

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

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

**Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв**

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту(декан факультету)

доц. Блаженко С.І

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«  » \_\_\_\_\_ 20   р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри МАХФВ

проф.Гавва О.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«  » \_\_\_\_\_ 20   р.

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

зі спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми: Інжиніринг харчових виробництв

на тему: Дослідження роботи та модернізація вузла розпилення розпилювальної сушарки

---

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗОФ-2-1М

Різник Євгеній Григорович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Житнецький Ігор Володимирович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

Якобчук Р.Л.

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2021р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Інститут (факультет)** Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого

**Кафедра** машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

**Освітній ступінь** магістр

**Спеціальність** 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

**Освітньо-професійна програма** Інжиніринг харчових виробництв

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри** Гавва О.М.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

**Різник Євгеній Григорович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи** Дослідження роботи та модернізація вузла розпилення розпилювальної сушарки

керівник роботи Житнецький Ігор Володимирович,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “09”11 2020 року №935-кс

**2. Строк подання здобувачем роботи** 03. 02. 2021 року

**3. Вихідні дані до роботи**

Продуктивність - 900 кг/год, температура повітря – 190°C , температура повітря на виході - 90°C, вологість згущеного молока - 55%, вологість кінцевого висушеного молока - 5%.

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)**

Вступ. Теоретично-методологічний розділ. Об'єкти і методи дослідження. Конструкція і принцип дії дискової розпилювальної сушильної установки для знежиреного молока. Моделювання руху рідини в розпилювальному диску розпилювальної сушарки. Розрахунок розпилювальної сушарки. Монтаж, технологічна експлуатація, технічне обслуговування та ремонт сушильної установки. Охорони праці. Висновки. Список використаної літератури. Додатки.

**5. Перелік графічного матеріалу**

Загальний вигляд розпилювальної сушарки ВРА-4 – 1 лист формату А1, сушильна башта –1 лист формату А1, розпилювальний диск до модернізації– 1 лист формату А2, розпилювальний диск – 1 лист формату А2.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 09.11.2020 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.11.20	Виконано
2	Теоретично-методологічний розділ	21.11.20	Виконано
3	Аналіз технологічних та конструктивних рішень процесу сушіння Об'єкти і методи дослідження	05.12.20	Виконано
4	Конструкція і принцип дії дискової розпилювальної сушильної установки для знежиреного молока	14.12.20	Виконано
5	Моделювання руху рідини в розпилювальному диску розпилювальної сушарки	19.12.20	Виконано
6	Розрахунок розпилювальної сушарки	25.12.20	Виконано
7	Монтаж, технологічна експлуатація, технічне обслуговування та ремонт сушильної установки	8.01.21	Виконано
8	Охорони праці	15.01.21	Виконано
9	Висновки	21.01.21	Виконано
10	Список використаної літератури	26.01.21	Виконано
11	Додатки	29.01.21	Виконано
12	Загальний вигляд розпилювальної сушарки	30.01.21	Виконано
13	Сушильна башта	01.02.21	Виконано
14	Креслення розпилювальний диск до модернізації	02.02.21	Виконано
15	Креслення розпилювальний диск	03.02.21	Виконано

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Різник Є.Г.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Житнецький І.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота науково-практичного спрямування на тему: «Дослідження роботи та модернізація вузла розпилення розпилювальної сушарки» виконана згідно виданому завданню та присвячена модернізації вузла розпилення а саме заміна розпилюючого диску.

При виконанні кваліфікаційної роботи виконаний огляд та аналіз технічних та технологічних рішень в напрямку будови розпилювальних сушарок, розглянуті конструкції корпусів розпилювальних сушарок. При порівнянні способів розпилення за допомогою диска та форсунки обґрунтовано вибір розпилювального диску. Виконано порівняння різних за призначенням та конструкцією дисків для розпилення.

Виконано моделювання руху рідини в каналах розпилювального диску за допомоги програмного комплексу FlowVision при зміні фізико-хімічних властивостей продукту та зміні частоти обертання розпилювального диску. За результатами проведеного та моделювання запропонована конструкція розпилювального диску дозволяє проводити процес сушіння молока з різним вмістом сухих речовин від 8,7 до 55 %.

В роботі технологічні, конструктивні розрахунки, висвітлені основні питання та вимоги щодо монтажу, ремонту і експлуатації обладнання, охорони праці.

Проект складається з пояснювальної записки обсягом сторінок та графічної частини обсягом креслень формату А1 та креслень формату А2.

**Ключові слова:** розпилювальна сушарка, розпилювальний диск, форсунка, сушіння молока, FlowVision.

## SUMMARY

Master's thesis of scientific and practical direction on the topic: "Research and modernization of the spray unit of the spray dryer" was performed according to the task and is devoted to the modernization of the spray unit, namely the replacement of the spray disk.

During the qualification work, a review and analysis of technical and technological solutions in the direction of the structure of spray dryers was performed, the designs of spray dryer housings were considered. When comparing the methods of spraying with a disk and a nozzle, the choice of a spray disk is justified. A comparison of different purpose and design of disks for spraying.

Simulation of fluid motion in the channels of the spray disk was performed using the software package FlowVision when changing the physico-chemical properties of the product and changing the speed of the spray disk. According to the results of the conducted and modeling, the proposed design of the spray disk allows the process of drying milk with different dry matter content from 8.7 to 55%.

In work technological, constructive calculations, the basic questions and requirements concerning installation, repair and operation of the equipment, labor protection are covered.

The project consists of an explanatory note with a volume of      pages and a graphic part with a volume of drawings in A1 format and drawings in A2 format.

**Key words:** spray dryer, spray disk, nozzle, milk drying, FlowVision.

## Зміст

Реферат.....	
Вступ.....	
1. Теоретично-методологічний розділ.....	
1.1. Аналіз технологічних та конструктивних рішень процесу сушіння.....	
1.2. Типи корпусів сучасних розпилювальних сушарок.....	
1.3. Роторні розпилювачі GEA для розпилення рідких продуктів у розпилювальних сушарках .....	
1.4. Розпилювальні диски нових та удосконалених конструкцій.....	
2. Конструкція і принцип дії дискової розпилювальної сушильної установки для знежиреного молока.....	
3. Моделювання руху рідини в розпилювальному диску розпилювальної сушарки.....	
3.1. Розробка геометричної моделі розпилювального диску.....	
3.2. Завдання математичної моделі.....	
4. Розрахунок розпилювальної сушарки.....	
4.1. Продуктивний розрахунок.....	
4.2. Технологічний розрахунок.....	
4.3. Розрахунок розпилювального диску.....	
4.4. Розрахунок приводу розпилювача.....	
4.5. Розрахунок плоскопасової передачі розпилювача.....	
4.6. Розрахунок вала розпилювача.....	
4.7. Тепловий розрахунок сушарки.....	
4.8. Перевірочний розрахунок нагнітаючого вентилятора.....	
4.9. Перевірочний розрахунок циклонів.....	
4.10. Перевірочний розрахунок калорифера.....	
4.11. Розрахунок теплової ізоляції.....	
5. Монтаж, технологічна експлуатація, технічне обслуговування	

та ремонт сушильної установки.....

6.Охорона праці.....

Висновки.....

Список використаної літератури.....

## Вступ

Розвиток харчової промисловості потребує подальшої інтенсифікації технологічних процесів, зменшення витрат енергії, що в кінцевому варіанті має впливати на якість отриманої продукції. Головним важелем інтенсифікації харчової промисловості на сьогодні є використання сучасних розробок науково-технічного прогресу, широке впровадження нових технічних рішень для того щоб забезпечують високу продуктивність і ефективність виробництва. У перспективі ставиться завдання, отримувати високоякісну продукцію конкурентоспроможну на ринках Європи.

Технічна база підприємств харчової промисловості оновлюється постійно будуються сучасні підприємства молочної промисловості. Модернізується обладнання змонтоване в попередні роки, використовується обладнання, яке виготовлене українськими машинобудівними заводами. Встановлюється сучасне обладнання зарубіжних фірм спільними приватними підприємствами.

Випуск високоякісної безпечної харчової продукції можливий тільки за умов використання сучасних видів технологічного обладнання.

Станом на кінець 2019 року ми маємо 192 підприємства, які показали результати своєї діяльності. Виробництво молока становило 6,5 млн т.: переробка молока – 3,8 млн тю; продукція з незбираного молока (питне молоко, ферментована продукція, свіжий кисломолочний сир) – 1,1 млн т.; вершкове масло – 89, 2 тис. т (ми маємо пам'ятати, що тут статистика подвоюється, адже великі компанії часто купують продукцію у малих підприємств і перефасовують під власним брендом); сир – 128,6 тис. т.; сухе молоко – 34,1 тис. т.; згущене молоко – 74,5 тис. т.

Виробництво сухого молока має значну частку в молочно промисловість України. Тому вибрана тема кваліфікаційної роботи магістра є актуальною для молочної промисловості.

## **1 Теоретично-методологічний розділ**

### **1.1. Аналіз технологічних та конструктивних рішень процесу сушіння**

Для сушіння молочної сировини застосовують різні сушильні комплекси в склад яких входять розпилювальні сушарки з дисковими та форсунковими розпилювачами. Принцип їх дії майже однаковий, відрізняються пристроями окремих вузлів, способами підведення та відведення повітря [1-6].

Висушені продукти за допомогою розпилювальних сушильних установок, мають високу розчинність. Розпилювальні сушарки застосовують для сушіння цільного, знежиреного молока, вершків, пахти, сироватки, продуктів дитячого харчування.

У сучасній молочній промисловості України за роки незалежності використовують розпилювальні сушильні комплекси як вітчизняного так і закордонного виробництва продуктивністю 500 та 1000 кг випареної вологи за годину.

В склад розпилювальної сушильної установка (рис.1.1) входять з вертикальна сушильної башта 1, яка має конічне дно, циклони та допоміжні пристрої. По центру верхньої частини сушильної камери (башти) змонтований повітрерозподілювач 3 і дисковий розпилювач 2. Частота обертання розпилювача 12000 об/хв.

Повітря, яке подається на сушіння, нагрівається в калорифері 12 при тиску пари  $11 \cdot 10^5$  Па.

Повітря подається нагнітаючим вентилятором 11 високого тиску. В повітрерозподілювачі потік повітря, закручується в напрямку протилежному напрямку руху частинок розпилювального продукту. Згущене молоко подається в сушильну камеру по трубопроводу за допомогою насоса 17.

Пневмотранспортування сухого молочного порошку здійснюється повітрям, яке збирається в цеху допоміжним вентилятором 5. Перед пневмотранспортною лінією повітря очищується в фільтрах 10 із змінним елементом з крепсилона.

Відпрацьоване повітря з залишками фракції молочного порошку через спеціальний патрубок 9 виводиться з сушильної башти за допомогою вентилятора 4 направляється в батарею циклонів 7 для очищення від часточок молочного порошку. Далі повітря надходить у два скрубера вологої очистки повітря 15 для остаточного очищення. Змочувальною рідиною для скрубера є знежирене молоко, яке з бака 16 насосом 14 через трьохходовий кран 13 подається в зрошувальний пристрій скрубера. Потім вентилятором 18, очищене повітря виводиться в навколишнє середовище.

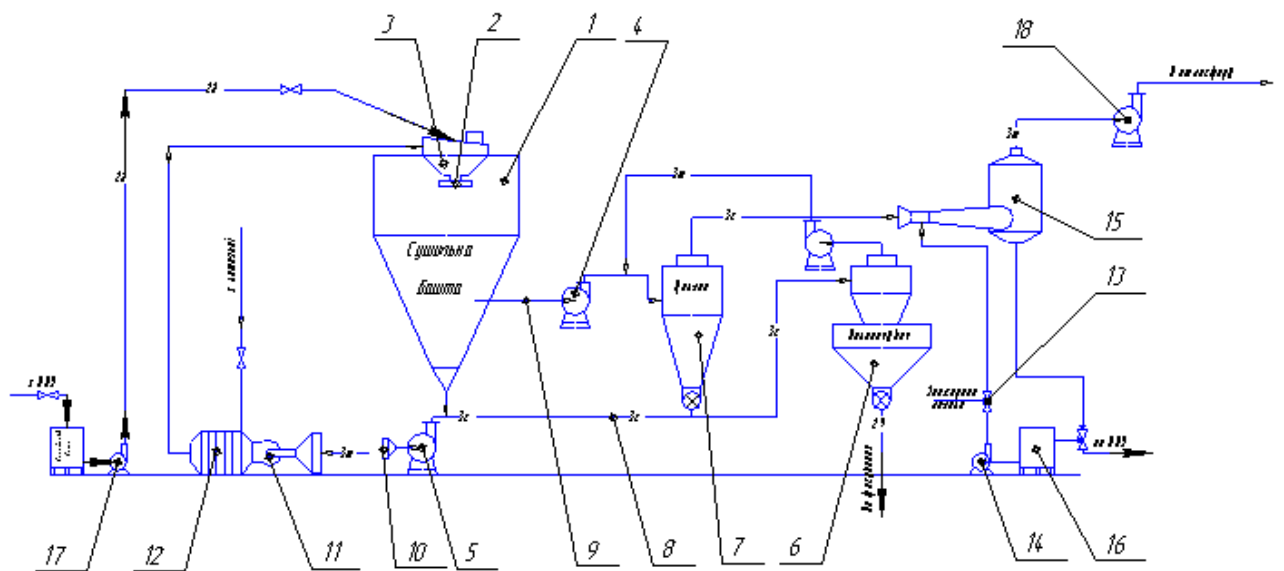


Рис.1.1.Прямоточна розпилювальна установка для виробництва сухого знежиреного молока:

1 – сушильна башта; 2 – розпилювач; 3 – повітрерозподілювач; 4 – вентилятор для відведення відпрацьованого повітря; 5 – вентилятор для транспортування сухого порошку; 6 – розвантажувальний циклон; 7 – батарея циклонів; 8 – пневмотранспортна лінія; 9 – трубопровід для відведення відпрацьованого повітря; 10 – фільтр; 11 – вентилятор для нагнітання повітря у калорифер; 12 – паровий калорифер; 13 – клапан для знежиреного молока; 14 – насос для подачі молока у скрубера; 15 – скрубера; 16 – ємкість для молока; 17 – насос для подачі молока в сушильну башту; 18 – вентилятор для відведення відпрацьованого повітря в атмосферу

Висушений молочний порошок по кінцічному дніщу сушильної камери висипається в пневмотранспортну лінію 8 нагнітаючого типу. В пневмотранспортну лінію потрапляє також молочний порошок з батареї циклонів 7. Молочний порошок поступає по пневмотранспортній лінії в

розвантажувальний циклон, з якого потім подається в бункер-накопичувач 6. У зв'язку з недостатньою очисткою, повітря з розвантажувального циклона повертається в повітрепровід, по якому відпрацьоване повітря з сушильної камери подається в батарею циклонів.

Сушильна установка для виробництва сухого знежиреного молока, дрібні частинки, якого агломерувались з більшими частинками показана на рис.1.2. Відмінними особливостями цієї установки є відсутність пневмотранспорту для готового продукту і наявність повернення циклонної фракції назад у сушилку.

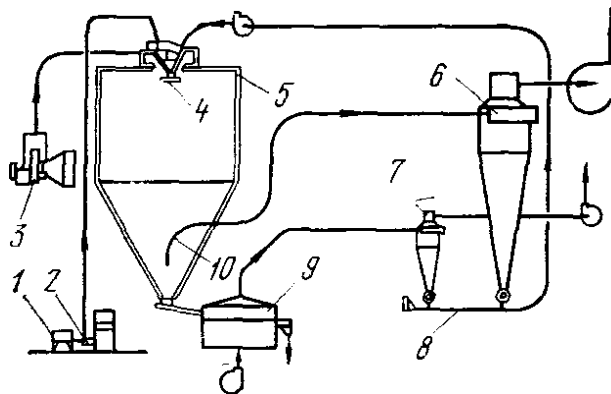


Рис.1.2.Установка для виробництва сухого знежиреного молока:

1-бачок; 2-насос; 3-калорифер; 4-розпилювач; 5-сушильна башта; 6-головний циклон; 7-додатковий циклон; 8-трубопровід для повернення дрібних частинок; 9-віброохолоджувач; 10-патрубок для видалення дрібних частинок із сушильної башти

Згущене молоко поступає в бачок 1, з якого насосом 2 подається в дисковий розпилювач 4. Для сушки молока використовують гаряче повітря, нагріте в калорифері 3. Сушильна башта 5, має конічне днище, в нижній частині оснащена патрубком 10 для видалення дрібної фракції порошка в головний циклон 6. Готовий продукт поступає для охолодження у віброохолоджувач 9. Циклонні фракції молочного порошка, відокремлені в циклонах 6 і 7, по трубопроводу 8 повертаються в сушильну башту 5.

Сушилка РСМ-500 (рис.1.3) має батарею циклонів і вертикальну циліндричну сушильну камеру з конічним днищем. Внутрішня поверхня

сушильної камери покрита з нержавіючої сталі. Теплоізоляція зроблена із мінеральної вати, ззовні вона покрита листовим алюмінієм.

В центрі верхньої частини сушильної камери змонтовані повітророзподілювач і розпилювач. Згущене молоко, яке подається шестеренчастим насосом з регулюючою продуктивністю розпилюється однарусним відцентровим диском, який має шістьнадцять криволінійних каналів прямокутного профілю. Частота обертання диску 12000–15000об/хв.

Повітря, перед подачею на сушку, нагрівається в паровому калорифері при тиску пари  $11 \cdot 10^5$  Па. Витрати пари складають 1460кг/год. Після проходження калорифера повітря нагрівається до 180–200°C и подається в основу факела розпилу.

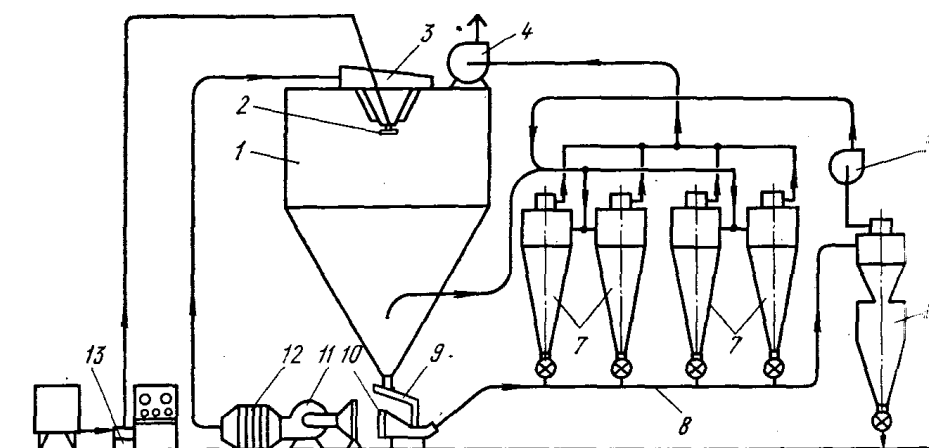


Рис.1.3.Принципова схема сушилки РСМ-500:

1-сушильна камера; 2-розпилювач; 3-повітророзподілювач; 4-вентиляційний вентилятор; 5-додатковий вентилятор; 6-бункер-накопичувач; 7-циклони; 8-пневмотранспортуюча лінія; 9-вібролоток; 10-вільтр; 11-нагнітаючий вентилятор; 12-паровий калорифер; 13-насос

Частинки продукту, втрачають початкову швидкість, разом з потоком теплоносія і рухаються по спіралеподібній траєкторії. Відпрацьоване повітря, має температуру 85–96°C, виводиться з сушильної камери в батарею циклонів для очищення. Сухе молоко по конічному днищу сушильної камери висипається у вібролоток, звідки подається в пневмотранспортну лінію.

Транспортування сухого молока на склад готової продукції здійснюється за допомогою пневмотранспортної системи. В процесі транспортування молочний порошок охолоджується повітрям до температури на 10–15°C, тобто вище температури засмоктуючого повітря. В пневмотранспортну лінію надходить також сухе молоко відокремлене в батареї циклонів. З сушильної камери і циклонів висушений продукт надходить в розвантажувальний циклон, а звідти подається в бункер-накопичувач.

Для вивантаження висушеного молока з установки використовують шлюзовий дозатор, який встановлений під бункером-накопичувачем.

Для фасування готового продукту використовують крафт-мішки.

Сушарка РСМ-1000 не має суттєвих конструктивних відмінностей від описаної вище. Виключення складає наявність в ній додаткового повітрерозподільвача для вводу повітря по периферійній зоні верхньої частини сушильної камери.

Принципова схема прямоочної розпилювальної сушильної установки зі скруберам продуктивністю 1000 кг випареної вологи за годину показана на рис. 1.4. Установка працює слідуєчим чином. Згущене молоко з вакуум-випарної установки через почергово підключені фільтри шестеренчастим насосом подається в пластинчастий підігрівник і далі поступає в ємкості, звідки насосом подається в сушарку.

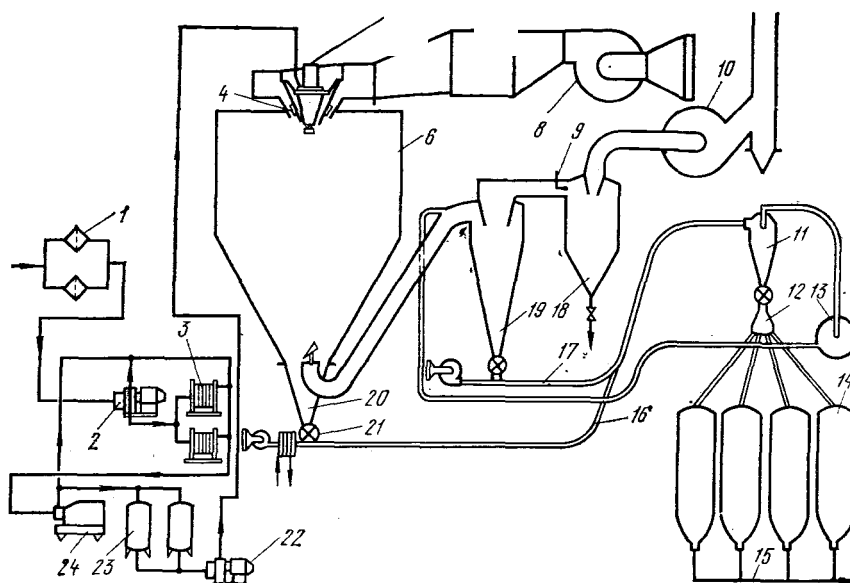


Рис.1.4. Принципова схема сушильної установки зі скруберами: 1-фільтр; 2-шестеренчастий насос; 3-пластинчастий підігрівник; 4-повітрерозподільювач; 5-розпилювач; 6-сушильна башта; 7-калорифер; 8,10-вентилятори; 9-форсунка; 11-розвантажувальний циклон; 12-розподільювач; 13-вентилятор для пневмотранспортної лінії; 14-бункера; 15-аерозольтранспортуюча лінія; 16-пневмотранспортуюча лінія; 17-пневмотранспортуюча лінія для циклонної фракції сухого молока; 18-скрубер; 19-циклон; 20-перехідник; 21-шлюзовий живильник; 22-насос; 23-ємкість; 24-гомогенізатор

Повітря, яке направляєється в сушарку, підігрівається до 160–220°C і через повітрерозподільювач поступає в сушильну камеру. В повітрерозподільювачі повітря розділяється на два концентричних потоки, один з яких закручується за допомогою спеціальних лопаток.

