 с.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Вересоцький Ю.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Гордон О.І.	Назва, додаткова назва Список використаних джерел	221853.КР.007.000 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 1/2

12. *Лахтін, Ю.М.* Матеріалобудування / *Ю.М. Лахтін, В.П. Леонт'єв.* – 1980. – 493 с.

13. *Михайлов, А.М.* Основи і розрахунки елементів будівних конструкцій на прикладах. / *А.М. Михайлов* – 1980. – 416 с.

14. *Мирончук, В.Г.* Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. / *В.Г. Мирончук, Л.О. Орлов, А.І. Українець та інші. Навчальний посібник.* – Вінниця: Нова книга, 2004. – 288 с.

15. *Нікітін, В.С.* Охорона праці на підприємствах харчової промисловості. / *В.С. Нікітін, Ю.М. Бурашніков,* 1991. – 350 с.

16. *Нісіс, М.Н.* Техніка безпеки під час виконання санітарно-технічних робіт. / *М.Н. Нісіс.* – К.: Будівельник, 1987. – 265 с.

17. *Загальнотехнічний довідник* / Під. ред. *Е.А.Скороходова,* 1982. – 415 с.

18. *Підгаєць, С.І.* Економіка цукрової промисловості. / *С.І. Підгаєць,* 1990. – 232 с.

19. *Сапронов, А.Р.* Технологія цукру. / *А.Р. Сапронов.* – 1983. – 232 с.

20. *Хелемський, М.З.* Технологічні якості цукрових буряків / *М.З. Хелемський.* 1987. – 284 с.

21. *Харламов, С.В.* Конструювання технологічних машин харчових виробництв. / *С.В. Харламов.* 1989. – 224 с.

22. https://knowledge.allbest.uk/marketing/2c0b65625a3bc78a4d53a89421306d27_0.html

23. <http://journals.uran.ua/tarp/article/viewFile/38301/35166>

24. <http://oil-filters.uk/scrubbers/>

25. <https://studfiles.net/preview/2567234/>

26. Джерело: *Державний стандарт України, 2023 рік.*