Відпрацьоване повітря і молочний порошок виводяться через горловину конічного днища сушильної камери в перехідник, оснащений пристроєм для часткового інерційного розділення продукта і відпрацьованого повітря. Повітря поступає на подальше очищення спочатку в головний циклон, а потім у скрубер.

Основна маса молочного порошка з перехідника поступає через шлюзовий живильник на пневмотранспортну лінію. Охолоджене повітря нагнітається в лінію додатковим вентилятором, і очищується від частинок сухого молока в розвантажувальному циклоні. Далі відпрацьоване повітря повертається в головний циклон, а порошок через шлюзовий живильник і розподільювач поступає в бункери. Молочний порошок із бункера по аерозольтранспортуючій лінії направляєється на фасування.

Прямоточна розпилювальна сушильна установка з циклонним очищенням відпрацьованого повітря приведена на рис.1.5.

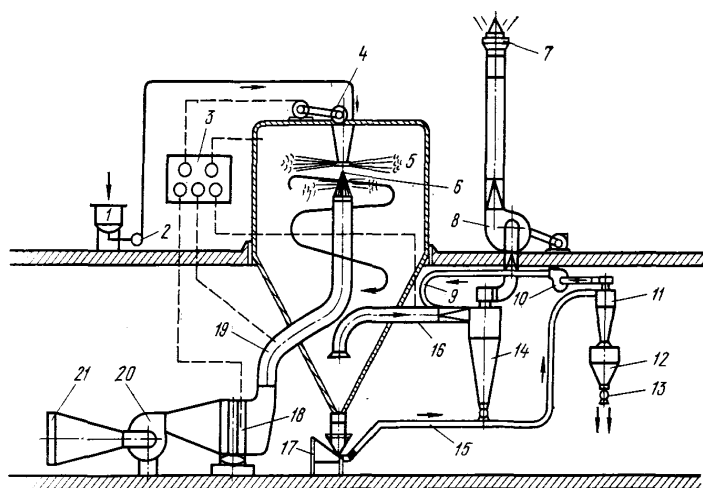


Рис.1.5. Прямоточна розпилювальна сушильна установка з циклонним очищенням відпрацьованого повітря:

1-ванна для вхідного продукта; 2-насос; 3-щит керування; 4-редуктор; 5-сушильна башта; 6-повітрерозподільна головка; 7-дефлектор; 8-вентилятор для відсмоктування повітря; 9-зворотній повітрепровід; 10-вентилятор для повітря; 11-

другий циклон; 12-збірник порошка; 13-затвор для випуска порошка; 14-перший циклон; 15-пневмотранспортний пристрій; 16-повітрепровід для відпрацьованого повітря; 17-пристрій для відводу порошка; 18-калорифер; 19-повітрепровід для нагнітання повітря; 20-вентилятор для нагнітання повітря; 21-фільтр для очищення повітря

Вихідний продукт з ванни 1 насосом 2 подається на розпилювальний диск, який обертається за допомогою електродвигуна через редуктор 4. через повітрерозподільну головку 6 вентилятором 20 подається повітря, очищене в фільтрі 21 і нагріте в калорифері 18.

В нижній конусній частині сушильної башти 5 відпрацьоване повітря поступає спочатку в повітрепровід 16, а потім в перший циклон 14. Тут сухий порошок опускається вниз, а повітря вентилятором 8 відводиться із сушилки. Порошок з першого циклона 14 і сушильної башти по пневмотранспортному пристрої 15 подається у другий циклон 11, повітря з якого вентилятором 10 повертається у вивідний повітрепровід 16. Сухий продукт попадає в збірник 12 і через затвор 13 його вивантажують з сушильної установки.

Керування сушильною установкою зосереджено на щиті керування 3, на який виведені основні прилади автоматичного контролю за процесом.

В процесі експлуатації ці сушарки позитивно зарекомендували себе як прості в експлуатації. Не дивлячись на це, вони мають конструктивні недоліки: незручність під час чищення в період між сушками, наявність пригару на жалюзійній повітрерозподільючій головці.

Одним з основних напрямків технічного удосконалення сучасних розпилювальних сушарок є розроблення конструктивних рішень, які забезпечують одержання продуктів високої якості. В окремих розробках передбачено не тільки підвищення якості продукту, але і забезпечення компактності установок за рахунок поєднання двох способів сушіння, що дозволяє зменшити металоемкість її та отримати високі техніко-економічні показники.

Розпилювальна сушарка COMPACT DRYER (tm) - це ідеальний вибір для виробництва як сухої молочної сироватки, так і висококонцентрованого сухого молока. За конструкцією рис. 1.6 COMPACT DRYER (tm) також ідеально підходить для таких продуктів, як сироватка та інші злегка липкі продукти, а також для виробництва дрібнодисперсних порошків або агломератів високої щільності.

Залежно від конкретних вимог сушильна камера може бути оснащена ротаційною форсункою або розпилювальною форсункою. Незалежно від конфігурації рішення буде відповідати вимогам ефективності і гігієнічності конструкції.

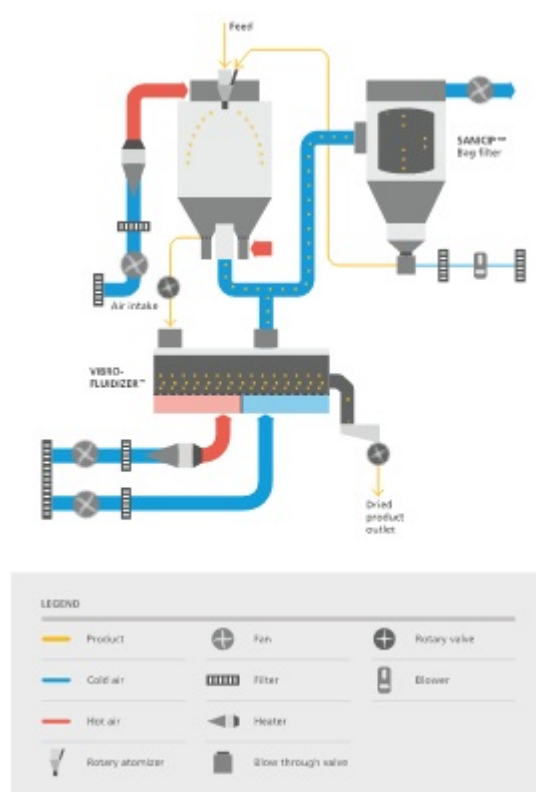


Рис.1.6 Розпилювальна сушарка COMPACT DRYER(tm) фірми «Ніро-Атомайзер»

Завдяки компактній конструкції для компактної сушильної камери потрібно менше місця, ніж для інших розпилювальних сушарок тієї ж продуктивності.

COMPACT DRYER (tm) - це розпилювальна сушарка з вбудованим псевдозрідженим шаром, сформованим у вигляді кільця навколо повітряного випускного отвору на дні сушильної камери.

Концентрат розпорошується і подається в верхню частину сушильної камери за допомогою комплекту форсунок або ротаційної форсунки. Повітря для сушіння надходить вертикально через повітряний розпилювач на високій швидкості, забезпечуючи оптимальне змішування з розпорошеним концентратом. Випаровування відбувається миттєво в той час, коли краплі проходять через сушильну камеру у вбудований псевдозріджений шар на дні для додаткового сушіння. Звідси порошок розвантажується в псевдозріджений шар VIBRO-FLUIDIZER (tm), де відбувається кінцеве сушіння і охолодження.

Розпилювальна сушарка MSD <sup>TM</sup> є кращим вибором для виробництва багатьох молочних продуктів, наприклад, для сухого молока і поживних сумішей, найбільше значення мають такі властивості продукту як однорідність фракції, ступінь агломерації, сипкість, відсутність пилу.

Розпилювальна сушарка MSD <sup>TM</sup> рис.1.7, спеціально розроблена для задоволення потреб молочної промисловості, включає в себе новітні технології переробки молочних продуктів і розпилювальної сушки. Завдяки своїй високій ефективності і документально підтвердженого гігієнічного виконання розпилювальна сушарка MSD <sup>TM</sup> встановлює стандарти у виробництві агломерованих сухих молочних продуктів з моменту її появи на ринку; як наслідок, вона має сильні позиції в індустрії переробки молока.

Розпилювальна сушарка MSD <sup>TM</sup> являє собою багатоступеневу розпилювальну сушарку, яка поєднує в собі технологію сушки розпиленням з псевдозрідженим шаром з триступінчатим процесом сушіння з метою забезпечення оптимальної загальної ефективності сушіння і високої якості продукту.

Набір форсунок розпорошує концентрат і подає його в сушильну камеру. Повітря для сушіння надходить вертикально через повітряний розпилювач з високою швидкістю, забезпечуючи оптимальне змішування з розпорошеним концентратом. На цьому етапі випаровування відбувається миттєво, в той час як краплі проходять через сушильну камеру. Сушильна камера і повітряний потік спроектовані таким чином, щоб запобігти прилипанню частинок до стінок сушильної камери, направляючи їх безпосередньо до псевдозрідженого шару, вбудованому в дно сушильної камери, для другого ступеня процесу сушіння. Порошок надходить до псевдозрідженого шару VIBRO-FLUIDIZER™ для кінцевого сушіння і охолодження.

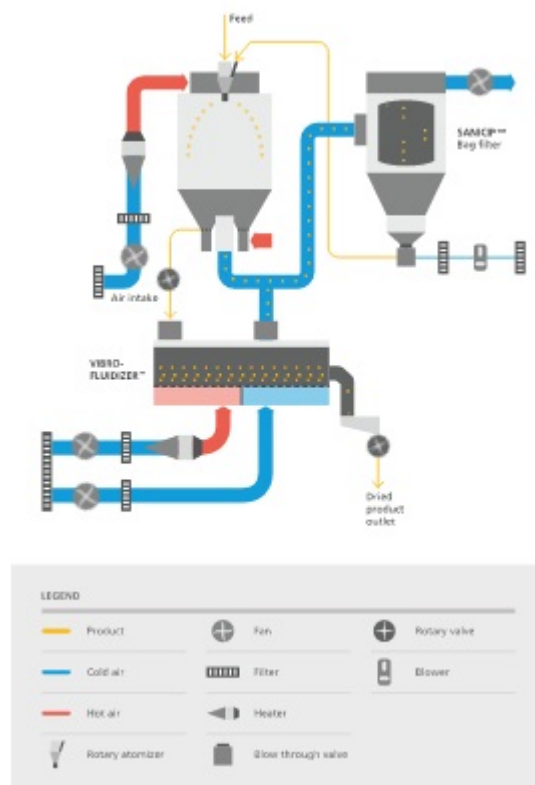


Рис.1.7. Розпилювальна сушарка MSD™ фірми «Ніро-Атомайзер»

Повітря для сушіння надходить з верхньої частини камери, що забезпечує хорошу вторинну агломерацію, коли дрібні частинки в осушують повітря

стикаються з розпиляним з сопел продуктом. Відпрацьоване повітря проходить через мішечний фільтр SANICIP™, який відокремлює частинки, що містяться в повітрі. Дрібні фракції, що надходять з мішечного фільтра, повертаються в сушильну камеру - або в статичний псевдозріджений шар, або в сопла, в залежності від вимог агломерації. Якщо потрібно продукт з низьким ступенем агломерації, дрібні частинки направляються безпосередньо в псевдозріджений шар VIBRO-FLUIDIZER™.

Розпилювальна сушарка FILTERMAT® рис.1.8 дозволяє дбайливо і ефективно перетворювати липкі, гігроскопічні, термопластичні і повільно кристалізуються молочні та харчові продукти в сипучий агломерований порошок.

Розпилювальна сушарка FILTERMAT® розроблена спеціально для молочних і харчових продуктів, які важко піддаються розпилювальній сушці через високий вміст карбогідратів, жирових речовин і білків. Вона застосовується при виробництві широкого діапазону продукції, в тому числі, наприклад, суха молочна сироватка, порошки з фруктів і овочів, смакоароматичні речовини, білки і змішана продукція.

У нижній частині сушильної камери розпилювальної сушарки FILTERMAT® передбачений вбудований стрічковий конвеєр

Концентрований продукт надходить в сушильну камеру через ряд форсунок, при цьому спеціально розроблений повітряний розпилювач сформує структуру повітряного потоку в сушильній камері, направляючи частки вниз на стрічковий конвеєр. Саме тут завершується перший етап сушіння. Так як порошок залишається на стрічці протягом декількох хвилин, це забезпечує достатній час для завершення сушіння і охолодження порошку з підтриманням його необхідної температури. Здатність установки FILTERMAT® контролювати і підтримувати точні температури повітря на різних ділянках полегшує точне формування властивостей порошку, забезпечуючи для установки значний масштаб і гнучкість застосування при виробництві різних категорій продукції, а також дозволяє виробляти агломеровані структури.

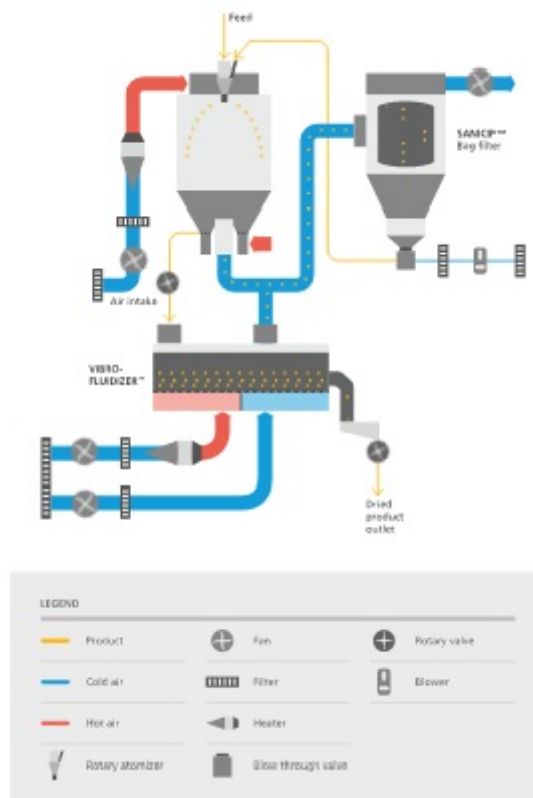


Рис.1.8. Розпилювальна сушарка FILTERMAT® фірми «Ніро-Атомайзер»

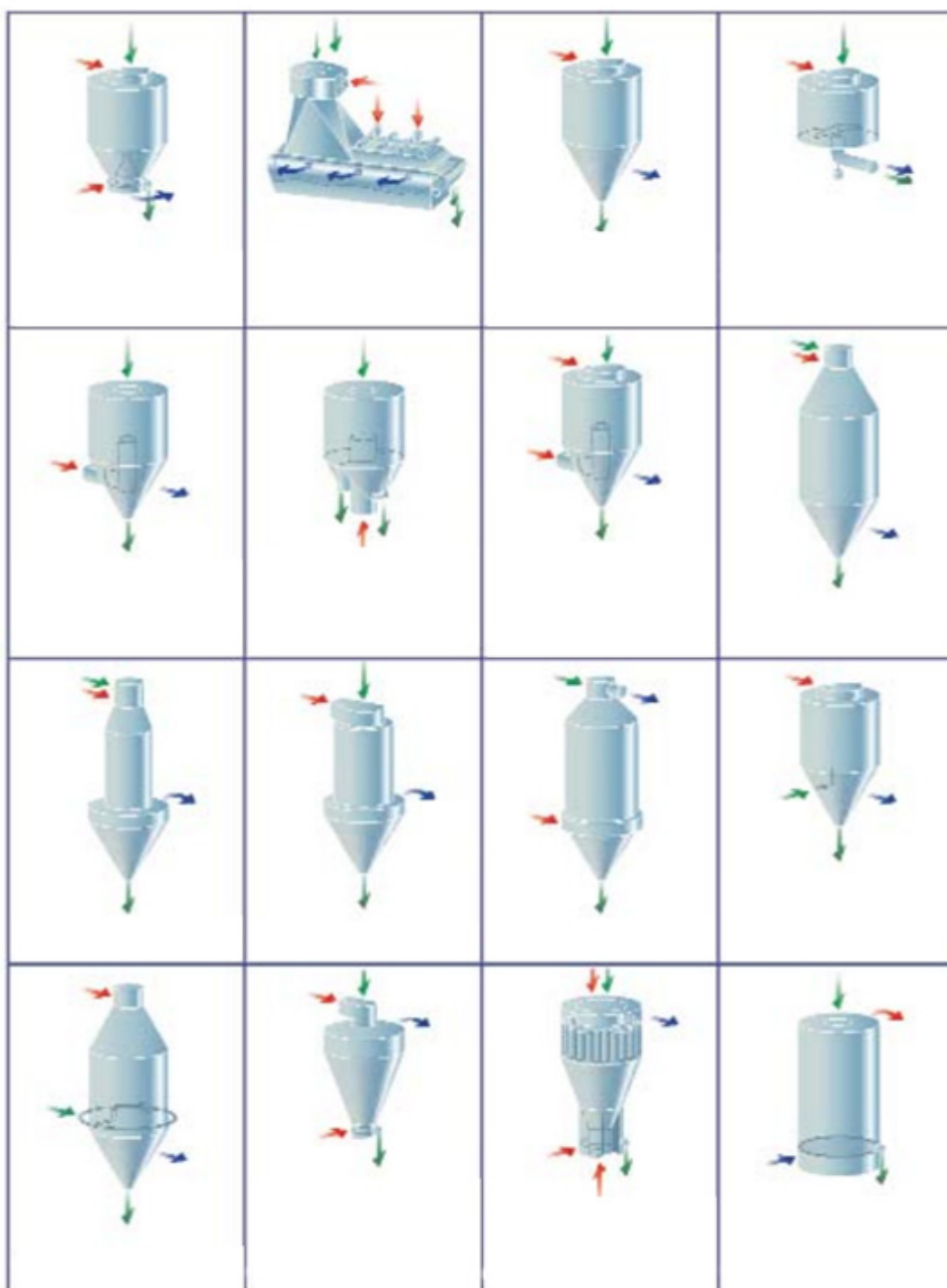
Пориста структура стрічки дозволяє їй пропускати повітря спочатку через порошковий «мат», який утворився та діє як фільтр, а потім через пористу стрічку. В повітрі для сушки залишиться лише дуже незначна кількість частинок з стрічки. Ці частинки буде збирати мішечний фільтр SANICIP™.

Аналіз технологічних та конструктивних рішень процесу сушіння вітчизняних і закордонних розробників і виробників розпилювальних сушарок свідчить, що питання удосконалення та модернізації розпилювальних сушарок є актуальним та перспективним напрямком роботи.

Іноваційні розробки розпилювальних сушарок світових розробників свідчить про постійне удосконалення їх конструкцій зокрема відома фірма «Ніро-Атомайзер» виробляє розпилювальні сушарки поєднуючи розпилюючи сушарку в якій відбувається сушіння продукту та сушарку псевдо зрідженого шару де відбувається досушування продукту. Слід звернути увагу на систему

розпилення даної сушарки замість відцентрового розпилюючого пристрою використовується комплект форсунок або ротатійна форсунка.

## 1.2. Типи корпусів сучасних розпилювальних сушарок



№, р	Назва типу корпусу розпилювальної сушарки
1.	Прямотечійна, із псевдозрідженим шаром, з відцентровим розпилювачем або форсункою
2.	Прямотечійна, зі вбудованим транспор) тером з форсункою
3.	Прямотечійна, з конічним днищем, з відцентровим розпилювачем, для термолабільних і стабільних продуктів
4.	Прямотечійна, з плоским днищем, з відцентровим розпилювачем, для спеціальних продуктів. Придатна для розпилювального твердіння
5.	Прямотечійна, з відцентровим розпилювачем, для сушіння хімікатів за високої температури повітря на вході
6.	Прямотечійна, з відцентровим розпилювачем, для сушіння концентратів мінерального походження за дуже високої температури на вході
7.	Прямотечійна, з повітророзподілювачем, який об'єднаний з роторним розпилювачем, для дуже великої витрати повітря з низькою температурою на вході
8.	Прямотечійна, з форсункою
9.	Прямотечійна, з форсункою
10.	Прямотечійна, з форсункою
11.	Протитечійна, з форсункою
12.	Зі змішаним потоком, з форсункою, для великодисперсних термостабільних продуктів
13.	Зі змішаним потоком, з форсункою
14.	Зі змішаним потоком, із псевдозрідженим шаром, з відцентровим розпилювачем або форсункою, для виробництва сипких продуктів, що не пилять
15.	Зі змішаним потоком, із вбудованим фільтром і псевдозрідженим шаром, з роторним розпилювачем або форсункою
16.	Протитечійна, із псевдозрідженим шаром, з відцентровим розпилювачем для розпилювального охолодження і твердіння

Типи корпусів сучасних розпилювальних сушарок

Таблиця. 1



### 1.3. Роторні розпилювачі GEA для розпилення рідких продуктів у розпилювальних сушарках

Ротаційний розпилювач GEA для розпилювальних сушарок - один із прикладів ідеального вдосконалення від GEA Service. Роторний розпилювач GEA доступний у різних версіях для різних потужностей та типів розпилювальних сушарок. Це давно перевірене оновлення допомагає отримати ключові виробничі параметри, такі як розмір частинок, розподіл за розмірами, щільність та пропускну здатність, а також відповідає всім відповідним директивам ЄС та гармонізованим стандартам.



Рис. 1.10. Фото роторний розпилювач GEA F100 для розпилювальних сушарок великої ємності. (GEA)

Роторний розпилювач GEA F01A із швидкістю подачі від 1 до 10 кг / год є ідеальним вдосконаленням для розпилювальних сушарок, які обробляють невелику кількість розчинів, суспензій або емульсій. Більше 2000 одиниць, що постачаються по всьому світу, демонструють очевидну перевагу для університетів, дослідницьких центрів та спеціалізованих підприємств з виробництва порошку. Колесо пульверизатора має діаметр близько 50 мм; залежно від типу продукту. Роторний розпилювач GEA F01A із швидкістю подачі від 1 до 10 кг / год є ідеальним вдосконаленням для розпилювальних сушарок, які обробляють невелику кількість розчинів, суспензій або емульсій. Більше 2000 одиниць, що постачаються по всьому світу, демонструють очевидну перевагу для університетів, дослідницьких центрів та спеціалізованих підприємств з виробництва порошку. Колесо пульверизатора має діаметр близько 50 мм; залежно від типу продукту Застосування та необхідна потужність можна вибрати широкий діапазон типів розпилювачів - тип каналу, тип сопла або шпильки (для неабразивних подач) або вставний тип (для абразивних подач)

Замовники можуть спроектувати більші сушіння розпиленням для сипучих та тонких продуктів за допомогою роторного розпилювача GEA F100 із діапазоном подачі від 4 до 20 т / год. Це давно перевірене та визнане оновлення для розпилювальних сушарок має колесо діаметром 210 мм. Також можна вибрати кілька типів дисків залежно від потреб замовника рис. 1.10.

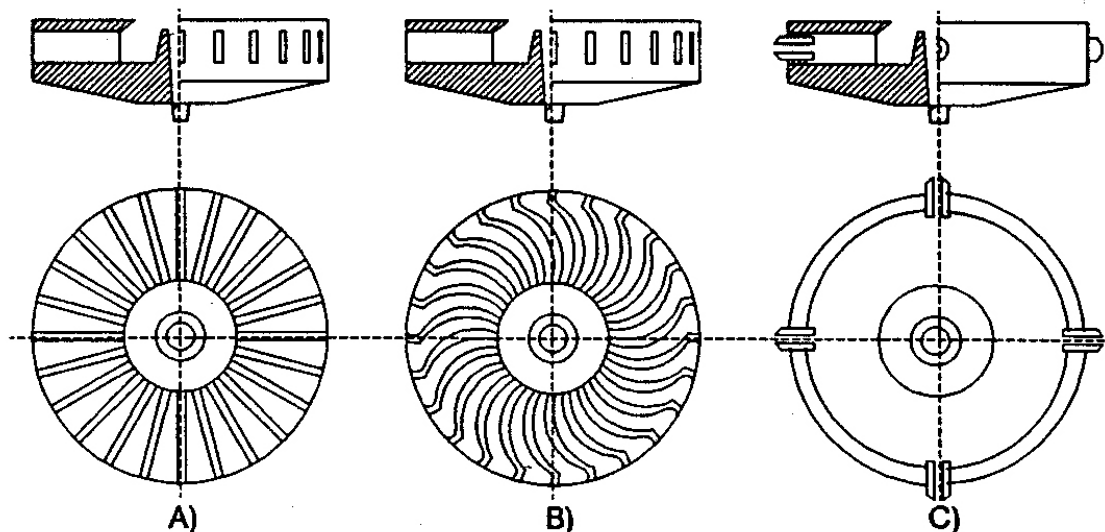


Рис. 1.11. Типи дисків різного призначення

Роторний розпилювач GEA F160 для більших операцій сушіння розпиленням для розширених виробничих процесів дозволяє швидкості подачі коливатися від 5-30 т / год. Він працює або з каналом (для неабразивних подач), або з вставним (для абразивних подач) колесом діаметром 210, 240 та 320 мм.

Сервіс GEA також пропонує роторний розпилювач GEA F1.5X, розроблений насамперед для розпилювальних сушарок GEA PHARMASD™, щоб задовольнити вимоги cGMP та обробляти широкий спектр сполук на основі ацетону, метиленхлориду, етанолу та інших органічних розчинників у фармацевтичному виробництві. При діаметрі колеса 100 мм швидкість подачі коливається в межах 10-250 кг / год

Робота зі службою GEA означає співпрацю із спеціалізованою командою експертів з обслуговування. Основна увага приділяється побудові, підтримці та покращенню ефективності роботи споживачів протягом усього життєвого циклу заводу та його обладнання.

#### 1.4. Розпилювальні диски нових та удосконалених конструкцій

Пошук вирішення проблеми розпилення різних продуктів спонукає до створення нових та удосконалення вже відомих конструкцій розпилювальних дисків (рис.1.12)



Рис. 1.12. Фото розпилювальних дисків фірми «НІРО АТАМАЙЗЕР»

Розпилювальні диски надійні в роботі мають тривалий час експлуатації в залежності від конструктивних характеристик використовуються для різних продуктів з різними фізико-хімічними властивостями, надходження рідини до розпилювального диску не вимагає створення високого надлишкового тиску в порівнянні з форсунками.

Незважаючи на те що розпилювальні диски вже довгий час експлуатуються в розпилювальних сушарках науковці та інженери ведуть пошуки застосування нових пристроїв для розпилювання рідкої фази.

Альтернативою для використання в якості пристрою розпилювання в розпилювальних сушарках є форсунки різних видів і типів рис. 1.13.

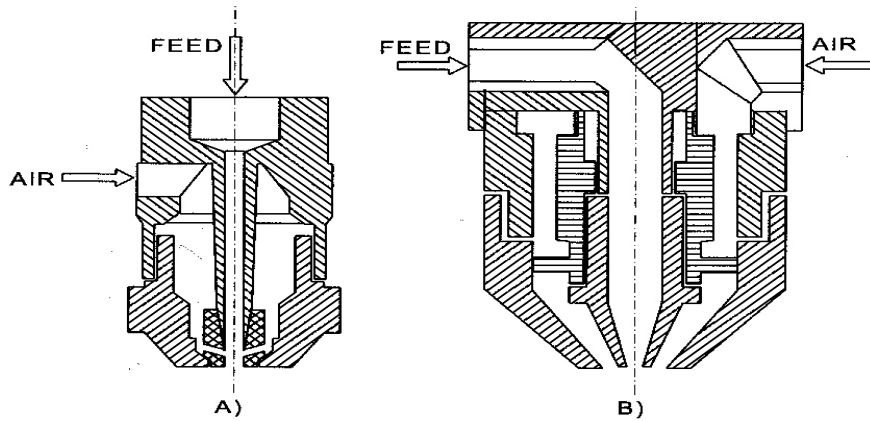


Рис. 1.13. Форсунки різних типів: А – з прямолінійним підведенням продукту і тангенсійним підведенням повітря; В – з тангенсійним підведенням продукту і повітря.

Використання форсунок для розпилення дозволяє досягти великої площі розпилу не утворюючи мертвої зони, яка утворюється при розпиленні продукту диском. Крім того розташуванням форсунок вертикально, горизонтально під кутом в сушильній камері можна отримати рівномірний направлений розподіл продукту по об'єму сушильної камери рис. 1.14.

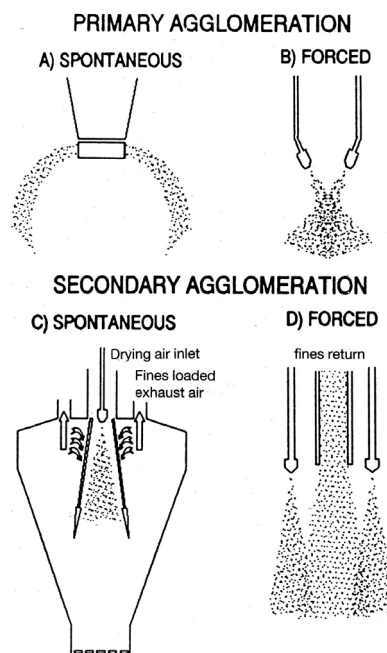


Рис.1.14. Розпилення продукту різними за конструкціями пристроями

Наведені та описані конструкції розпилювальних сушарок, представлені різні типи корпусів, розглянуті конструкції розпилювальних дисків їх переваги та недоліки в порівнянні з форсунками для розпилення дозволяють зробити висновок.

В залежності від конструкції корпусу розпилювальної сушарки а саме підведення та відведення повітря в більшості випадків використовують розпилювальні диски вони забезпечують високу продуктивність по готовому продукту, їх канали не залипають від нашарування продукту, вони дозволяють висушувати і абразивні продукти (з включенням кристалів).

### ***Об'єкт та предмет дослідження***

**Об'єкт дослідження** - вузол розпилення розпилювальної сушарки.

**Предмет дослідження** – розпилювальний диск розпилювальної сушарки.

### **Завдання на виконання кваліфікаційної роботи магістра**

Огляд конструктивних та технологічних рішень, які застосовуються при проведенні сушіння в розпилювальних сушарках свідчить, що важливим є досягнення якісного розпилення продукту, що дозволить отримати якісний висушений продукт. Тому особливу увагу слід приділити дослідженню роботи розпилювального пристрою основним елементом конструкції якого є розпилювальний диск.

Враховуючи вищенаведене для удосконалення вузла розпилення були поставлені завдання:

- виконати порівняльний аналіз технологічних та конструктивних рішень розпилювальних сушарок;

обґрунтувати доцільність використання для розпилення продукту розпилювального диску;

- провести моделювання роботи розпилювального диску з використанням програмного модуля FW при зміні властивостей продукту та частоти обертання диску;

Запропонувати напрями модернізації вузла розпилення розпилювальної сушарки.

## 2. Конструкція і принцип дії дискової розпилювальної сушильної установки для знежиреного молока

На рис. 2.1. наведена розпилювальна сушильна установка яка складається з вертикальної сушильної башти 1, яка має циліндричну обичайку та конічне дно, циклони та допоміжні пристрої. Внутрішній діаметр циліндричної частини сушильної башти - 6 м, висота - 4,5 м при загальній її висоті 10,5 м. Сушильна башта вироблена з нержавіючої сталі. В якості теплоізолюючого матеріалу використовується мінеральна вата, зверху вона покрита захисним листовим алюмінієм.

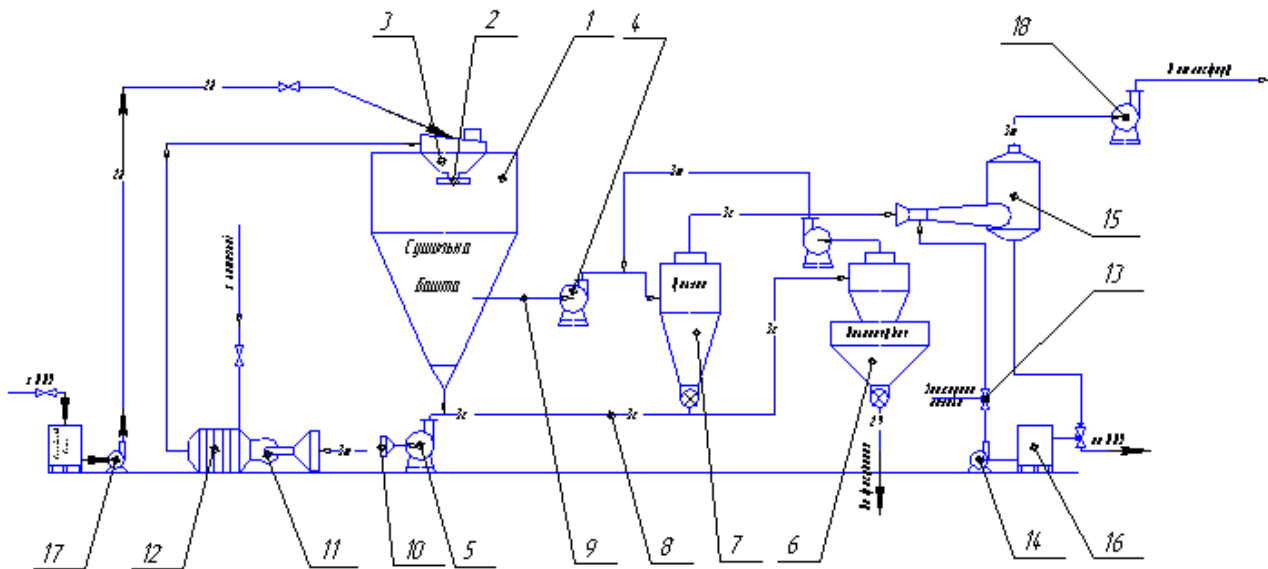


Рис.2.1.Прямоточна розпилювальна установка для виробництва сухого знежиреного молока:

1 – сушильна башта; 2 – розпилювач; 3 – повітрерозподільувач; 4 – вентилятор для відведення відпрацьованого повітря; 5 – вентилятор для транспортування сухого порошка; 6 – розвантажувальний циклон; 7 – батарея циклонів; 8 – пневмотранспортна лінія; 9 – трубопровід для відведення відпрацьованого повітря; 10 – фільтр; 11 – вентилятор для нагнітання повітря у калорифер; 12 – калорифер паровий; 13 – клапан для знежиреного молока; 14 – насос для подачі молока у скруббер; 15 – скруббер; 16 – ємкість для молока; 17 – насос для подачі молока в сушильну башту; 18 – вентилятор для відведення відпрацьованого повітря в атмосферу

В верхньої частини сушильної башти встановлений повітрерозподільувач 3 і дисковий розпилювальний пристрій. 2. Частота обертання розпилювального пристрою становить - 12000об/хв.

Повітря, яке надходить в сушильну башту попередньо очищається за допомогою фільтра потім надходить на нагрівання в калорифер 12. Калорифер нагріває пара тиск пари  $11 \cdot 10^5$  Па. Витрата пари на сушіння становить 6920 кг/год. Повітря подається вентилятором високого тиску 11, продуктивність вентилятора - 22200 м<sup>3</sup>/год. Після нагрівання в калорифері повітря з температури 180 – 200°C і подається в зону факелу розпилювання продукту. При цьому в повітрерозподілювачі потік повітря, закручується в напрямку руху частинок розпилювального продукту. Продукт подається в розпилювальний диск по трубопроводу за допомогою насоса 17.

Рух частинок продукту після високої початкової швидкості, відбувається разом з потоком повітря по спіралеподібній траєкторії.

Відпрацьоване повітря з залишками порошкоподібної фракції через патрубок 9 виводиться з сушильної башти за допомогою вентилятора 4 в батарею циклонів 7 для очищення від залишків частинок порошку. Для додаткового очищення повітря із циклонів подається у два скрубера вологого очищення повітря 15. Повітря в скрубери змочується рідиною, використовується знежирене молоко, яке з бака 16 насосом 14 через трьохходовий кран 13 подається в зрошувальний пристрій скрубера. Очищене повітря виводиться в навколишнє середовище вентилятором 18.

Висушений продукт (сухе знежирене молоко) по кінчному днищу сушильної башти висипається через розвантажувальний патрубок в пневмотранспортну лінію 8.

Пневмотранспортування сухого знежиреного молока здійснюється повітрям, яке подається в трубопровід вентилятором 5. Перед подачею повітря в пневмотранспортну лінію повітря очищується в фільтрах 10 із змінним елементом з крепсилона.

При транспортуванні продукт охолоджується до температури яка на 10 – 15°C більша за температуру вхідного повітря.

### **3. Моделювання руху рідини в розпилювальному диску розпилювальної сушарки**

#### **3.1. Розробка геометричної моделі розпилювального диску**

##### **Вибір математичної моделі руху рідини**

Метою моделювання руху рідини в розпилювальному диску - є отримання розподілів швидкості, тиску та інших фізичних параметрів рідини. Для розрахунку цих параметрів необхідно вказати фізико-хімічні властивості продукту та частоту обертання розпилювального диску.

##### **3.2. Завдання математичної моделі**

Математична модель виконана в графічному редакторі КОМПАС імпортується для обчислення в Flow Vision.

Для моделювання руху продукту в калах розпилювального диску використовували програмний комплекс FlowVision. Модель створювали в графічному редакторі КОМПАС (рис.3.1)

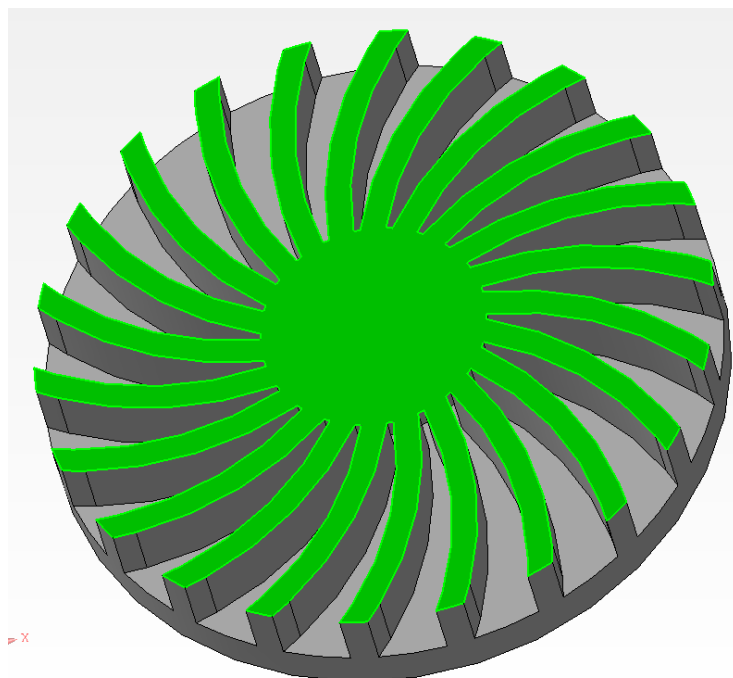


Рис 3.1. Модель розпилювального диску виконана в графічному редакторі КОМПАС.

На рис. 3.2 Наведений об'єкт моделювання виконаний у Flow Vision. Розрахунок руху рідини виконували методом кінцевих елементів рис.3.3.

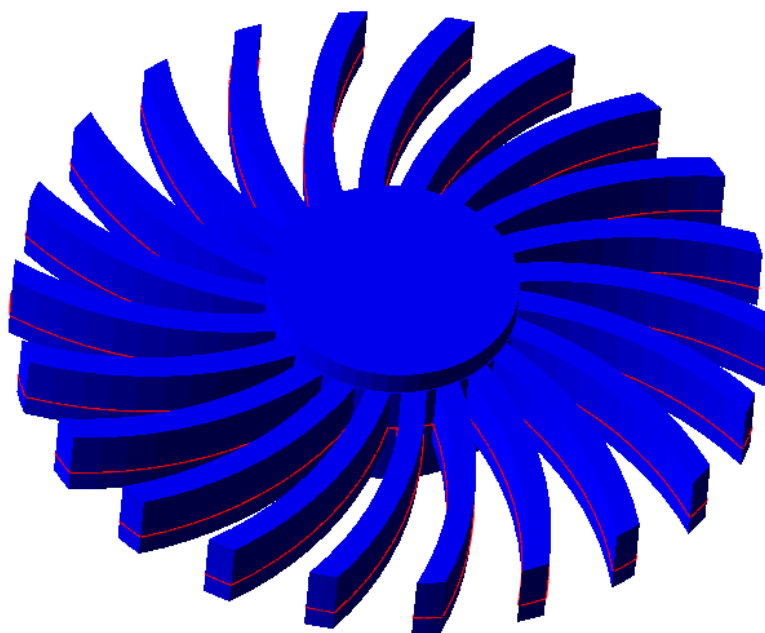


Рис. 3.2. Об'єкт моделювання виконаний у Flow Vision

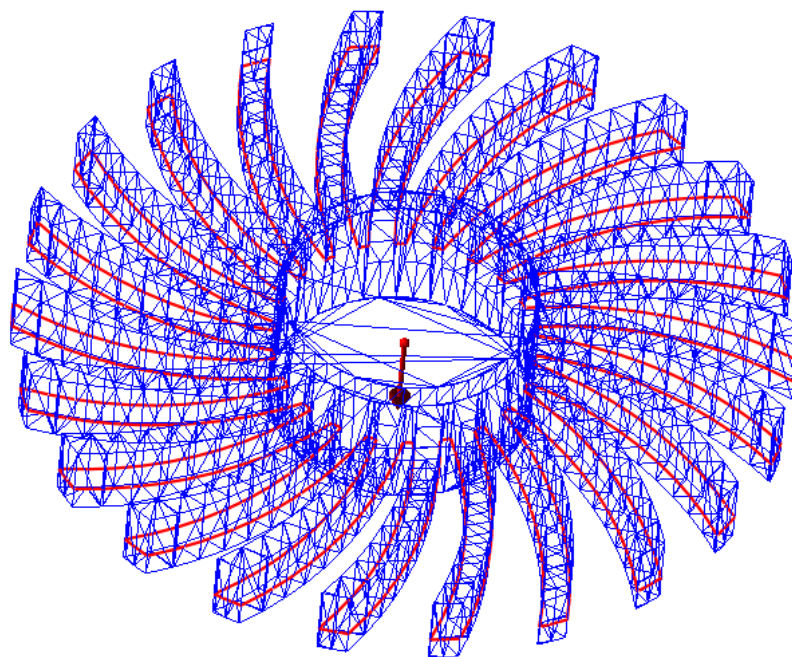


Рис. 3.3. Модель, яка складається з кінцевих елементів

Для моделювання руху рідини в розпилювальному диску використовували параметри продукту молока а саме густина  $1025 \text{ кг/м}^3$ , динамічна в'язкість  $0,0013 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , частота обертання розпалюваного диску  $10\,000 \text{ об/хв}$ . На рис 3.4. наведено розподіл швидкостей по каналам розпилювального диску визначена максимальна швидкість руху яка становить  $5 \text{ м/с}$ .

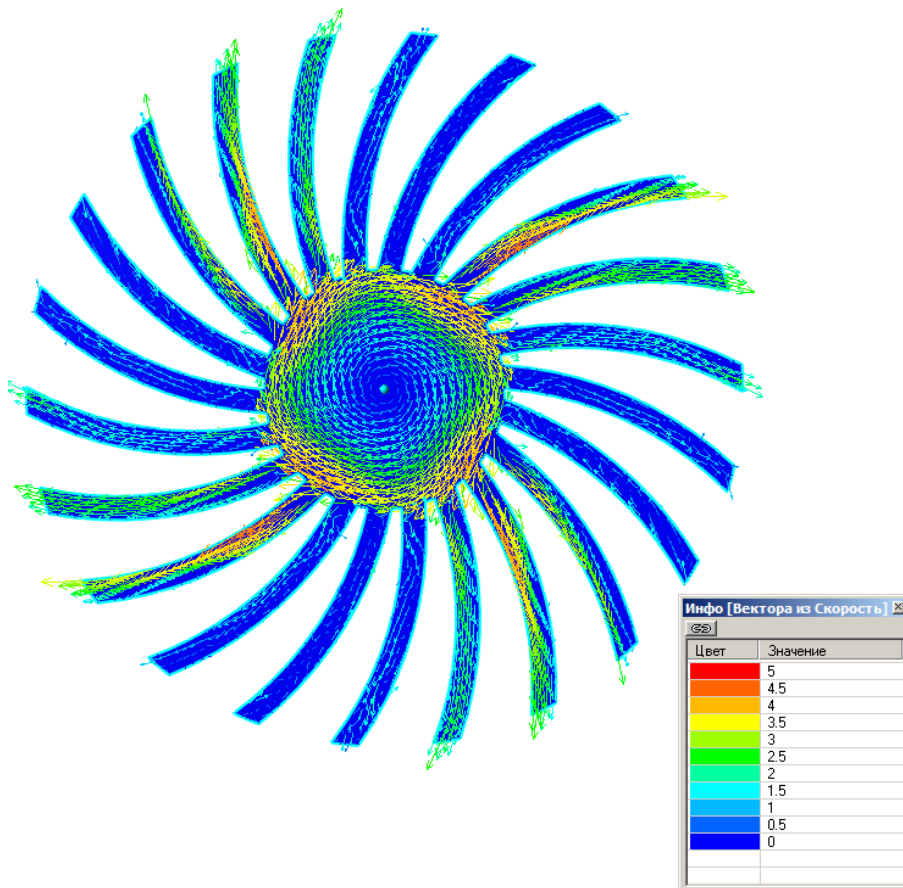


Рис. 3.4. Розподіл швидкостей по каналам розпилювального диску

Слід зазначити, що максимальні значення швидкостей зосереджені при вході канали диску та посередні евольвент каналів. На виході з каналів швидкість зменшується до  $3 \text{ м/с}$ .

На рис. 3.5. наведено розподіл тиску рідини в розпилювальному диску.

По центру диску зона розрідження, при виході каналів визначений максимальний тиск  $1500 \text{ Па} \cdot \text{с}$

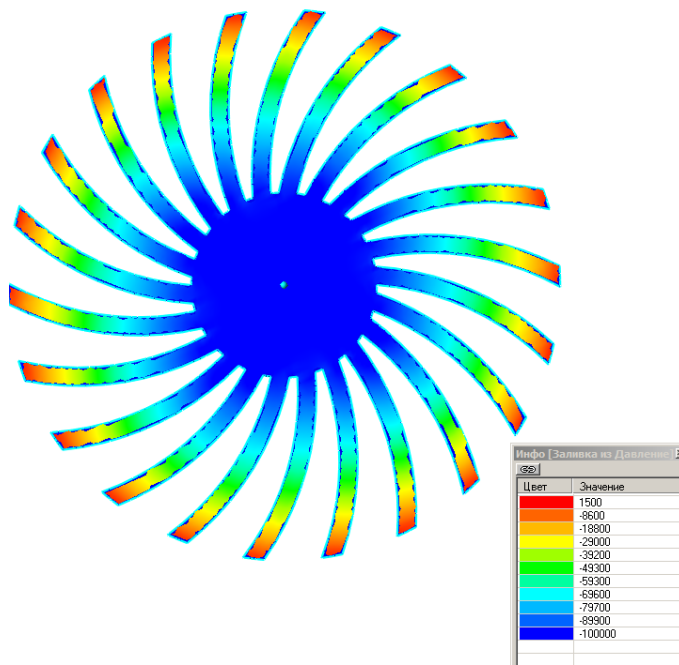


Рис.3.5 Візуалізація розподілу тиску рідини в розпилювальному диску.

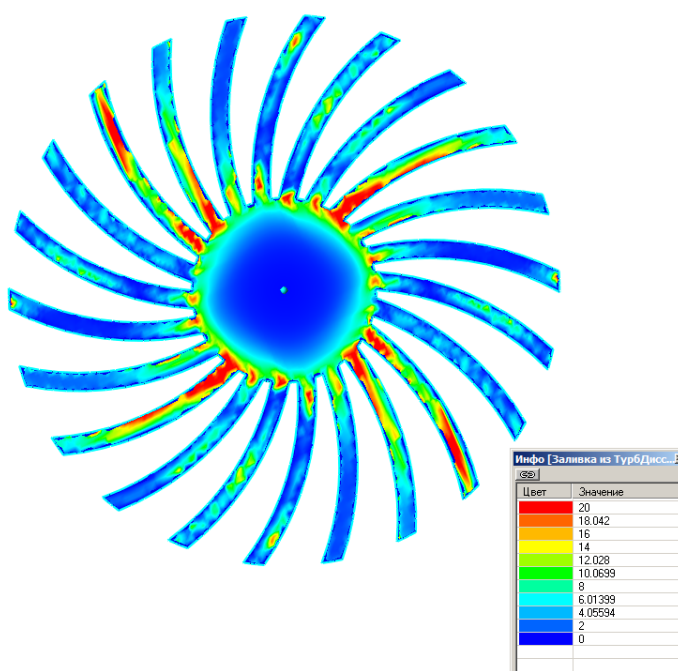


Рис. 3.6 Завихрення (дисипація – внутрішнє тертя) Максимальна  $20 \text{ м}^2 \text{с}^3$

Для моделювання руху рідини змінювали параметри продукту який подається в розпилювальний диск, а саме густина 1100 кг/м<sup>3</sup>, динамічна в'язкість 0,003 Па\*с, частота обертання розпилюваного диску 10 000 об/хв.

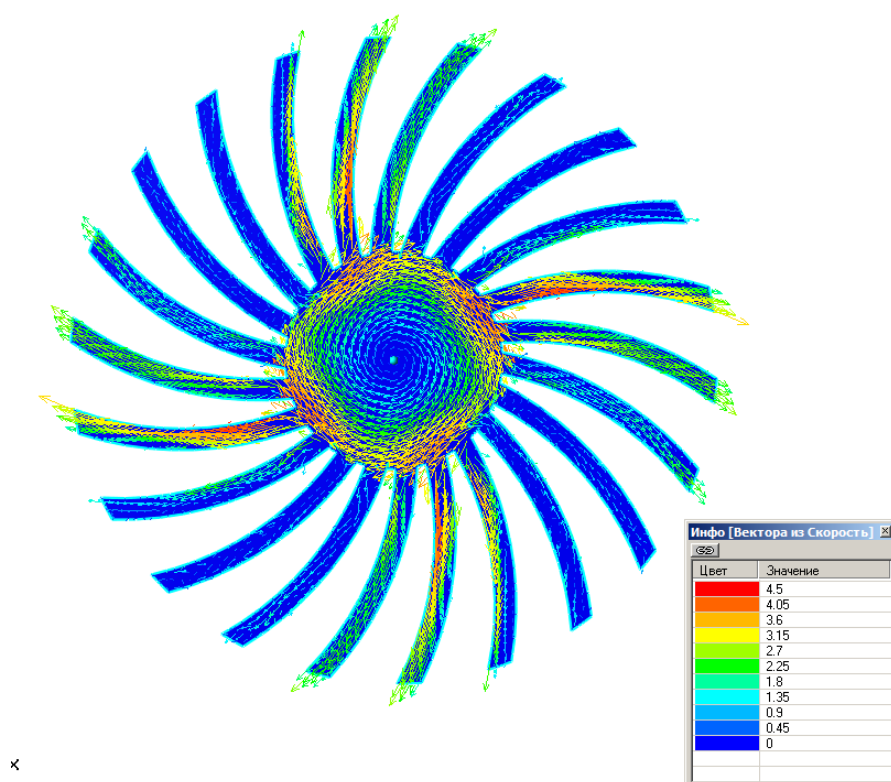


Рис.3.7. Розподіл швидкостей по каналах розпилювального диску

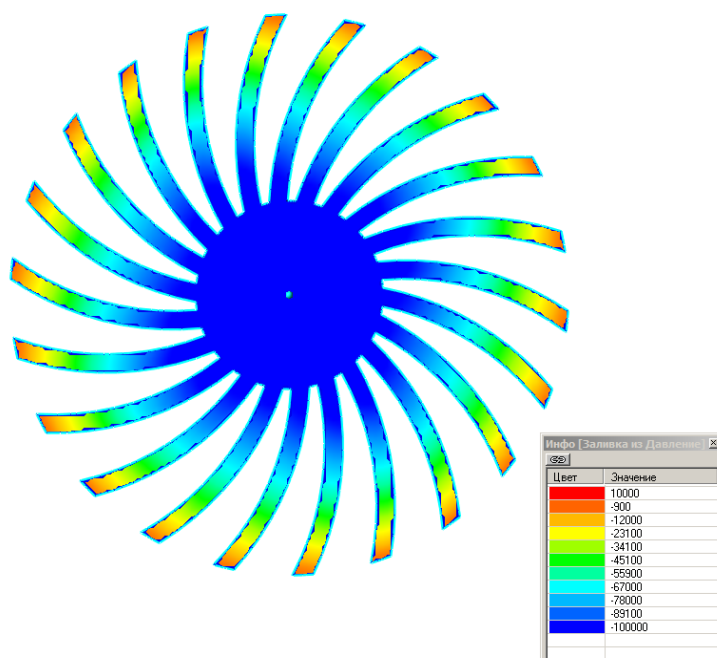


Рис.3.8 Візуалізація розподілу тиску рідини в розпилювальному диску

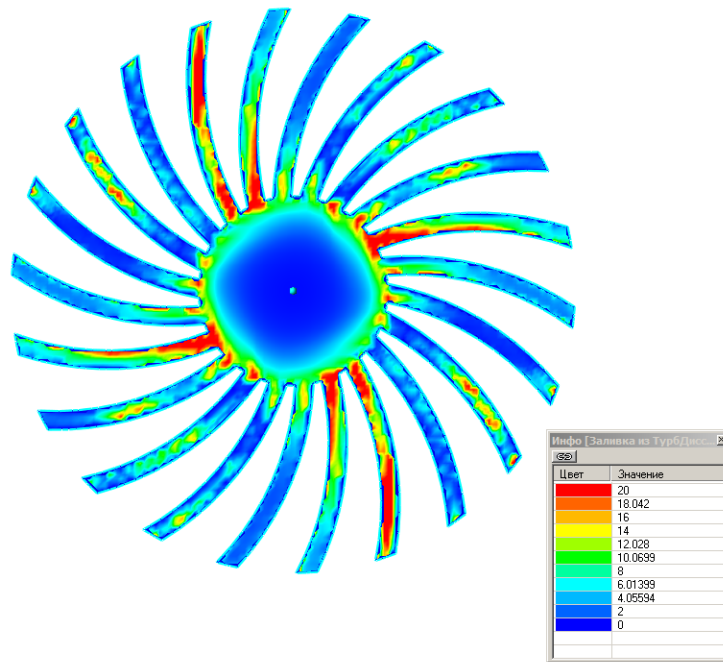


Рис. 3.9. Завихрення (дисипація – внутрішнє тертя)

Для визначення роботоздатності розпилювального диску при збільшенні частоти обертання проводили моделювання руху рідини при таких параметрах густина 1025 кг/м<sup>3</sup>, динамічна в'язкість 0,0013 Па\*с, частота обертання розпалюваного диску 12 000 об/хв

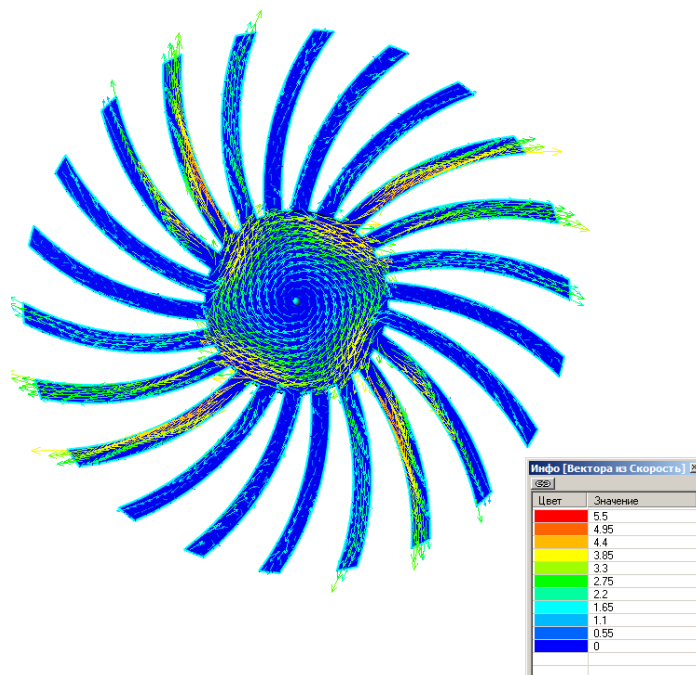


Рис. 3.10. Розподіл швидкостей по каналам розпилювального диску

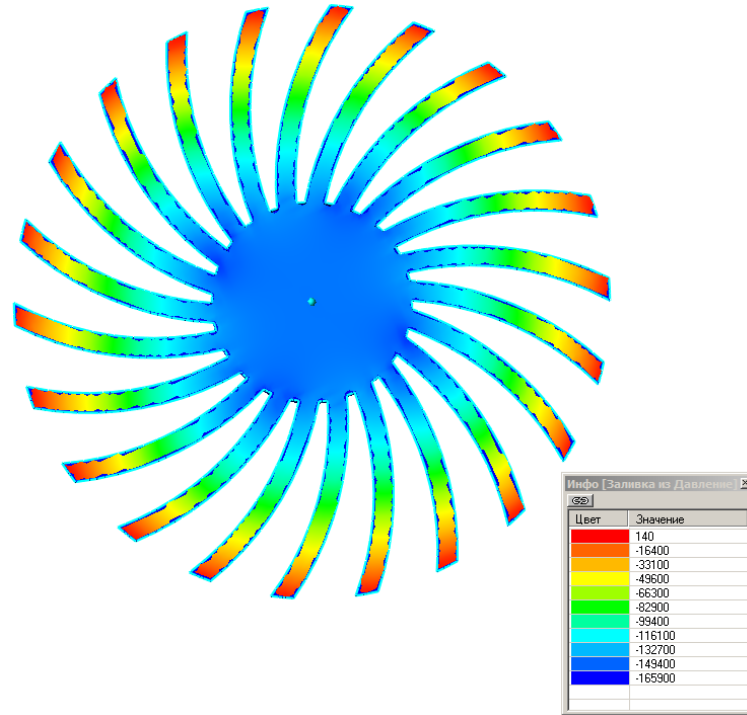


Рис.3.11 Візуалізація розподілу тиску рідини в розпилювальному диску

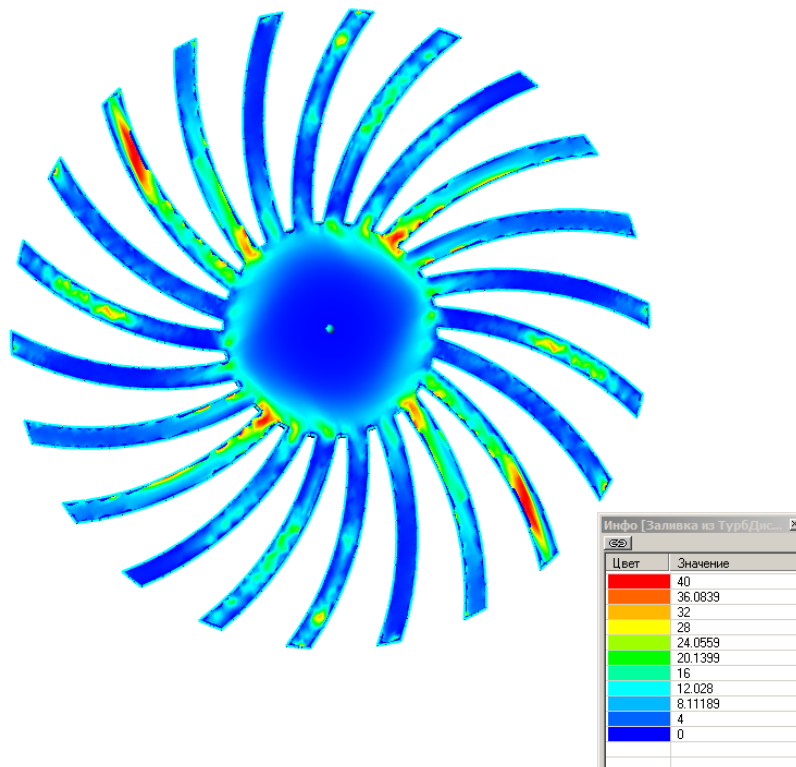


Рис. 3.12. Завихрення (дисипація – внутрішнє тертя)

За результатами (рис.3.4 - 3.12.) отриманими при зміні густини, динамічної в'язкості та частоти обертання розпилювального диску встановлено, що із збільшенням частоти обертання зменшується наявність зон які потребують додаткової енергії для проходження рідини.

За допомогою моделювання руху рідини в напірному диску запропоновано конструкцію розпилювального диску, який дозволяє проводити процес сушіння молока з різним вмістом сухих речовин від 8,7 до 55 %.

## 4. Розрахунок розпилювальної сушарки

### 4.1.Продуктивний розрахунок

Вихідні дані для розрахунку[11-13]:

жирність молока, що приймається на заводі і становить – 3,4%; розрахункова кількість змін роботи на ділянці за добу – 1 зміна; розрахункова кількість змін роботи на ділянці за рік – 229 змін; потужність ділянки по виробництву СЗМ за зміну складає – 5,25 т.

Назва продукту	Вміст, %		
	Жиру	СЗМЗ	Вологи
Молоко коров'яче незбиране	3,4	8,77	87,83
Знежирене молоко	0,05	8,74	91,21
Сухе молко	–	95	5
Вершки	35	6,12	58,88

На вироблення сухого знежиреного молока надходить молоко з вмістом СЗМЗ – 8,74%, жиру – 0,05%.

Згідно нормам витрат сировини на виготовлення однієї тони сухого знежиреного молока витрачається 12,4 тони знежиреного молока.

Необхідна кількість знежиреного молока для отримання 5,25т сухого молока в зміну:

$$K_{з.м.} = 12,4 \cdot 5,25 = 65,1 \text{ т}$$

Вихід знежиреного молока:

$$B_3 = \frac{100(J_г - J_м)}{(J_г - J_з)}, \%$$

Тоді:

$$B_3 = \frac{100(35 - 3,4)}{(35 - 0,05)} = 90,41\%$$

Кількість молока направлено на сепарування:

$$K_{M,сен} = \frac{100 \cdot K_{з.м.}}{B_0}$$

Тоді:

$$K_{M,сен} = \frac{100 \cdot 65,1}{90,41} = 72m / зм$$

#### ***4.2. Технологічний розрахунок***

Приймаємо параметри сушильного процесу:

$\omega_1 = 55\%$  - вологість згущеного молока;

$W_1 = 1000$  кг/год - кількість видаленої води;

$t_1 = 190^\circ\text{C}$  - температура повітря при вході в сушильну камеру;

$t_2 = 90^\circ\text{C}$  - температура повітря при виході з сушилки;

$t_0 = 20^\circ\text{C}$  - температура повітря в приміщенні;

$\omega_2 = 5\%$  - кінцева вологість молока.

Знаходимо масу молока, яка надходить на сушку:

$$m = \frac{W}{1 - \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}}, \text{кг} / \text{год}$$

Тоді:

$$m = \frac{1000}{1 - \frac{100 - 55}{100 - 5}} = 1900 \text{кг} / \text{год}$$

Знаючи продуктивність сушильної установки по сирому молоці та вологості  $\omega_1$  і  $\omega_2$ , знаходимо продуктивність сушильної установки по висушеному матеріалу:

$$G = m \cdot \left( \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \right) = 1900 \cdot \left( \frac{100 - 55}{100 - 5} \right) = 900 \text{ кг/год}$$

Кількість видаленої вологи при цьому буде:

$$W_2 = m - G = 1900 - 900 = 1000 \text{ кг/год}$$

З урахуванням ККД установки який може бути в межах 80 – 85%, приймаємо ККД – 84%, перераховуємо продуктивність установки з урахуванням ККД:

$$G_{\text{прод}} = G \cdot 0,83 = 900 \cdot 0,83 = 750 \text{ кг/год}$$

Знаходимо діаметр сушильної камери:

$$D = 1,05 \cdot \sqrt[3]{\frac{W_1}{q}}$$

де:  $W_1$  - годинна продуктивність по випареній волозі;

$q$  - допустима напруга об'єму камери,  $q = 4.5$ .

Тоді:

$$D = 1.05 \cdot \sqrt{\frac{1000}{4.5}} = 6.36 \text{ м}$$

Приймаємо висоту камери:

$$H = 1.2 \cdot D = 1.2 \cdot 6.36 = 7.6 \text{ м}$$

Знаходимо об'єм сушильної камери з рівняння:

$$V_k = \frac{W}{A}$$

де:  $A = 5 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot \text{г}$  - величина, яка залежить від властивостей матеріалу, температурного режиму сушіння і конструктивних особливостей сушарки.

Тоді:

$$V_k = \frac{900}{5} = 180 \text{ м}^3$$

Об'єм конічної частини камери буде дорівнювати:

$$V_{\text{кон}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot H_{\text{кон}} (R_k^2 + r_{\text{кон}}^2 + R_k \cdot r_{\text{кон}})$$

Вибираємо висоту конуса сушильної камери:  $H_{\text{кон}} = 6 \text{ м}$ .

де:  $R_k$  - радіус камери, м;

$r_{\text{кон}}$  - найменший радіус конуса, м;

$H_{\text{кон}}$  - висота конуса, м.

Тоді:

$$V_{\text{кон}} = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 6 (3^2 + 0,5^2 + 3 \cdot 0,5) = 67,51 \text{ м}^3$$

Об'єм циліндричної частини сушильної камери знаходимо за наступним рівнянням:

$$V_{\text{ц}} = V_k - V_{\text{кон}} = 180 - 67,51 = 112,5 \text{ м}^3,$$

а висота її буде:

$$H_u = \frac{V_u}{\frac{\pi \cdot D_k^2}{4}} = \frac{112.5}{\frac{3.14}{4} \cdot 6^2} = 4,5 \text{ м}$$

### 4.3. Розрахунок розпилювального диску

При розрахунку запропонованого розпилювача, будемо притримуватись вихідними характеристиками старого розпилювального диску, а саме швидкістю вильоту краплі з диску  $\omega_n = 150$  м/с, діаметром краплі  $d < 50$  мкм, та дальністю польоту краплі, що обмежується радіусом камери 3 м. Швидкість обертання диску з 12000 об/хв.

Діаметр розпилювача знаходимо за формулою:

$$D = \frac{\omega}{\pi \cdot n}$$

де:  $n$  – кількість обертів диску об/хв.

Тоді:

$$D = \frac{60 \cdot 150}{3.14 \cdot 12000} \approx 0.25 \text{ м} = 250 \text{ мм.}$$

Існує ряд формул, що дозволяють знайти діаметр або радіус факела розпилу, одним з яких є вираз:

$$R_\phi = \frac{21.7 \cdot d \cdot \rho_m^{cp}}{C \rho_n} \cdot 1g \frac{\omega_n}{\omega_k}$$

де:  $\omega_n$  - початкова швидкість польоту каплі м/с,  $\omega_n = 150$  м/с;

$\omega_k$  - кінцева швидкість падіння каплі;  $\omega_k = 0,5$  м/с;

$\rho_m^{cp}$  - середня густина розпилюємого молока, кг /м<sup>3</sup>

$$\rho_m^{cp} = \frac{\rho_m^g + \rho_m^k}{2};$$

$\rho_m^n$ ,  $\rho_m^k$  - густина молока на початку та в кінці процесу, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_m^n = 1080 \text{ кг/м}^3, \rho_m^k = 800 \text{ кг/м}^3.$$

Тоді:

$$\rho_m^{cp} = \frac{1080 + 800}{2} = 940 \text{ кг/м}^3$$

C - коефіцієнт; C = 1,3;

$\rho_n$  - густина повітря;  $\rho_n = 1,27 \text{ кг/м}^3$ ;

$\omega$  - початкова швидкість польоту краплі;  $\omega = 150 \text{ м/с}$ .

d - діаметр краплі, м;

Діаметр краплі при дисковому розпиленні знаходять за формулою:

$$d = \frac{98.5}{n} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l \cdot R_d \cdot g}}$$

де:  $\sigma$  - поверхневий натяг, Н/м;

$R_d$  - радіус диска;

Тоді:

$$d = \frac{98.5}{12000} \cdot \sqrt{\frac{0.042}{1080 \cdot 0.125 \cdot 9.81}} = 0.000046 = 46$$

Якщо врахувати діаметр краплі 46 мкм, тоді довжина польоту краплі буде:

$$R_{\phi} = \frac{21.7 \cdot 46 \cdot 10^{-6} \cdot 940}{1,3 \cdot 1,27} \cdot \lg \frac{150}{0,5} = 1,4 \text{ м}$$

Бачимо, що середня відстань польоту краплі менше радіусу камери 3м.

Діаметр каналу сопел знаходимо за формулою:

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{m}{i \cdot \rho_m \cdot \omega}};$$

де  $i$  - кількість сопел;  $i=6$ ;

Тоді:

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{1900}{6 \cdot 1080 \cdot 150 \cdot 3600}} = 0.014 \text{ м} = 14 \text{ мм};$$

Для збільшення продуктивності необхідно лише змінити конструкцію розпилювального диску. А саме, я пропоную замінити розпилювальний диск на диск з 22 пазами конфігурацією євольвент.

Тоді діаметр каналу сопел знаходимо за формулою:

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{m}{i \cdot \rho_m \cdot \omega}};$$

звідки:

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{2090}{22 \cdot 1080 \cdot 150 \cdot 3600}} = 0.012 \text{ м} = 12 \text{ мм};$$

#### 4.4. Розрахунок приводу розпилювача

Знаходимо потрібну потужність на валу розпилювача:

$$N = \frac{(\kappa_0 \cdot D^2 \cdot \omega + 0.37 \cdot m) 10^{-4} \cdot \omega}{\eta_m};$$

де  $\kappa_0$  - дослідний коефіцієнт, рівний 35-55;

$D$  - діаметр диску, м;

$\omega$  - колова швидкість диску, м/с;

$\eta_m$  - механічний ККД.

Тоді:

$$N = \frac{(35 \cdot 0,25^2 \cdot 150 + 0.37 \cdot 2090) 10^{-4} \cdot 150}{0,83} = 19,9 \text{ кВт};$$

Потужність затрачену на опір сопел знаходимо з дослідних даних проведених МТІХП, при швидкості обертання 12000 об/хв та довжиною сопла 0,075 м, потужність на одне сопло становить 100 Вт, знайдемо повну потужність:

$$N_p = N + 8 \cdot N_{\text{сопла}} = 19,9 + 8 \cdot 0,1 = 20,7 \text{ кВт}$$

Знаходимо крутний момент на валу розпилювача:

$$T_p = 9550 \frac{N_p}{n_p} = 9550 \frac{20,7}{12000} = 16,47 \text{ Нм}$$

Знаходимо потужність на валу електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_p}{\eta_1 \cdot \eta_2}$$

де:  $\eta_1 = 0,99$  – ККД пари підшипників;

$\eta_2=0,96$  – ККД пасової передачі;

Тоді:

$$N_{\dot{a}\dot{a}} = \frac{20.7}{0.99 \cdot 0.96} = 21.78 \text{ кВт}$$

Знаходимо крутний момент на валу електродвигуна:

$$T_{\dot{\sigma}} = 9550 \frac{N_{\dot{\sigma}}}{n_{\dot{\sigma}}} = 9550 \frac{22}{2945} = 74.33 \text{ Нм}$$

Вибираємо електродвигун 4А 180S2У3; потужністю  $N_{\text{дв}}=22$  кВт, частотою обертання  $n_{\dot{\sigma}}=2945$  об/хв, ККД двигуна  $\eta=88,5\%$ .

#### 4.5. Розрахунок плоскопасової передачі розпилювача

Вихідні дані для розрахунку:

потужність, яку передає передача  $N_1=22$  кВт; кутова швидкість ведучого шківів  $\omega_1=308$  рад/с; кутова швидкість веденого шківів  $\omega_2=1256$  рад/с; передача працює одну зміну при незначних коливаннях навантаження.

Для даної передачі беремо плоский гумотканинний пас із бельтінга 820 за ГОСТ 23831-79 з числом прокладок  $i_{\text{п}}=5$ , завтовшки  $\delta=7,5$  мм (табл.21.4) [13].

Передаточне число передачі  $i = \omega_2 / \omega_1 = 1256 / 308 = 4,07$

Визначимо діаметр більшого ведучого шківів:

$$d_1 = (520 \dots 610) \cdot \sqrt[3]{\frac{N_1}{\omega_1}} = (520 \dots 610) \cdot \sqrt[3]{\frac{22}{308}} = (216 \dots 253) \text{ мм}$$

Згідно зі стандартом беремо  $d_1 = 250$  мм.

Відношення  $d_1/\delta = 250/7,5 = 33,3$ , що відповідає рекомендаціям 21.5 [13].

Визначимо швидкість паса:

$$v = \omega_1 \cdot d_1 / 2 = 308 \cdot 250 / 2 = 38500 \text{ мм/с} = 38,5 \text{ м/с},$$

що допускається для гумотканинних плоских пасів.

Визначимо діаметр веденого шківів:

$$d_2 = d_1 / i = 250 / 4,07 = 61,4 \text{ мм.}$$

За стандартом  $d_2 = 63$  мм.

Фактичне передаточне число передачі

$$I = d_1 / d_2 = 250 / 63 = 3,97.$$

Визначаємо міжосьову відстань передачі:

$$a = 2 (d_1 + d_2) = 2 (250 + 63) = 626 \text{ мм.}$$

Кут обхвату більшого шківів:

$$\alpha_1 = 180 + 57 (d_1 - d_2)/a = 180 + 57 (250 - 63)/626 = 197^\circ.$$

Кут обхвату меншого шківів:

$$\alpha_2 = 180 - 57(d_1 - d_2)/a = 180 - 57(250 - 63)/626 = 163^\circ.$$

Розрахункова довжина паса:

$$l = 2a + \pi(d_1 + d_2)/2 + (d_1 - d_2)^2/4a = 2 \cdot 626 + 3,14 (250 + 63)/2 + (250 - 63)^2/(4 \cdot 626) = 1758 \text{ мм.}$$

Розрахункове корисне навантаження, яке передає передача.

$$F_t = N_1 / v = 22000 / 38.5 = 571.5 \text{ Н}$$

Для розрахунку вибраного паса на тягову здатність за табл. 21.4[13] беремо оптимальне питоме корисне навантаження, що може передаватись одиницею ширини паса,  $i_{\text{н}f_{to}} = 14 \text{ Н/мм}$  при питомій силі попереднього натягу віток паса, яка припадає на одиницю товщини однієї прокладки,  $f_o = 2,25 \text{ Н/мм}$ .

Допустиме питоме корисне навантаження:

$$[i_{\text{н}f_{to}}] = i_{\text{н}f_{to}} \cdot C_\gamma \cdot C_\alpha \cdot C_\nu \cdot C_p = 14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.949 \cdot 0.4471 \cdot 1 = 5,94 \text{ Н/мм.}$$

Тут вибрані такі значення розрахункових коефіцієнтів:

$$C_\gamma = 1; C_\alpha = 1 - 0.003(180 - \alpha_2) = 1 - 0.003(180 - 163) = 0.949; C_\nu = 1.04 - 0.0004 \cdot 38.5^2 = 0.4471; C_p = 1.$$

Потрібна ширина паса:

$$b = F_t / [i_{\text{н}f_{to}}] = 571.5 / 5,94 = 96.21 \text{ мм.}$$

Вибираємо стандартну ширину паса  $b = 100 \text{ мм}$  (див. табл. 21.4) [13].

Площа поперечного перерізу паса:

$$A = b \cdot \delta = 100 \cdot 7,5 = 750 \text{ мм}^2.$$

Потрібна сила попереднього натягу віток паса:

$$F_o = f_o \cdot i_n \cdot b = 2.25 \cdot 5 \cdot 100 = 1125 \text{ Н.}$$

Визначаємо навантаження на вали пасової передачі:

$$R = 2F_o \cdot \sin(\alpha_1/2) = 2 \cdot 1125 \cdot \sin(163/2) = 2225.3 \text{ Н.}$$

Для визначення строку служби паса визначимо складові максимального напруження, яке виникає у пасі під час роботи передачі:

напруження попереднього натягу

$$\sigma_o = F_o/A = 1125/750 = 1,5 \text{ МПа};$$

напруження від корисного навантаження

$$\sigma_t = F_t/A = 571.5/750 = 0,762 \text{ МПа};$$

напруження від дії відцентрової сили

$$\sigma_v = 10^{-6} \cdot \rho \cdot v^2 = 10^{-6} \cdot 1,15 \cdot 10^3 \cdot 38.5^2 = 1.704 \text{ МПа};$$

напруження згину у пасі

$$\sigma_{зг} = E \cdot \delta/d_2 = 200 \cdot 63 = 23.8 \text{ МПа.}$$

Значення  $\rho = 1,15 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  та  $E = 200 \text{ МПа}$  вибрані з табл. 21.3. [13].

Визначаємо максимальне напруження у пасі

$$\sigma_{\max} = \sigma_o + 0.5 \cdot \sigma_t + \sigma_v + \sigma_{зг} = 1.5 + 0.5 \cdot 0.762 + 1.704 + 23.8 = 27,385 \text{ МПа.}$$

При обмеженій границі витривалості  $\sigma_N = 7 \text{ МПа}$ , показнику степеня кривої втоми  $m = 6$  (табл. 21.3) [13], числі шківів  $n = 2$  та  $v = 0,5$  визначаємо строк служби паса:

$$h = 10^7 (\sigma_N / \sigma_{\max})^m / (3600 v \cdot n \cdot v) = 10^7 \cdot (7/27.385)^6 / (3600 \cdot 21.89 \cdot 2 \cdot 0.5) = 1274.3$$

ГОД.

#### 4.6. Розрахунок вала розпилювача

Вихідні дані для розрахунку:

потужність двигуна  $N_{\text{дв}} = 22$  кВт; частота обертання диску (вихідного вала)  
 $n = 12000$  об/хв; діаметр ведучого шківa  $d_1 = 0,250$  м; діаметр веденого шківa  
 $d_2 = 0,063$  м; міжосьова відстань передачі  $a = 0,626$  м.

Визначаємо значення крутних моментів в кожній точці вала, для цього визначаємо втрату потужності, яка передається на вал:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2;$$

де  $\eta_1 = 0,99$  – ККД пари підшипників;

$\eta_2 = 0,96$  – ККД пасової передачі.

Тоді загальний ККД дорівнює:

$$\eta = 0,99 \cdot 0,96 = 0,9504;$$

Потужність, яку передає диск:

$$N_p = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 20,9 \text{ кВт};$$

Крутний момент, який передається від двигуна до валу дорівнює:

$$T = \frac{N_p \cdot 9550}{n} = \frac{20,9 \cdot 9550}{12000} = 16,63 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Будуємо епюру крутних моментів.

Для побудови епюру, визначаємо сили, які діють на вал розпилювального диску:

радіальну силу (сила попереднього натягу віток паса), визначаємо за формулою, див. раніше:

$$F_r = f_o \cdot i_n \cdot b = 2.25 \cdot 5 \cdot 100 = 1125 \text{ Н};$$

колова сила (навантаження на вал пасової передачі):

$$F_t = 2F_r \cdot \sin(\alpha_2/2) = 2 \cdot 1125 \cdot \sin(163/2) = 2225,3 \text{ Н};$$

де  $F_r$  – сила натягу паса, Н;

$\alpha_2$  – кут обхвату на більшому шківу, визначаємо його по формулі:

$$\alpha_2 = 180^\circ - 57^\circ \cdot \frac{d_2 - d_1}{a}$$

Тоді:

$$\alpha_2 = 180^\circ - 57^\circ \cdot \frac{0,250 - 0,063}{0,626} = 163^\circ$$

Визначаємо реакції опор (рис.5.1).

для визначення реакцій в опорах складають рівняння рівноваги: сума моментів сил відносно опорних шарнірів а і в дорівнює нулю, звідси знаходимо реакції  $R_A$  і  $R_B$ . для контролю у визначенні реакцій використовуємо умову, що сума проєкцій всіх сил на вертикальну вісь дорівнює нулю. для вертикальної площини маємо:

$$\Sigma M_A = 0; \Sigma M_A = -F_t a - R_B b = 0;$$

*ЗВІДСИ*

$$R_B = \frac{-F_t a}{b} = \frac{-2225,3 \cdot 0,125}{0,6} = -463,6 \text{ Н};$$

$$\Sigma M_B = 0; \Sigma M_B = -F_t(a + b) + R_A b = 0;$$

*ЗВІДСИ*

$$R_A = \frac{F_t(a + b)}{b} = \frac{2225,3 \cdot (0,125 + 0,6)}{0,6} = 2688,9 \text{ Н};$$

знайдемо реакції в опорах у горизонтальній площині:

$$\Sigma M_A = 0; \Sigma M_A = -F_r a - R_B b = 0;$$

звідси

$$R_B = \frac{-F_r a}{b} = \frac{-1125 \cdot 0,125}{0,6} = -234,3H;$$

$$\Sigma M_B = 0; \Sigma M_B = -F_r (a + b) + R_A b = 0;$$

звідси

$$R_B = \frac{F_r (a + b)}{b} = \frac{1125 \cdot (0,125 + 0,6)}{0,6} = 1359,3H;$$

визначаємо сумарний момент згину:

$$1) M_{\text{сум}} = \sqrt{(M_{3z}^e)^2 + (M_{3z}^z)^2} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0H \cdot m;$$

$$2) M_{\text{сум}} = \sqrt{(M_{3z}^e)^2 + (M_{3z}^z)^2} = \sqrt{278,16^2 + 140,6^2} = 311,67H \cdot m;$$

$$3) M_{\text{сум}} = \sqrt{(M_{3z}^e)^2 + (M_{3z}^z)^2} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0H \cdot m;$$

визначаємо еквівалентні моменти в характерних перерізах вала за вибраною теорією міцності і будуємо їх епюри:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{M_{\text{сум}}^2 + (\alpha T_{кр})^2}$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує різницю в характеристиках циклів напруг згину і кручення,

$$\text{для нереверсивної передачі } \alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_0]} = \frac{90}{150} = 0,6;$$

де  $[\sigma_{-1}] = 90$  мпа – допустима знакозмінна напруга для вала (табл.5.3 [9]);

$[\sigma_0] = 150$  мпа – допустима пульсуюча від нуля напруга для вала (табл.5.3

[9]);

тоді:

$$1) M_{\text{екв}} = \sqrt{0^2 + (0,6 \cdot 16,63)^2} = 10H \cdot m;$$

$$2) M_{\text{екв}} = \sqrt{311,67^2 + (0,6 \cdot 16,63)^2} = 311,82H \cdot m;$$

$$3)M_{екв} = \sqrt{0^2 + (0,6 \cdot 16,63)^2} = 10H \cdot м;$$

визначаємо діаметр вала у небезпечному перерізі:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{0,1[\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{311,82}{0,1 \cdot 90 \cdot 10^6}} = 0,0326 м = 32,6 мм;$$

із конструктивних мислень приймаємо діаметр вала 35мм.

марка сталі вала 12хнза.

#### 4.6.1. Розрахунок і вибір підшипників

Вихідні дані для розрахунку[12-13]:

радіальні навантаження на опори вала  $R_A=3013Н$ ;  $R_B=519,5Н$ ; осьове навантаження вала  $F_a=200Н$ ; діаметр вала  $d_n=35мм$ . Додаткові відомості та умови роботи підшипників: кутова швидкість вала  $\omega =1256$  рад/с; потрібна довговічність підшипників  $L_h=10000$  год при 90% надійності; робоча температура підшипників до 200°C.

Найнавантаженішою опорою є опора А, оскільки вона навантажена найбільшою радіальною силою  $R_A$  і сприймає осьову силу  $F_a$ . Якщо  $F_a/R_A=200/3013=0,066<0,35$ , то для опор вала доцільно застосовувати кулькові радіально-упорні підшипники. Будемо орієнтуватись на підшипники легкої серії 36207, для яких із довідника [9] маємо: базова статична вантажність  $C_o=18100Н$ ; базова динамічна вантажність  $C_r=24000Н$ .

Визначення розрахункового еквівалентного навантаження на підшипник:

для типового режиму навантаження Л (легкого) коефіцієнт інтенсивності  $K_E=0,40$ ; згідно з умовами роботи підшипників беремо:  $V=1$  – обертається внутрішнє кільце підшипника;  $K_\sigma=1,5$  – коефіцієнт безпеки при короткочасних

перевантаженнях до 150%;  $K_T=1,2$  – температурний коефіцієнт при робочій температурі підшипників до 200°C.

У даному випадку  $R_r=R_A=3013\text{Н}$ , а для кулькових радіально-упорних підшипників  $R_a=F_a=200\text{Н}$ . Тому для визначення коефіцієнтів  $X$  і  $Y$  знаходимо відношення  $R_a/C_o=200/18100=0,011$  і за табл.32.2 [13] беремо параметр осьового навантаження  $e=0,29$ .

Оскільки відношення  $R_a/V \cdot R_r=200/1 \cdot 3013=0,066 < e=0,29$ , за табл.32.2 [13]  $X=1$ , а  $Y=0$ .

Тоді, розрахункове еквівалентне навантаження на підшипник буде:

$$R=(X \cdot V \cdot R_r+Y \cdot R_a) \cdot K_T K_\sigma=(1 \cdot 1 \cdot 3013+0) \cdot 1,5 \cdot 1,1=4971,45\text{Н};$$

З урахуванням режиму навантаження протягом строку служби:

$$R_E=K_E R=0,40 \cdot 4971,45=1988,6\text{Н}.$$

Розрахункова довговічність:

для 90%-ї надійності коефіцієнт  $a_1=1$ , а для звичайних умов експлуатації серійних кулькових радіально-упорних підшипників коефіцієнт  $a_{23}=0,8$ ;

тоді:

$$L=a_1 a_{23}(C_r/R_E)^p=1 \cdot 0,8 \cdot (24000/1988,6)^3=1406,31\text{млн. об};$$

де  $p=3$  – показник степеня для кулькових підшипників.

Визначаємо розрахункову довговічність підшипника:

$$L_h=1745 \cdot L/\omega=1745 \cdot 1406,31/1256=19538 \text{ год}.$$

Отже, попередньо вибраний підшипник 36207 по ГОСТ 831-62 для опори А вала має довговічність більшу від заданої потрібної. Для опори В вала беремо такий самий підшипник.

#### 4.6.2.Перевірочний розрахунок шпонки

Вихідні дані для розрахунку:

номінальний крутний момент, що передає з'єднання,  $T=16,63$  Н·м; діаметр вала, на якому встановлений шків,  $d=35$ мм; довжина ступиці колеса 120 мм.

За діаметром вала  $d=35$ мм згідно зі стандартом вибираємо такі розміри з'єднання (табл. 12.1 [13]): ширина шпонки  $b=10$ мм; висота  $h=8$ мм; довжина  $l=100$ мм; глибина паза на валу  $t_1=5$ мм і у маточині колеса  $t_2=3,3$ мм.

Перевіримо з'єднання на зминання за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2T}{d \cdot l \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 16,63 \cdot 10^3}{35 \cdot 100 \cdot (8 - 5)} = 3,16 \text{ МПа} \ll [\sigma_{зм}] = 80 \text{ МПа};$$

Перевіримо з'єднання на зріз за формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{2T}{d \cdot l \cdot b} = \frac{2 \cdot 16,63 \cdot 10^3}{35 \cdot 100 \cdot 10} = 1,9 \text{ МПа} \ll [\tau_{зр}] = 80 \text{ МПа};$$

Отже, задане з'єднання можна здійснити призматичною шпонкою  $10 \times 8 \times 100$  із сталі 45х ГОСТ 23360 – 78.

#### 4.7.Тепловий розрахунок сушарки

Вихідні дані для розрахунку:

продуктивність сушильної установки по випареній волозі кг/год - 1100;  
температура повітря в цеху °С – 20; температура гарячого повітря, що поступає в сушильну камеру °С - 190; температура гарячого повітря, що виходить з

сушильної камери °С - 90; початкова вологість знежиреного молока % -55; кінцева вологість сухого знежиреного молока % - 5.

Кількість теплоти, затраченої на сушіння знаходимо по кількості теплоти  $Q$ , необхідної для нагрівання повітря в калорифері:

$$Q = G_{II}(I_1 - I_0)$$

де  $I_0, I_1$  - ентальпія повітря калорифера на вході і на виході з нього, кДж/кг;

$G_{II}$  - кількість повітря для висушування, кг;

Кількість повітря знаходимо за формулою:

$$G_{II} = \frac{1000 \cdot W}{(d_2 - d_0)}$$

де  $W$  - кількість випареної вологи в сушильній камері;

$d_2, d_1$  - вологість повітря, що виходить з сушильної камери і що входить в неї, г вологи на 1кг сухого повітря.

Для знаходження ентальпії і вологовмісту повітря необхідно побудувати процес сушки в  $I - d$  діаграмі (рис.5.2), для цього спочатку знаходимо два основних параметра повітря, яке забирається для сушки.

По температурі та відносній вологості повітря знаходимо точку, що характеризує основні параметри повітря перед забором його в калорифер сушильної установки. При температурі повітря 20°С і відносній вологості  $\varphi=70\%$ , на перетині цих двох ліній отримуємо точку А, по якій знаходимо вологовміст  $d_0=10$  г/кг сухого повітря і ентальпію  $I_0=45$  кДж/кг. Далі повітря поступає в калорифер, де нагрівається при постійному вологовмісті до 190°С. В результаті перетину лінії  $d_0=10$  г/кг сухого повітря з ізотермою  $t=190$ °С отримуємо точку В, що характеризує параметри повітря на виході з калорифера і вході в сушильну камеру ( $d_1=10$  г/кг сухого повітря,  $I_1=220$  кДж/кг сухого повітря).

При теоретичному процесі сушки повітря, що поступає в сушильну камеру, віддає тепло на випаровування вологи з матеріалу і сприймає його назад разом з випареною вологою, тому в процесі сушки ентальпія повітря залишається незмінною. Знаючи кінцеву температуру повітря, що виходить з сушильної камери, можна отримати на перетині лінії  $I=220$  кДж/кг сухого повітря і лінії  $t_2=90^\circ\text{C}$  точку С, що характеризує параметри повітря на виході з сушки ( $d_2=49$  г/кг сухого повітря,  $I_2=220$  кДж/кг).

Таким чином, отримані основні дані для знаходження теоретичної витрати повітря і теплоти на нагрівання повітря. Але процес сушки супроводжується втратами теплоти, з урахуванням яких визначають дійсне положення точки С на  $I - d$  діаграмі (рис.5.2). Цю точку можна знайти, відкладаючи на діаграмі втрати теплоти, розраховані аналітично. Розрахунок втрат показує, що дійсні витрати тепла на 15 – 20% більші від теоретичного.

Кількість повітря для сушіння:

$$G_{\text{п}} = \frac{1000 \cdot 1100}{(49 - 10)} = 28200 \text{ кг}$$

Кількість теплоти, затраченої на сушіння:

$$Q = 28200 \cdot (220 - 45) = 4,9 \cdot 10^6 \text{ кДж}$$

Витрати пари  $D$  на нагрівання повітря розраховуємо за формулою:

$$D = \frac{Q}{[(i_n - i_k) \cdot \eta]}$$

де  $i_n, i_k$  - ентальпія гріючої пари і конденсата, кДж/кг;

$\eta = 0,95$  - ККД калорифера;

За температурою конденсату  $t_k = 146^\circ\text{C}$  і його теплоємністю  $c = 4,2$  кДж/кг

знаходимо ентальпію конденсату:

$$i_{\text{кон}} = 146 \cdot 4,2 = 613,2 \text{ кДж / кг};$$

За температурою гріючої пари  $t_{\text{г.п.}} = 247^\circ\text{C}$  і її теплоємністю  $c=5,5 \text{ кДж/кг}$  знаходимо ентальпію гріючої пари:

$$i_{\text{г.п.}} = 247 \cdot 5,5 = 1358,5 \text{ кДж / кг};$$

тоді витрати пари:

$$D = \frac{4,9 \cdot 10^6}{[(1358,5 - 613,2) \cdot 0,95]} = 1920,5 \text{ кг / год};$$

Термічний коефіцієнт розпилювальної сушильної установки знаходимо за формулою:

$$\tau = \frac{(t_{\text{вих.к.}} - t_{\text{вих.с.б.}})}{(t_{\text{вих.к.}} - t_{\text{вх.к.}})}$$

де  $t_{\text{вих.к.}}$ ,  $t_{\text{вх.к.}}$ ,  $t_{\text{вих.с.б.}}$  - відповідно температура повітря, що виходить з калорифера; що входить у калорифер, а також температура повітря, яка виходить з сушильної башти,  $^\circ\text{C}$

$$\tau = \frac{(190 - 90)}{(190 - 20)} = 0,588$$

Важливими показниками процесу сушіння є кількість вологи, що видаляється з продукту  $B_{\text{вид.}}$  і розраховується за формулою:

$$B_{\text{вид.}} = B_1 - B_p$$

де  $B_1$  – початкова вологість згущеного молока %,  $B_1=55\%$ ,

$B_p$  - рівноважна вологість сухого молока

$$\lg B_p = 0,01445 \cdot \varphi_n + \lg(1,423 + 0,00543 \cdot t)$$

де  $\varphi_n$  - відносна вологість повітря, %;

t - температура повітря, °С;

$$\lg B_p = 0,01445 \cdot 70 + \lg(1,423 + 0,00543 \cdot 20) = 1,2$$

Тоді:

$$B_{\text{внд}} = 55 - 1,2 = 53,8\%$$

#### ***4.8.Перевірочний розрахунок нагнітаючого вентилятора***

Вихідні дані для розрахунку:

витрата повітря  $G_{\text{п}}=28200/1,27=22200\text{м}^3/\text{год}$ ; тиск –  $2,5\text{кПа}=230\text{кг}/\text{м}^2$ ;  
встановлено вентилятори відцентрового типу Ц 7-40 №6.

Знаючи повний тиск, що розвивається вентилятором, знайдемо динамічний та статистичний тиск.

Величина динамічного тиску – приймаємо 15-40% від повного:

$$P_{\text{дин}} = \frac{250 \cdot 15}{100} = 37,5 \text{ кг} / \text{м}^2;$$

Величина статистичного тиску буде дорівнювати:

$$P_{\text{ст}} = 250 - 37,5 = 212,5 \text{ кг} / \text{м}^2;$$

Знаходимо швидкість повітря в нагнітаючому вентиляторі:

$$C = \sqrt{\frac{2g \cdot P_{\text{дин}}}{\gamma}};$$

де  $\gamma = 1,27 \text{ кг}/\text{м}^3$  – питома вага  $1\text{м}^3$  повітря при температурі  $20^\circ\text{С}$ .

Тоді:

$$C = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 37,5}{1,27}} = 24 \text{ м/с};$$

Знайдемо переріз вихідного штуцера:

$$F = \frac{G_n}{C} = \frac{22200}{3600 \cdot 24} = 0,25 \text{ м}^2;$$

Колова швидкість ротора, необхідна для створення тиску  $250 \text{ кг/м}^2$ , знаходиться за формулою:

$$P = \varphi \frac{g_p^2}{g} \gamma$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, що залежить від форми лопастей; у вентиляторів Ц 7-40 лопасті радіальні, тому  $\varphi = 0,7-0,9$ , тоді швидкість буде дорівнювати:

$$g_2 = \sqrt{\frac{gP}{\varphi\gamma}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 250}{0,7 \cdot 1,27}} = 52,5 \text{ м/с};$$

Знаходимо частоту обертання ротора і його діаметр, використовуючи співвідношення, так як:

$$g_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} = 52,5 \text{ м/с}, \text{ то}$$

$$D_2 n = 60 \cdot 52,5 / 3,14 = 1003,2; \quad D_2 = D_1 / m;$$

де  $D_2$  - зовнішній діаметр ротора, м;

$D_1$  - діаметр внутрішнього кола ротора, м;

$m$  - коефіцієнт, що залежить від величини тиску. Для вентиляторів середнього тиску  $m = 0,5-0,85$ .

Тоді:

$$D_2 n = \frac{D_1 n}{m}, \text{ звідки}$$

$$D_1 = A \sqrt[3]{\frac{G}{n}}, \text{ де } A=3,24 - 4$$

Вирішуємо систему рівнянь:

$$D_1 n = D_2 n \cdot m = 1003,2 \cdot 0,85 = 853$$

$$D_1 = 3,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{22200}{3600 \cdot n}}; \quad n = \frac{853}{D_1}; \Rightarrow n = 853 / m = 853 / 0,85 = 1003,5;$$

звідси маємо  $D_1 = 3,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{22200}{3600 \cdot 1003,5}} = 0,59 \text{ м}$

$$D_2 = \frac{D_1}{m} = \frac{0,59}{0,85} = 0,69 \text{ м};$$

Приймаємо  $D_2=600$ мм, що відповідає діаметру колеса вентилятора Ц 7-40.

Перерахуємо частоту  $n$  і діаметр  $D_1$ :

$$n = \frac{D_1 n}{D_1} = \frac{853}{0,51} = 1672,5 \text{ хв}^{-1}, \text{ де } D_1 = D_2 \cdot m = 0,6 \cdot 0,85 = 0,51 \text{ м};$$

Висота лопаті в зігнутому вигляді:

$$Z = \frac{D_2 - D_1}{2} = \frac{0,6 - 0,51}{2} = 0,045 \text{ м}.$$

Число лопастей:

$$n_1 = \frac{\pi \cdot D_2}{k} = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{0,15} = 7,5$$

Приймаємо 8 лопастей.

Характеристика відцентрового вентилятора Ц 7-40 №6:

$$G=22200 \text{ м}^3 / \text{год} \quad \eta = 0,55$$

$$H=250 \text{ кг} / \text{м}^2 \quad N = 14 \text{ кВт}$$

$$n=1860 \text{ хв}^{-1} \quad D_2 = 600 \text{ мм}$$

Для приводу даного вентилятора підходить двигун 4А160S4У3 потужністю  $N=15 \text{ кВт}$ ,  $n=1465 \text{ хв}^{-1}$ .

#### 4.9.Перевірочний розрахунок циклонів

Вихідні дані для розрахунку:

кількість повітря, що очищується –  $22200 \text{ м}^3 / \text{год}$ ; встановлено два циклона.

Оскільки циклонів встановлено два, то кількість очищувального повітря одним циклоном за одну годину роботи дорівнює  $22200/2=11100 \text{ м}^3 / \text{год}$ .

Необхідна площа перерізу циліндричної частини циклона:

$$F = \frac{G_n}{3600 \cdot \varpi_{opt}},$$

де  $\varpi_{opt}$  - оптимальна швидкість повітря в циклоні,  $\varpi_{opt} = 1,68 \text{ м} / \text{с}$ ;

Тоді:

$$F = \frac{11100}{3600 \cdot 1,68} = 1,8 \text{ м}^2;$$

Діаметр циклона знаходимо з формули:

$$F = \frac{\pi D^2}{4}; \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,8}{3,14}} = 1,52 \text{ м}$$

Найближчий стандартний діаметр циклона  $D=1,8\text{м}$ , тому ставимо два циклона  $d=1800\text{мм}$  по ГОСТ 2602-795-80.

#### ***4.10.Перевірочний розрахунок калорифера для підігрівання повітря, яке подається в сушильну камеру***

Вихідні дані для розрахунку:

кількість повітря, що подається в сушильну камеру,  $G_{\text{п}}=22200\text{м}^3/\text{год}$ ;  
початкова температура повітря  $t_n = 20^{\circ}\text{C}$ ; кінцева температура повітря  $t_k=190^{\circ}\text{C}$ ; теплоносій – пар з температурою  $t=247^{\circ}\text{C}$  і тиском  $P=1,1\text{МПа}$ ; витрата тепла на нагрівання повітря  $Q=4,9 \cdot 10^6\text{кДж}/\text{год}$ .

Знаходимо секундну витрату тепла на нагрівання повітря:

$$Q' = \frac{Q}{3600} = \frac{4,9 \cdot 10^6}{3600} = 1360\text{кДж}/\text{с}$$

Необхідний переріз в калорифері для проходження повітря:

$$f = \frac{G \cdot \rho_n}{V}$$

де  $V$  - вагова швидкість повітря  $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$ . Приймаємо за економічними міркуваннями в границях  $7-12 \text{кг}/\text{м}^2\text{с}$ , тоді:

$$f = \frac{22200 \cdot 1,27}{3600 \cdot 12} = 0,65\text{м}^2;$$

По отриманому живому перерізу вибираємо калорифер КФБ №11:

поверхня нагріву -  $69,6\text{м}^2$ ;

живий переріз повітря -  $0,7\text{м}^2$ ;

живий переріз по теплоносію -  $0,185\text{м}^2$ ;

кількість пластин - 2052;

кількість трубок - 72.

Знаючи дійсний живий переріз  $f_o$  калорифера, уточнюємо вагову швидкість повітря:

$$V = \frac{22200 \cdot 1,27}{3600 \cdot 0,7} = 11,18 \text{ кг} / \text{м}^2 \text{ с}$$

Знаходимо площу гріючої поверхні необхідну для нагрівання повітря від  $20$  до  $190^\circ\text{C}$ :

$$F' = \frac{Q'}{K(t_{cp.m} - t_{cp.n})},$$

де  $t_{cp.n}$  - середня температура повітря,  $^\circ\text{C}$

$$t_{cp.n} = \frac{t_n + t_k}{2} = \frac{20 + 190}{2} = 105^\circ \text{C},$$

$t_{cp.m} = 247^\circ\text{C}$  - середня температура теплоносія;

$K$  - коефіцієнт теплопередачі, для калорифера з теплоносієм - пар знаходимо за формулою:

$$K = 14,1(V)^{0,366} = 14,1 \cdot 11,18^{0,366} = 34,1 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К} = 0,0341 \text{ кВт} / \text{м}^2 \text{ К};$$

Тоді:

$$F' = \frac{1360}{0,0341 \cdot (247 - 105)} = 280,86 \text{ м}^2;$$

Так як необхідна гріюча поверхня більша гріючої поверхні калорифера КФБ №11, то необхідно встановити декілька таких калориферів послідовно.

Визначимо число калориферів, встановлених послідовно:

$$n = \frac{F'}{F} = \frac{280,86}{69,6} = 4,03$$

Приймаємо 5 калориферів.

Визначимо установчу поверхню:

$$F' = 5 \cdot 69,6 = 348 \text{ м}^2; \text{ запас } 24\%.$$

#### ***4.11. Розрахунок теплової ізоляції***

Теплова ізоляція – один із основних факторів зменшення втрат теплоти та економії палива. З точки зору охорони праці і ТБ термоізоляція слугує ефективним засобом для зниження температури в приміщеннях і застереження обслуговуючого персоналу від опіків.

Теплоізоляція – її товщина повинна бути такою, щоб температура на її поверхні була не більше 50°C.

Визначення товщини ізоляційного шару по гранично допустимих або по заданих теплових витратах для апаратів з діаметром більше 3м здійснюють за формулою:

$$\delta = \frac{\lambda \cdot (t_1 - t)}{q_n},$$

де  $t_1$  – температура під ізоляцією, переважно приймається рівною температурі теплоносія,  $t_1=190^\circ\text{C}$ ;

$t$  – температура на поверхні ізоляції,  $t=20^\circ\text{C}$ ;

$q_n$  – задані або гранично допустимі втрати з 1м<sup>2</sup> поверхні ізоляції,  $q_n = 162 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ , при  $t_1=190^\circ\text{C}$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати,  $\lambda = 0,095 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ .

Тоді:

$$\delta = \frac{0,095 \cdot (190 - 20)}{162} = 0,0996 \text{ м} = 99,6 \text{ мм}.$$

Приймаємо товщину ізоляційного шару 100мм.

## **5.Монтаж, технологічна експлуатація, технічне обслуговування та ремонт сушильної установки**

### ***5.1.Монтаж розпилувальної установки***

Для встановлення розпилувальної сушарки необхідно провести розмітку монтажних осей. Потім визначають положення контрольної точки вертикальної осі сушильної башти, до якої прив'язані колони фундаментів під стійки каркасу башти і циклонів[15,16].

Монтажні роботи, такелажні, зварювальні при встановленні сушарки проводять на різних відмітках висот. Монтаж розпилувача проводять монтажники високої кваліфікації, які мають відповідний допуск. Розпилувач обертається з частотою обертання розпилувального диску 12000...12200 об/хв тому необхідна особлива точність при його монтуванні. Монтаж і налагодження розпилувальної сушарки здійснюється під керівництвом шефперсоналу.

Відповідно розмітки споруджують стовпчастий фундамент під каркас сушильної башти та для встановлення циклонів. На колони встановлюють стійки каркасу башти, перевіряють їх на вертикальність, а потім монтують площадку обслуговування і сходи з перилами.

Циліндричну частину башти збирають із окремих заготовок, які подають на відмітку площадки автокраном. Стики листів з нержавіючої сталі у башті зварюють. Шви зачищають декількома шліфувальними кругами різної зернистості та полірують войлочним, а потім тряпчаним кругом. В останньому випадку на круг наносять пасту ГОИ. Для зварювання стиків циліндричної частини в башті споруджують спеціальні підмостки, які можуть переміщуватись у вертикальному напрямку за допомогою лебідки. Нижню конічну частину башти теж збирають із окремих елементів. В отвір, який зроблено в конічній частині вставляють коліно повітропроводу для відведення відпрацьованого повітря. На циліндричній частині башти монтують перекриття, яке збирають із 3-х секторів.

На перекритті циліндричної частини розміщують повітророзподільний пристрій у вигляді спіралі.

До окремої площадки, яка встановлена на стійках, приєднують батарею циклонів та розвантажувальний циклон, які з'єднують з баштою повітрепроводами. До нижнього торця конуса башти приєднують раму та встановлюють електромагнітний живильник (вібратор), а до нижньої конічної частини циклонів – шлюзові затвори, до яких приєднують повітрепровод. До підвідного всмоктуючого повітрепроводу приєднують повітряний фільтр і вихідний патрубок живильника.

Транспортний вентилятор монтують на підлозі під баштою та з'єднують з циклонами повітропроводом. Витяжний вентилятор монтують на підлозі, всмоктуючий патрубок вентилятора з'єднують повітропроводом з вихідними патрубками скрубєрів. До нагнітаючого патрубку вентилятора підключають повітропровід, який виводять в навколишнє середовище.

На підлозі виробничого приміщення встановлюють фільтр для повітря, нагнітаючий вентилятор та нагрівач повітря (калорифер). До нагрівача приєднують трубопровід підведення пари та трубопровід для відведення конденсату з конденсатовідвідником. При цьому повинні бути забезпечені потрібний нахил конденсатопроводу та вільний доступ до конденсатовідвідника для його обслуговування. Між нагрівачем та повітророзподільовачем монтують ізолюваний повітропровід для гарячого повітря. Вентилятор закріплюють до рами на гумових амортизаторах; нагрівач повітря встановлюють на підкладках.

З'єднання ущільнюють за допомогою прокладок: з пароніту – для трубопроводів пари і конденсату, з не згораючого картону або синтетичного волокна – для трубопроводів гарячого повітря. На площадці перекриття башти монтують монорельс, на якому встановлюють електроталь для демонтажу розпилувача при ремонті та для його чищення і мийки. На перекритті башти монтують лебідку, яку використовують при чищенні та мийки башти.

На підлозі приміщення встановлюють врівноважувальний бак для згущеного молока та насос з регулюванням подачі продукту в сушарку. Потім через перекриття башти за допомогою електроталі встановлюють розпилювач і монтують трубопровід від насоса до розпилювального диска для подачі молока.

На підлозі встановлюють пульт управління, монтують контрольно-вимірювальні прилади і проводять випробування установки.

### **5.2.Наладка розпилювальної сушильної установки**

Наладка розпилювальної сушарки в основному ставить собі за мету усунення несправностей, які виникають при роботі установки.

Перелік характерних несправностей, їх причини і способи усунення приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

<b>Несправність</b>	<b>Причина</b>	<b>Спосіб усунення</b>
Погане розпилення продукту	Засмітився трубопровід для подачі згущеного молока або розпилювальний диск Мала частота обертання диска, а подача молока велика	Розібрати і прочистити трубопровід і розпилюючий диск  Зменшити подачу молока на диск і збільшити частоту його обертання до паспортної, для чого необхідно стабілізувати напругу в електромережі і усунути проковзування пасової передачі
Незадовільна сушка при пуску	Молоко подається в башту без попереднього її прогрівання	До пуску молока прогріти башту гарячим повітрям протягом 30-40 хв
Незадовільна сушка в процесі роботи	Мала кількість і низька температура повітря, яке поступає в башту Втрата повітря через нещільності в з'єднаннях каналів або всмоктування холодного повітря Нерівномірне розподілення повітря в башті з утворенням протитоків і мертвих просторів	Збільшити тиск пари в калорифері і кількість повітря, яке подається в башту Оглянути з'єднання і усунути нещільності  Перевірити анемометром швидкість і напрямок руху повітря в різних точках башти; забезпечити рівномірне розподілення і рух повітря по всьому перерізу башти

## Продовження таблиці.5.1

Несправність	Причина	Спосіб усунення
Недостатня подача і відсмоктування повітря з башти	Погано працюють нагнітаючий і всмоктуючий вентилятори Закритий шибер; засмічені повітропроводи	Перевірити роботу вентиляторів і відремонтувати їх  Оглянути і прочистити шибери повітропроводи
Мала температура повітря, яке надходить в башту	Малий тиск пари у калорифері Не ізольовані канали для повітря Поверхня нагріву калорифера не відповідає паспортній	Підвищити тиск пари у калорифері Ізолювати канали для повітря Збільшити поверхню нагріву калорифера
У відпрацьованому повітрі на виході з башти накопичується велика кількість частинок сухого продукту	Погано працюють циклони. Нагнітання повітря через шлюзові затвори	Перевірити і усунути несправність в циклонах. Усунути нещільності в шлюзових затворах
На стінки башти налипають вологі не висушені частинки молока; утворюється підтікання молока	Збільшена подача продукту в башту при недостатній подачі і низькій температурі повітря Зіскочив пас привода диску і він зупинився	Відрегулювати режим сушки в башті; привести у відповідність подачу продукту і повітря; збільшити температуру повітря Швидко вимкнути насос, зупинити сушилку в аварійному порядку і усунути несправність привода
Висушений продукт не вивантажується з башти	Забився вивантажувальний отвір на дні башти Несправний транспортуючий вентилятор	Прочистити розвантажувальний отвір  Відремонтувати вентилятор

### **5.3. Технологічна експлуатація сушильної установки**

#### **5.3.1. Підготовка установки до пуску і пуск**

До початку роботи фахівець з обслуговування сушарки повинен переконатись у наявності в трубопроводі пару потрібного тиску, справності всіх елементів сушарки, герметичності трубопроводів для молока, наявності змащення у вузлах тертя. Перед пуском необхідно продути всі повітропроводи і прогріти сушильну башту. Для продувки вмикають на 2-3 хвилини головний витяжний вентилятор. Після зупинки вентилятора очищують башту та інші частини сушарки від підгорівших частинок сухого молока, які надходять із повітропідвідних каналів. Потім прогрівають башту до 140-150°C гарячим повітрям. Двері в сушильній башти закривають, забезпечуючи цим герметичність, відкривають вентилялі на обвідній лінії відведення конденсату для

їх продувки і поступово подають пар в калорифер, для його нагріву. Після цього закривають вентилялі на обвідній лінії відведення, включають нагнітаючий вентилятор і нагрівають сушильну башту. Після прогріву башти вмикають привід розпилювального диску і насос для подачі згущеного молока на диск.

При роботі сушарки спостерігають за ступенем висушування молока. Про не повне висушування молока свідчать краплі молока на стінках башти.

### ***5.3.2.Робота установки***

За роботою установки спостерігають по приладам, які розташовані на пульті управління. Візуальне спостереження ведуть і через вікно в дверях сушильної башти. При нормальному факелі розпилу молоко, яке розпилюється не повинно досягати внутрішньої поверхні башти. Після падінні частинок на дно башти, вмикають витяжний і транспортний вентилятори. Під час роботи сушарки контролюють тиск пари в калорифері, роботу пристрою розпилювача, температуру повітря, на виході з калорифера і сушильної башти, його вологість, температуру молока, яке надходить для сушіння та якість сухого молока.

### ***5.3.3.Зупинка установки***

Час ефективної роботи розпилювальної сушарки на добу складає за нормами 20 годин, тобто не менше 2,5 зміни, після чого сушарку зупиняють. При цьому подають сигнал в котельню для припинення подачі пари. Припиняють подачу молока на розпилювальний диск, при цьому вимикають насос і привід розпилювального диску, закривають вентиль подачі пари в калорифер. Відкривають двері сушильної башти для її охолодження, за допомогою витяжного вентилятора через башту пропускають повітря із цеху. Потім стінки башти обмітають спеціальними щітками, перев'язаними простерилізованою марлею. Промивають трубопровід для згущеного молока, насос для подачі молока і проміжний бачок. Розпилювальний диск періодично знімають, чистять від порошку, ретельно промивають і просушують.

#### *5.4. Технічне обслуговування сушильної установки*

При обслуговуванні сушильної установки проводять перелік робіт. В залежності від конструкції сушильної установки, розпилювального пристрою, циклонів та інших механізмів їх розбирають та демонтують способами, що описані в заводських інструкціях.

Після збирання проводять центрування валів вентилятора та електродвигуна. При обслуговуванні повітропроводів, їх розбирають по ділянках, правлять, змінюють прокладки, встановлюють ізоляцію і збирають.

Паровий колектор при обслуговуванні від'єднують від паропроводів, ставлять на них заглушки і змінюють всі вентилялі. При необхідності, клапани та гнізда вентилів проточують і притирають. Відвідник конденсату знімають, ремонтують і встановлюють на місце, а при необхідності ремонтують вентилялі обвідної лінії.

При обслуговуванні калорифера сушильної установки, його від'єднують від паропроводу і демонтують. Кінці трубок в трубних решітках, які протікають, вирубують і потім заварюють.

В таблиці 5.1 приведені характерні несправності сушильної установки, які частіше за всі інші зустрічаються на практиці, і відповідні методи їх усунення.

Після запуску сушильної установки необхідно злити воду, яка залишилась у зрівноважувальному бачку, закрити бак і приготувати його для заповнення молоком з вакуум-випарної установки.

Під час роботи сушильної установки необхідно слідкувати за такими робочими параметрами:

- 1) за температурою повітря, що входить в камеру сушильної установки, температура 180-190°C;
- 2) за температурою повітря, що виходить з сушильної башти, температура (85-95°C);
- 3) за числом обертів розпилювального диска (12000 об/хв);
- 4) за вакуумним манометром, що показує тиск в камері.

Обслуговуючий персонал бункера проводить контроль готового продукту. Далі необхідно контролювати дію вібраційного підживлювача і безперервну подачу згущеного молока. При правильно встановленому вібраторі при коливанні він не видає трясучого звуку. Коливання регулюють обертовим регулятором, який знаходиться на пульті управління.

### ***5.5.Ремонт сушильної установки***

В процесі роботи сушарки зношується внутрішня поверхня розпилюючого диска, а особливо – сопла. При чому переріз сопел збільшується, що призводить до збільшення кількості молока, яке розпилюється в сушильній камері, і відповідно до неповного видалення вологи з молока. Переріз сопел періодично перевіряють калібрами. Зношені сопла замінюють новими.

У повітропроводах основними видами зношення являється поява нещільностей у фланцевих з'єднаннях, заслінках і корозія металу. Фланцеві болтові з'єднання і деталі, їх кріплення підтягують, зношені прокладки замінюють новими. Зігнуті ділянки повітропроводів після зняття ізоляції вирівнюють дерев'яним молотком, зношені частини замінюють новими, після чого повітрепровід покривають ізоляцією.

У шарнірних заслонках змащують шарніри, виправляють погнуті ділянки, очищують від корозії стопорні пристрої. Заслонки, які видвигаються виймають із гнізд, очищують їх від пилу, вирівнюють погнуті місця і змащують пази гнізд. Після ремонту або заміни ділянок повітрепровід фарбують для захисту від вологи і покривають ізоляцією.

Деталі приводу розпилювального диску ремонтують загальноприйнятими способами.

## ***5.6. Вимоги по техніці безпеки під час роботи сушильної установки***

Під час роботи сушильної установки мають місце такі шкідливі речовини: сірчана і соляна кислота, каустична сода, їх застосовують для миття обладнання. При роботі з ними необхідно одягнути гумові рукавиці, захисні окуляри і одяг зі спеціальним взуттям.

Для обслуговування обладнання, розташованого на башті, встановлюють площадки і сходи з перилами 1м висотою. Двері башти герметизують і блокують разом з приводом механізму збирання висушеного продукту, щоб при відкриванні дверей механізм автоматично зупинявся. Всі гарячі поверхні покривають тепловою ізоляцією, щоб їх температура не перевищувала нормовану.

Електродвигуни, навантажені конструкції, пускова апаратура і металеві частини повинні бути надійно заземлені, для запобігання враження обслуговуючого персоналу електричним струмом. А стан заземлюючих пристроїв необхідно систематично перевіряти. Всі кожухи, огорожувальні пристрої і запобіжні клапани повинні бути робочими.

Частоту обертання диска перевіряють кожні 30 хв. Для попередження і запобігання аварій і нещасних випадків регулярно контролюють диск, який закріплюють диференційною гайкою.

Заходити в сушильну башту для огляду, чищення та ремонту дозволяється після зупинки всіх агрегатів і лише в тому випадку, коли температура повітря знизиться до 30°C. Роботи в середині башти повинні виконувати не менше двох працівників – один чергує зовні, інші – працюють в башті. При таких роботах використовують переносні лампи з напругою не більше 12 В.

## 6. Охорона праці

### 6.1. Організація охорони праці на підприємствах

Організована система управління охороною праці на підприємстві регулює взаємовідносини між структурними підрозділами підприємства, стосунки роботодавця з найнятими робітниками.

В Україні 14 жовтня 1992 року був прийнятий Закон «Про охорону праці». На сьогодні він діє від 1 січня 2004 року в новій редакції.

Закон України «Про охорону праці» передбачає, що роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці належні умови праці та забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці та несе безпосередню відповідальність за порушення вимог з охорони праці на підприємстві.

На підприємстві з кількістю **працюючих 50 і більше осіб** роботодавець **створює службу охорони праці** відповідно до типового положення, що затверджується центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони праці.

Для проведення навчань та перевірки знань з питань охорони праці на підприємстві, в установі чи організації створюється постійно діюча комісія.

Проведення вступного інструктажу з питань охорони праці – одна з першочергових служби охорони праці підприємства. Начальникам цехів, керівникам структурних підрозділів необхідно забезпечити проведення всіх передбачених інструктажів, організувати навчання безпечним методам і прийомам виконання робіт, наданню першої допомоги потерпілим.

В організації охорони праці на підприємстві або в установі важливу роль відіграють інструктажі з питань охорони праці, які проводять на підприємствах, в установах і організаціях незалежно від характеру їх виду або типу трудової діяльності, підлеглості і форми власності. Інструктаж з охорони

праці та організація стажування має за мету надати працівникам необхідний обсяг знань, умінь і навичок по правильному і безпечному виконанню робіт на дорученій ділянці перед допуском до самостійної роботи.

Головним завданням інструктажу є навчити працівника дотримуватись норм охорони праці на робочому місці і безпечно для себе та навколишнього середовища виконувати покладені трудові обов'язки. Розрізняють такі види інструктажів за періодичністю і характером проведення: вступний, первинний, повторними, позаплановий та цільовий.

Проведення інструктажів на робочих місцях, щоденний контроль начальниками цехів, відповідальними особами технічних служб, службою охорони праці по безпечному виконанню технологічних операцій, виконання інструкцій по охороні праці, застосування засобів індивідуального захисту забезпечують профілактику виробничого травматизму.

Важливою вимогою в забезпеченні безпеки виробництва є проведення професійного відбору, що передбачає оцінка професійної придатності працівників до відповідних професій і спеціальностей. Обов'язкові попередній (при прийомі на роботу) і періодичні (впродовж трудової діяльності) медичні огляди проводяться для працівників, зайнятих на важких роботах, роботах з шкідливими або небезпечними умовами праці або роботах, що вимагають професійного відбору, і щорічно для осіб у віці до 21 року.

Періодичні медичні огляди працівників підприємства проводяться згідно зі списками, по професіях і виконуваних роботах.

На підприємстві потрібно дотримуватися графіків проходження медичних оглядів – це є одним із основних вимог профілактики виробничих захворювань і дотримання санітарних норм в харчовій промисловості.

Профілактика травматизму і профзахворювань забезпечується дотриманням санітарних норм робочої зони на підприємстві. Особливістю діяльності підприємства є регулярно контроль стану виробничої зони. Необхідно проводити інструментально-лабораторні дослідження умов праці

на конкретних робочих місцях з встановленням небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу в цілому.

В молочній промисловості організацію роботи по охороні праці здійснює адміністративно-технічний персонал заводу, зокрема, по підприємству – директор і головний інженер, а в цеху (дільниці) – начальник цеху (дільниці).

За організацією робіт по охороні праці відповідальним є начальник цеху, який слідкує за виконанням всіх правил і норм техніки безпеки. Знаходження сторонніх в цеху заборонено.

Працівники цеху повинні знаходитись на своїх робочих місцях постійно, під час технологічного процесу. Вільний доступ до пускових пристроїв засобів пожежогасіння необхідна умова для запобігання можливих аварій та неполадок.

Розряд робіт на ділянці сухого молока – IV. Запобігання по вибухо- і пожежонебезпеці відноситься до категорії Б.

Під виробничою санітарією та культурою виробництва розуміється виконання всіх норм і вимог по збереженню території, виробничих і підсобних приміщень, приміщень по водопостачанню, каналізації, освітленню, опаленню і вентиляції, до сировини, технологічного процесу виготовлення продукції та її перевезення, а також забезпечення правилами власної гігієни робітників.

## **6.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на ділянці виробництва сухого знежиреного молока**

Важливою складовою охорони праці на підприємстві є захист працівників від впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Для досягнення цього завдання державою встановлено низку критеріїв оцінки, які допомагають визначити ступінь небезпечності умов праці на підприємствах, що використовують працю найманих робітників. Про те, в яких саме нормативних актах затверджено такі критерії та перелік шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища

### **6.2.1. Класифікація шкідливих виробничих факторів**

Всі фактори на будь-якому підприємстві можуть мати різне походження. Часто можна стикатися з несприятливими умовами праці, які виникають з вини керівництва. Це питання потребує особливої уваги з боку перевіряючих органів. Хочеться сподіватися, що велика частина небезпечних факторів має природне походження, і людині просто необхідно вжити всі заходи, щоб їх вплив був мінімальним. Всі шкідливі виробничі фактори ГОСТ поділяє на наступні групи:

- Фізичні.
- Хімічні.
- Біологічні.
- Психофізіологічні, до яких можна віднести важкі та напружені умови праці.

Можна відзначити, що немає чіткої межі між шкідливими та небезпечними факторами, вона завжди умовна і в будь-який момент може бути зруйнована.

На багатьох виробництвах просто неможливо уникнути впливу деяких факторів. Серед них особливе місце займають *фізичні небезпечні* та шкідливі виробничі фактори:

- Температура, висока вологість і випромінювання.
- Електромагнітні поля.

- Лазерне і ультразвукове випромінювання.
- Вібрація.
- Сильний шум.
- Освітлення, яке може бути як занадто інтенсивним, так і

недостатнім, що однаково шкідливо для зору.

- Вплив пилу і аерозолів.
- Заряджений повітря.
- Працюючі частини обладнання.

Кожен фактор окремо начебто і не становить особливої небезпеки для здоров'я людини при короткочасному впливі. Але часто працівник перебуває тривалий час у їх оточенні, та ще відразу декількох, тому їх вплив стає цілком відчутним.

До *хімічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів* відносять органічні та неорганічні речовини та їхні сполуки. Зокрема, чищення деталей за допомогою хімічних засобів, фарбування устаткування; зварювальні роботи; процеси нанесення захисних антикорозійних покриттів; обробку або переробку металів.

*Біологічні фактори* – це мікроби, грибки, продукти мікробіологічного синтезу (кормові дріжджі, антибіотики, гормони, засоби захисту рослин) тощо [17,18].

До *психофізіологічних факторів* належать: емоційна напруга (обумовлена, наприклад, надмірним навантаженням на центральну нервову систему, органи чуттів); динамічні й статичні перевантаження; вимушене положення тіла при виконанні різноманітних виробничих операцій; надмірний і тривалий тиск різних предметів на кінцівки та інші частини тіла, перевантаження окремих систем організму; недостатня рухова активність; надмірно швидкий темп роботи.

На підприємствах, де в цехах стоять верстати та інше обладнання, без шуму, як правило, не обходиться. Постійно працює техніка видає гучні звуки, які можуть змінювати свою інтенсивність. Якщо людина змушена регулярно

зазнавати такого впливу, то це негативно позначиться на його здоров'ї. Від сильного шуму починає боліти голова, підвищується тиск, знижується гострота слуху. Зрештою, від таких умов знижується працездатність, з'являється втома, знижується увага, а це вже може призвести до нещасного випадку. Керівники на подібних підприємствах повинні подбати про своїх працівників, щоб постаратися хоч трохи зменшити негативний вплив шуму на організм.

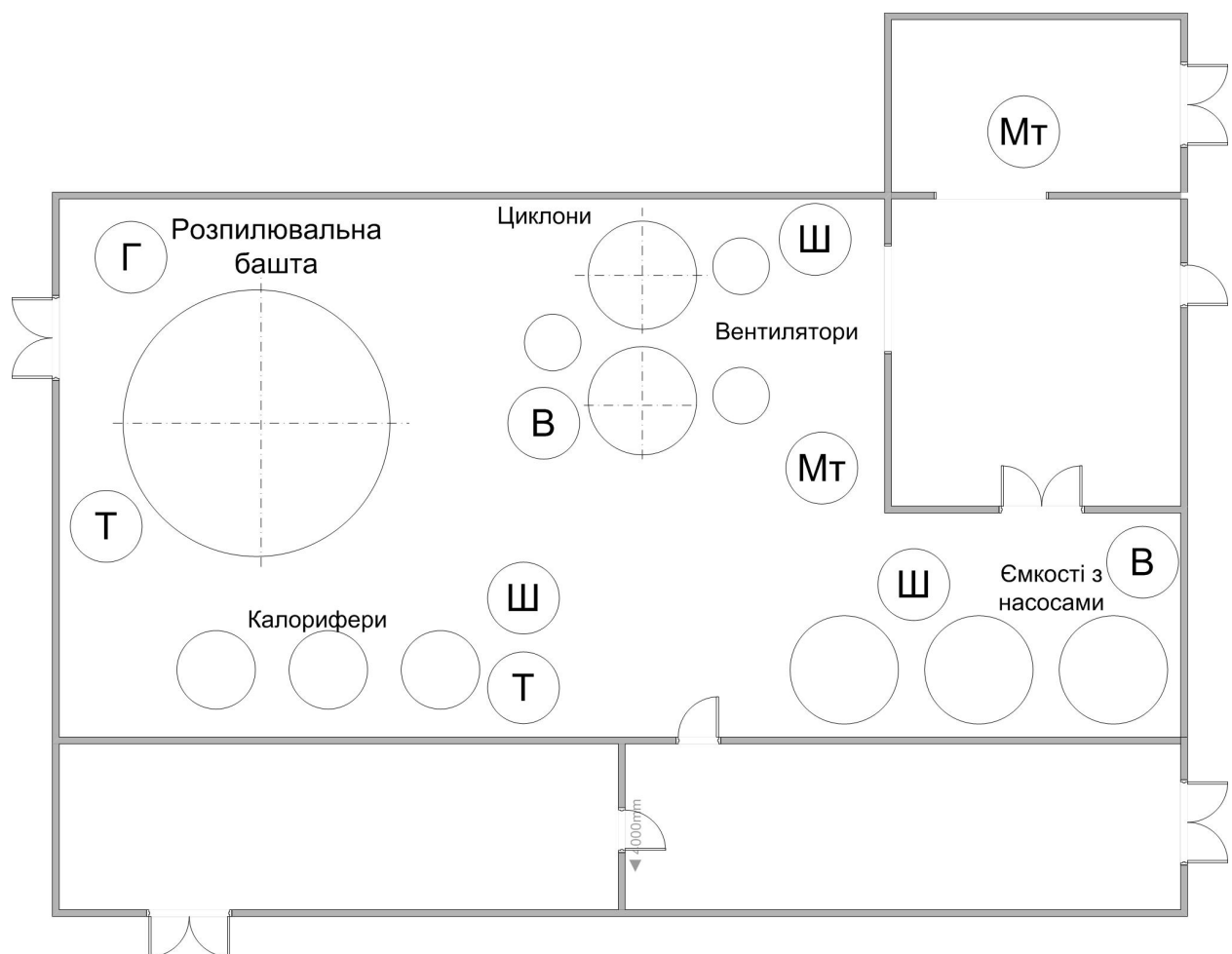


Рис.6.1 Схема ділянки сухого знежиреного молока

Розглянемо позначення шкідливих та небезпечних виробничих факторів, що виникають на ділянці сухого знежиреного молока (рис.6.1):

- Т - висока температура (тепловиділення);
- Ш - підвищений рівень шуму;
- В - вібрація;

Мт - механічна травма;

Г - газо-паровиділення.

З метою виявлення шкідливих та небезпечних виробничих факторів виробництва дослідимо роботу обладнання ділянки сушіння молока, де відбуваються процеси розпилювання, сушіння, транспортування та очищення відпрацьованого повітря.

### **6.2.2. Мікроклімат**

Мікроклімат (метеорологічні умови) виробничого середовища суттєво впливає на стан організму працівника, його працездатність протягом робочого дня, зміни.

Показники температури, відносної вологості, швидкості руху повітря, теплового випромінювання нагрітих поверхонь характеризують клімат внутрішнього середовища виробничого приміщення.

В процесі трудової діяльності людина перебуває у тепловій взаємодії з виробничим середовищем.

За оптимальних мікрокліматичних умов в організмі працівника, завдяки терморегуляції, підтримується постійна температура тіла (36,6°C). Кількість тепла, що утворюється в організмі, залежить від фізичного навантаження працівника, а рівень тепловіддачі – від мікрокліматичних умов виробничого середовища. Віддача тепла здійснюється за допомогою випромінювання та випаровування вологи з поверхні шкіри. Чим нижча температура повітря і більша швидкість його руху, тим більше тепла віддається організмом. При високій температурі повітря значна частина тепла втрачається випаровуванням. Разом з потом організм втрачає воду, вітаміни, мінеральні солі. Таким чином, внаслідок зневоднювання, порушується обмін речовин. Тому працівники «гарячих» цехів повинні забезпечуватись газованою підсоленою водою.

Істотно вплив на самопочуття та працездатність людини чинить такий фактор, як вологість повітря. Завдяки високу вологість зменшується віддача тепла за допомогою випаровування. Зниження вологості покращує процес тепловіддачі. Однак, і надто низька вологість викликає висихання слизових оболонок дихальних шляхів. Для забезпечення допустимих параметрів мікроклімату на виробництві впроваджується механізація важких робіт, обов'язкова наявність припливно-витяжної вентиляції та кондиціонування повітря. У відповідності до ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» фізіологічно оптимальна відносна вологість становить 40–60%, допустиме значення не більше 75%.

Від швидкості руху повітря у виробничому приміщенні залежить тепловіддача з поверхні шкіри. У жарких виробничих приміщеннях при температурі повітря +35°C рух повітря сприяє збільшенню віддачі тепла організмом. Підвищення швидкості повітря при низьких температурах викликає його переохолодження. Різкі коливання температури в приміщенні, яке продувається холодним повітрям (протягом), значно порушують терморегуляцію організму і можуть викликати простудні захворювання. Можливості організму пристосовуватись до метеорологічних умов значні, однак не безмежні.

Верхньою межею терморегуляції людини, що знаходиться у стані спокою, прийнято вважати 30–31°C при відносній вологості 85% або 40°C при відносній вологості 30%. При виконанні важкої фізичної праці ця межа значно нижча, рівновага (комфортні умови) зберігається при температурі повітря 12–14°C.

Завдання роботодавця, для збереження здоров'я працюючих, створити на робочому місці оптимальні, або допустимі мікрокліматичні умови.

**Оптимальні** – це комплекс мікрокліматичних чинників, які в умовах тривалої та систематичної дії на людину створюють комфортні теплові відчуття та збереження нормального теплового стану організму без напруження механізмів терморегуляції.

**Допустимі** мікрокліматичні умови – комплекс мікрокліматичних чинників, які в умовах тривалої та систематичної дії на людину можуть викликати дискомфортні відчуття та зміни теплового стану організму, однак вони швидко минають і нормалізуються за рахунок напруження механізмів терморегуляції в межах фізіологічних пристосувальних можливостей.

Комфортне самопочуття працюючого забезпечується відповідним співвідношенням температури, відносної вологості і швидкості руху повітря.

Порівняємо допустимі та фактичні значення мікроклімату на ділянці (табл.6.1).

Таблиця 6.1

Сезон року	Параметри	Оптимальні норми	Допустимі норми	Фактичне значення
------------	-----------	------------------	-----------------	-------------------

Холодний	Температура, °С	16...21	18...22	20
	Відносна вологість, %	40...60	75	55
	Швидкість повітря, м/с	0,1	<0,1	<0,1
Теплий	Температура, °С	20... 22	18...24	21
	Відносна вологість, %	40...60	55	50
	Швидкість повітря, м/с	0,1	0,22	0,1

### **6.2.3.Вентиляція**

Виробничий процес на підприємствах часто передбачає виділення різних шкідливих та неприємних за запахом речовин. Оскільки це небезпечно для життя робітників, ці речовини слід ліквідувати. За ліквідацію цих речовин відповідає виробнича вентиляція, яка забезпечує необхідний мікроклімат у приміщенні та роботу виробничого.

Вентиляція виробничих приміщень повинна забезпечити видалення відпрацьованих мас повітря (витяжна вентиляція), та обмін його на свіже очищене повітря (припливна вентиляція).

#### **На етапі проектування вентиляції фабрики слід враховувати:**

- наявність небезпечних випарів;
- надлишок температури;
- наявність надлишку теплоти чи вологості;
- наявність надлишку газовиділень.

#### **Виробнича вентиляція має важливу відмінність від звичайних систем:**

- забезпечення не тільки якісних мікрокліматичних умов для працівників, але забезпечення проходження технологічних процесів на вищому рівні;
- комфорт для будівельних конструкцій, що служить довговічністю експлуатації;

- можливість використання осушувальних, зволожувальних вентиляційних систем.

### **Розрахунок систем виробничих приміщень**

Для того, що правильно провести розрахунок вентиляції виробничого приміщення необхідно розглянути види виробничої вентиляції, адже від типу системи залежить спосіб розрахунку.

**За методом циркуляції повітря поділяється розрізняють такі види вентиляції виробничих приміщень:**

Природня вентиляція виробничих приміщень, це комплекс обміну повітря, яке циркулює за рахунок гравітаційних сил (залежить від різниці температур повітря всередині приміщення та ззовні). Для промислових об'єктів, даний тип вентиляції використовується рідко, адже продуктивність такої системи спостерігається на низькому рівні, оскільки швидкості повітря не великі, повітрообмін відбувається в малих об'ємах. Природня вентиляція виробничих приміщень в більшості використовується для допоміжних приміщень не великого об'єму, яка може бути організована встановлення решіток на зовнішніх стінах, влаштуванням віконних чи дверних отворів, влаштуванням дефлекторів та аераційних ліхтарів.

Штучна вентиляція – вентиляція, яка створює циркуляцію повітря за допомогою вентилятора. В більшості випадків на виробництві використовується штучна вентиляція, яка передбачає відведення небезпечних речовин, надлишків вологи, тепла та шкідливих газів. Штучна вентиляція дозволяє використовувати додаткові функції, які можуть бути необхідні під час проходження технологічного процесу – осушення, зволоження, фільтрацію повітря.

**За місце дії поділяється є такі види виробничої вентиляції:**

- загальнообмінна, яка призначена для обміну повітря у всьому приміщенні виробничого цеху.
- система місцевої вентиляції, яка використовується у випадку скупчення великої кількості шкідливостей в одному місці та встановлюється над технологічним обладнанням;

- аварійна вентиляція використовують на промислових об'єктах для забезпечення безпечної ліквідації аварійних випадків, наприклад при великому викиді отруйних речовин в приміщення;

Якщо технологічний процес вимагає певних умов вологісного та температурного стану використовують кондиціонування повітря виробничого приміщення. Точний розрахунок вентиляції виробничого приміщення дає всі необхідні умови для правильного функціонування виробництва, робота системи повинна відповідати усіх вимогам законодавства.

Застосовуємо на ділянці сухого молока притоково-витяжну вентиляцію для підтримування метеорологічних умов і чистоти повітря, які задовольняють санітарно-гігієнічні вимоги.

На молокозаводах в цехах дозрівання сиру використовується кондиціонування, в цеху з підвищеною вологістю подається сухе тепле повітря, а вологе – видаляється. Також на молочних виробництвах вентиляція повинна контролювати вологість повітря, його склад і температуру.

Норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні:

а) холодний і перехідний період року:

- температура 16–22°C;
- відносна вологість, не більше 60%;
- швидкість руху повітря 0,1 м/с;
- температура повітря поза робочою зоною 15–24°C;

б) теплий період року:

- температура, не більше 24°C;
- відносна вологість, не більше 55%;
- швидкість руху повітря 0,1 м/с;
- температура повітря поза робочою зоною не вище температури на вулиці.

Розраховуємо кратність повітрообміну у виробничому приміщенні об'ємом  $V_{п}=7177\text{м}^3$ , по надлишковим тепловиділенням. Площа поверхні теплообміну  $F=20\text{м}^2$ ; температура нагрітої поверхні  $t_{п}=45^\circ\text{C}$ ; нормально допустима

температура повітря в приміщенні  $t_n=24^\circ\text{C}$ ; маса нагрітої продукції  $M=375$  кг; питома теплоємність нагрітої маси  $C_m=0,2$  Втс/кгград; температура маси по фактичному заміру  $t_m=35^\circ\text{C}$ ; коефіцієнт, який враховує нерівномірність охолодження маси  $\beta=1,4$ ; загальна встановлена потужність електродвигунів  $P_k=70$  кВт; ККД електродвигунів приймаємо рівним  $0,58$ ; температура повітря, яке поступає ззовні  $t_{\text{пов}}=18^\circ\text{C}$ .

Вихідні дані заносимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2

Вихідні дані								
F, м <sup>2</sup>	t <sub>п</sub> , °С	t <sub>н</sub> , °С	M, кг	C <sub>м</sub> , Втс/кгград	t <sub>м</sub> , С	P <sub>к</sub> , кВт	t <sub>пов</sub> , °С	V <sub>п</sub> , м <sup>3</sup>
20	45	24	375	0,20	35	70	18	7177

## Розв'язання

1. У виробничому приміщенні є три джерела тепловиділення:

- а) тепловіддаюча поверхня;
- б) нагріта маса (поверхня);
- в) тепло від двигунів.

2. Кількість нагрітого повітря, яке необхідне для вилучення із приміщення визначаємо за формулою:

$$L = \frac{3,6 \cdot Q}{c \cdot \gamma \cdot (t_n - t_{нов})}, \text{ м}^3 / \text{год}$$

де  $Q$  – кількість надлишкового тепла, Вт;  $c$  – питома теплоємність повітря,  $c=1$  кДж/кгК;  $t_n$  – температура повітря в приміщенні, °С;  $t_{нов}$  – температура припливного повітря, °С;  $\gamma$  – щільність повітря при даній температурі при нормальних умовах  $\gamma=1,2$  кг/м<sup>3</sup>.

3. Визначаємо кількість надлишкового тепла:

- а) від тепловіддаючої поверхні:

$$Q_1 = \alpha \cdot F \cdot (t_n - t_n), \text{ Вт}$$

де  $\alpha$  – загальний коефіцієнт тепловіддачі визначається за формулою:

$$\alpha = (9,3 + 0,06 \cdot t_n) \cdot 1,16 = (9,3 + 0,06 \cdot 45) \cdot 1,16 = 13,92 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К},$$

$F$  – площа поверхні теплообміну, м<sup>2</sup>;  $t_n$  – температура повітря в приміщенні, °С;  $t_n$  – температура тепловіддаючої поверхні, °С.

Тоді:

$$Q_1 = 13,92 \cdot 20 \cdot (45 - 24) = 5846,4 \text{ Вт}$$

- б) від маси нагрітої продукції, яка визначається за формулою:

$$Q_2 = \frac{M \cdot C_m \cdot (t_m - t_n)}{\beta}, \text{Вт}$$

де  $M$  – маса нагрітої продукції, кг;  $C_m$  – питома теплоємність нагрітої маси, Втс/кгград;  $t_m$  – температура маси по фактичному заміру, °С;  $t_n$  – температура в приміщенні, °С;  $\beta$  – нерівномірність охолодження маси = 1,4.

Тоді:

$$Q_2 = \frac{375 \cdot 0,20 \cdot (35 - 24)}{1,4} = 589,2 \text{Вт}$$

в) визначаємо кількість видаленого (вилученого) тепла від працюючих електродвигунів за формулою:

$$Q_3 = P_k \cdot 1000 \cdot (1 - \eta), \text{Вт}$$

де  $P_k$  – загальна встановлена потужність електродвигунів, кВт;

$\eta$  – ККД електродвигунів  $\eta = 0,58$ .

Тоді:

$$Q_3 = 70 \cdot 1000 \cdot (1 - 0,58) = 29400 \text{Вт}$$

Знаходимо загальну кількість надлишкового тепла:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 5846,4 + 589,2 + 29400 = 35835,6 \text{Вт}$$

4. Визначаємо кількість нагрітого повітря, яку необхідно вилучити:

$$L = \frac{3,6 \cdot 35835,6}{1 \cdot 1,2 \cdot (24 - 18)} = 17917,8 \text{ м}^3 / \text{год}$$

5. Визначаємо кратність повітрообміну:

$$N = \frac{L}{V_n} = \frac{17917,8}{7177} = 2,5 \text{ год}^{-1}$$

Отже, на ділянці сухого молока встановлюємо дві вентиляційні установки типу У4-70 загальною продуктивністю 23600 м<sup>3</sup>/год.

#### **6.2.4 Виробничий шум**

Шум – це сукупність звуків різноманітної частоти та інтенсивності, що виникають у результаті коливального руху частинок у пружних середовищах (твердих, рідких, газоподібних). Шумом також вважають будь-який небажаний для людини звук.

Важливою характеристикою шуму є його частотний склад. Якщо в складі шуму переважають звуки з частотою коливань до 400 Гц, такий шум називається низькочастотним, якщо переважають звуки з частотою 400 – 1000 Гц – середньочастотним, якщо понад 1000 Гц – високочастотним.

Низькочастотний шум інтенсивністю до 100 дБ не викликає відчутної несприятливої дії на орган слуху; для середньочастотного шуму ця норма складає 85 – 90 дБ; для високочастотного – 75 – 85 дБ. Несприятливі суб'єктивні відчуття і вплив на організм людини зумовлює високочастотний шум.

Шум підступний, його шкідливий вплив на організм відбувається незримо, непомітно. Організм людини проти шуму практично беззахисний.

Вплив шуму на організм умовно поділяють на:

- специфічний, що спричиняє зміни в органі слуху;
- неспецифічний – з боку інших органів і систем.

Основну увагу приділяють стану органа слуху, тому що слуховий аналізатор першим сприймає звукові коливання і потерпає від впливу шуму на організм.

Дія шуму на організм людини пов'язана головним чином із застосуванням нового, високопродуктивного устаткування, з механізацією або автоматизацією трудових процесів: переходом на великі швидкості при експлуатації різних верстатів і агрегатів.

Джерелами шуму можуть бути двигуни, насоси, компресори, пневматичні та електричні інструменти, молоти, дробарки, верстати, центрифуги та інше обладнання, що має рухомі деталі.

Допустимі рівні шуму на робочих місцях регламентуються «Санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99»

постанова № 37 від 01.12.99. Цей документ також встановлює класифікацію шуму, вимоги до шумових характеристик і до захисту від шуму на робочих місцях.

Шум на робочих місцях не повинен перевищувати допустимих рівнів, значення яких приведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3

Робочі місця	Рівні звукового тиску (дБ), в октавних смугах із середньгеометричними частотами (Гц)									Рівень звуку (дБА)
	1,5	3	25	50	500	1000	2000	4000	8000	
Постійні робочі місця і робочі зони у виробничих приміщеннях, постійні робочі місця стаціонарних машин	03	9	2	6	83	80	78	76	74	85

Рівні шуму та вібрації можна зменшити шляхом встановлення вентиляційних пристроїв на гумові подушки, які поглинають вібраційні коливання. Послаблення шуму та вібрацій досягається також наступними рішеннями:

- своєчасний огляд технологічного обладнання, його ремонт;
- використання в з'єднаннях гумових прокладок, що зменшують передачу коливань від одних деталей до інших;
- кріплення повітропроводів до опор за допомогою поглинаючих пристроїв.

Для зниження шуму в ділянці застосовується звукопоглинаюче покриття стін. Зниження шуму методом звукопоглинання, основане на переході енергії звукових коливань часток повітря в теплоту, завдяки втратам на тертя в парах звукопоглинаючого матеріалу.

### 6.2.5.Вібрація

Гігієнічне нормування вібрації передбачає встановлення найбільш допустимих рівнів віброшвидкості в м/с. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99» постанова № 39 від 01.12.99 є основним документом, який визначає гігієнічні норми вібрації.

Технологічна та локальна вібрації при експлуатації основного обладнання не повинна перевищувати граничні показники. У таблиці 6.4 для локальної вібрації показані граничні значення.

Таблиця 6.4

Середньгеометричні частоти, Гц	Граничні значення нормованого параметру		
	По віброприскоренню, м/с <sup>2</sup>	По віброшвидкості	
		м/с	дБ
8	1,4	2,8	115
16	1,4	1,4	109
31,5	2,7	1,4	109
63	5,4	1,4	109
125	10,7	1,4	109
250	21,3	1,4	109
500	42,5	1,4	109
1000	85,0	1,4	109

Джерелом вібрації на ділянці СЗМ є циклони, розпилувальна башта, насоси та вентилятори. Але для зменшення передачі їх локальних вібрацій, використовують віброізолюючі гумові прокладки, що встановлюються під опори насосів та вентиляторів.

### **6.2.6. Освітлення**

Природне та штучне освітлення у виробничих та допоміжних приміщеннях повинно відповідати вимогам чинних СНіП II-4-7-9 "Природне та штучне освітлення. Норми проектування". В усіх виробничих та допоміжних приміщеннях необхідно вжити всіх заходів щодо максимального використання природного освітлення.

Світлові прорізи не повинні загроможуватись виробничим обладнанням, тарою, готовими виробами та напівфабрикатами як всередині, так і поза будівлею, забороняється також заміна засклення фанерою, картоном.

Для загального освітлення виробничих приміщень слід застосовувати світильники, які мають захисну арматуру у вибухобезпечному виконанні.

Освітлювальні прилади та арматура повинні утримуватись у чистоті, протиратися у міру забруднення, але не рідше одного разу у 15 днів.

Основним нормативним документом, що визначає вимоги до організації освітлення в Україні є ДБНВ.2.5–28–2006 – Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. В залежності від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла; суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним. Природне світло має високу біологічну і гігієнічну цінність і впливає на психологію людини, а в підсумку на виробничий травматизм, захворювання та продуктивність праці. Природне освітлення поділяється на: бокове (одно-або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє, здійснюване через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення.

Нормоване значення КПО (ен) залежить від характеру зорової роботи (розряду), типу приміщення, системи природного освітлення та особливостей світлового клімату й сонячності клімату в районі розташування будівлі. Штучне освітлення поділяється в залежності від призначення на робоче, аварійне,

евакуаційне та охоронне. Розрізняють такі системи штучного освітлення: загальне, місцеве та комбіноване. Система загального освітлення призначена для освітлення всього приміщення, вона може бути рівномірною та локалізованою. Загальне рівномірне освітлення встановлюють у цехах, де виконуються однотипні роботи невисокої точності по усій площі приміщення при великій щільності робочих місць. Загальне локалізоване освітлення встановлюють на поточних лініях, при виконанні робіт, різноманітних за характером, на певних робочих місцях, при наявності стаціонарного затемнюючого обладнання, та якщо треба створити спрямованість світлового потоку. Місьцеве освітлення призначається для освітлення тільки робочих поверхонь, воно може бути стаціонарним (наприклад, для контролю за якістю продукції на поточних лініях) та переносним (для тимчасового збільшення освітленості окремих місць або зміни напрямку світлового потоку при огляді, контролі параметрів, ремонті). Світильники місцевого освітлення повинні бути зручними у користуванні, а, головне, безпечними при експлуатації. Категорично забороняється застосовувати лише місцеве освітлення, оскільки воно створює значну нерівномірність освітленості, яка підвищує втомленість зору та призводить до розладу нервової системи. Таке освітлення на виробництві є допоміжним до загального.

Природне освітлення в приміщеннях коливається по періодам року та по годинам доби, що привело до необхідності введення КПО:

$$КПО = (E_{вн} / E_{зовн}) \cdot 100\%$$

де  $E_{вн}$  – освітленість в даній точці приміщення;  $E_{зовн}$  – освітленість точки, що знаходиться на горизонтальній площині зовні приміщення та освітлена розсіяним світлом повністю відкритого неба.

### **6.2.7 Заходи з електробезпеки**

У зв'язку з тим, що технологічне обладнання працює від електромережі, існує небезпека ураження людини електричним струмом. Він може викликати термічну, хімічну, механічну та біологічну дію.

Експлуатація обладнання та електричних установок на підприємстві здійснюється за нормами та правилами згідно з ПУЕ „Правила улаштування електроустановок”. За даними правилами ділянка, що розглядається відноситься до приміщень з особливо підвищеною небезпекою, оскільки багато складових частин (електродвигуни, електрощити, панелі управління) працюють від електричного струму.

Основні вимоги щодо експлуатації обладнання і електроустановок викладені у „Правилах техніки безпеки при експлуатації електротехнічних установок промислових підприємств”.

Електричне обладнання становить велику потенційну небезпеку для людини, особливо у зв'язку з тим, що органи почуттів не відчують на відстані електричну напругу на відміну від теплоти, світла, елементів, що рухаються, запаху та інших шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Тому коли струм впливає на людину, її захисна реакція проявляється тільки після безпосереднього контакту з частинами обладнання, що є під напругою.

Живлення електричним струмом здійснюється від мережі частотою 50Гц і напругою 220 і 380 В.

Засоби по електробезпеці на ділянці по виробництву сухого знежиреного молока передбачають:

- заземлення корпусів електрообладнання та елементів електроустановок, які можуть опинитись під напругою;
- застосування захисних засобів та пристроїв;
- блокування попереджувальною сигналізацією;
- проведення ряду організаційних дій (навчання, атестація).

В електроустановках напругою 1000В до основних засобів захисту відносяться електричні рукавиці, інструменти з ізольованими ручками та покажчики напруги. До допоміжних засобів захисту при роботі на електроустановках до 1000 В відносяться: діелектричні калоші, ізолюючі підставки, гумові коврики.

Перед кожним пусковим пристроєм для захисту обслуговуючого персоналу встановлюють діелектричні коврики та ізолюючі пристрої.

Розрахуємо параметри ізолюючих пристроїв. Допустимий опір заземлення пристроїв повинен бути  $R_{зд} < 40\text{Ом}$ . Опір штучних заземлюючих пристроїв вибирають  $R_I < R_{зд} = 30\text{Ом}$ . В якості заземлення вибираємо стержень біля поверхні ґрунту з розмірами  $l = 5\text{м}$  і  $d = 0,01\text{м}$ . Визначаємо опір струму розтікання з одного заземлення:

$$R_{31} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d}, \text{Ом}$$

де  $\rho$ - опір ґрунту( для чорнозему  $\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ).

Тоді:

$$R_{31} = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \ln \frac{4 \cdot 5}{0,01} = 12\text{Ом}$$

Визначаємо необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлень:

$$n = \frac{R_{31}}{R_I \cdot n_e},$$

де  $n_e$  – коефіцієнт використання заземлень, враховуючи їх екранування, для вертикальних стержневих заземлень, розташованих в один ряд  $n_e = 0,68$ .

Тоді:

$$n = \frac{12}{3 \cdot 0,68} = 5,882 = 6\text{шт}$$

Визначаємо довжину з'єднувальної полоски та опір струму розтікання  $R_n$ :

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{d \cdot t}, \text{Ом},$$

де  $d=0,01$  – діаметр стержня, м;  $t=0,5$  – глибина закладання стержня, м;  
 $l=10$  – довжина полозки, м;

Тоді:

$$R_n = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 10} \cdot \ln \frac{10^2}{0,01 \cdot 0,5} = 1,8 \text{ Ом}$$

Визначаємо еквівалентний тиск струму розтікання заземлення:

$$R_I = \frac{R_{31} \cdot R_n}{R_{31} \cdot n_n \cdot R_n \cdot n \cdot n_e}, \text{ Ом},$$

де  $n_n$  – коефіцієнт використання горизонтального електроду при розташуванні вертикальних електродів в ряд,  $n_n=0,57$ ;

Тоді:

$$R_I = \frac{12 \cdot 1,8}{12 \cdot 0,57 \cdot 1,8 \cdot 6 \cdot 0,68} = 2,4 \text{ Ом} \leq R_{3д}$$

Отримані в результаті розрахунки опорів штучних заземлень не перевищують заданих.

### ***6.2.8. Пожежна безпека відділення сухого знежиреного молока***

Виробниче приміщення підприємства в якому знаходиться відділення сухого знежиреного молока відноситься до категорії „Д”, ступінь вогнестійкості „П” відповідно до норм технологічного проектування ОНТП 24-86. Здатність будівельної конструкції протистояти дії високої температури в умовах пожежі та зберігати при цьому свої експлуатаційні характеристики - ступінь вогнестійкості будівлі.

На початковій стадії гасіння пожежі використовують головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагою яких є висока ефективність при гасіння пожежі особливо при гасінні електрообладнання.

Будівлі оснащені протипожежними кранами з рукавами, пінні вогнегасники ОХП-10, пісок, щити з пожежним інвентарем для гасіння пожежі. Біля виробничого корпусу встановлено гідрант до якого проведено пожежний водопровід. Кількість вогнегасників визначається з розрахунку 1 вогнегасник на 100 м<sup>2</sup> площі та розміщуються на зручній висоті в легкодоступних місцях.

Для швидкої евакуації людей у випадку пожежі передбачені запасні двері та виходи.

Для пожежогасіння витрати води визначається за розрахунковою формулою:

$$Q = t \cdot 3600 \cdot n / 1000,$$

де  $t$  – тривалість гасіння пожежі, год;  $n$  – секундні витрати води на внутрішнє і зовнішнє пожежогасіння, м/с.

Відповідно рекомендацій для внутрішнього необхідно забезпечити 5л/с води; для зовнішнього пожежогасіння витрати зростають та становлять – 10л/с води.

## Висновки

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Дослідження роботи та модернізація вузла розпилення розпилювальної сушарки» відповідно поставленого завдання були сформульовані такі висновки.

1. Виконаний порівняльний аналіз технологічних та конструктивних рішень розпилювальних сушарок, пристроїв розпилення.
2. Обґрунтована доцільність використання для розпилення продукту розпилювального диску в порівнянні з форсуками для розпилення.
3. Запропоновано заміну розпилювального диску сушарки ВРА-4.
4. Проведено моделювання роботи розпилювального диску з використанням програмного модуля Flow Vision при зміні властивостей продукту та частоти обертання диску.
5. Встановлено при моделюванні роботи що запропонована конструкція розпилювального диску дозволяє проводити процес сушіння молока з різним вмістом сухих речовин від 8,7 до 55 %.
6. Запропоновано модернізувати вузол розпилення шляхом заміни розпилювального диску.

При виконанні кваліфікаційної роботи виконано розрахунки розпилювальної сушарки. В пояснювальній записці розглянуті питання монтажу, ремонту та експлуатації розпилювальної сушарки також приділена увага питанням охорони праці.

## Список використаної літератури

1. Сурков В.Д., Липатов Н.Н., Барановский Н.В. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: Пищевая про-сть, 1970. – 556 с.
2. Сурков В.Д., Липатов Н.П., Золотин Ю.П. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: Пищевая пром-сть, 1983. – 432 с.
3. Технология молока и молочных продуктов/ Г.В. Твердохлеб, З.Х. Диланян, Л.В. Чекулаева, Г.Г. Шилер. – М.: Агропромиздат, 1991. – 463 с.
4. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості/ І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов, В.Г. Мирончук, А.І. Українець, О.Т. Лісовенко, В.М. Таран, В.М. Гуцалюк, В.Л. Яровий, І.М. Литовченко, Н.М. Пушанко. За ред. академіка УААН Гулого І.С. – Вінниця: Нова книга, 2001. – 576 с.
5. Бородин В.А., Дитяткин Ю.Ф., Клячко Л.А., Ягодкин В.И. Распыливание жидкостей. – М.: Машиностроение, 1967. – 262 с. 3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [В 3 т.] – М.: Машиностроение, 1982. (Т.1. – 729 с. Т.2. – 584 с. Т.3. – 576 с.)
6. Головачевский Ю.А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности. М.: Машиностроение, 1974. – 271 с.
7. Гончаров Н.Н. Справочник механика молочной промышленности. – М.: Пищепромиздат, 1959. – 657 с.
8. Золотин Ю.П., Френклах М.Б., Пашутин Н.Г. Оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: Агропромиздат, 1985. – 270 с.
9. Липатов Н.Н., Харитонов В.Д. Сухое молоко. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 264 с.
10. Лыков М.В., Леончик Б.И. Распылительные сушилки. – М.: Машиностроение, 1966. – 328 с.
11. Примеры и задачи по курсу технологического оборудования предприятий молочной промышленности / Г.Ф. Аболмасов и др. – М.: Машиностроение, 1966. – 287 с.

12.Киркач Н.Ф., Баласаян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин, ч.1. – Харьков: Вища школа, 1987. – 136 с.

13.Киркач Н.Ф., Баласаян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин, ч.2. – Харьков: Вища школа, 1988. – 142 с.

14.Крусь Г.Н., Тиняков В.Г., Фофанов Ю.Ф. Технология молока и оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: Агропромиздат, 1986. – 280 с.

15.Красов Б.В. Монтаж и ремонт оборудования предприятий молочной промышленности. – М.: Пищевая про-сть, 1973. – 305 с.

16.Гальперин Д.М. Оборудование молочных предприятий: монтаж, наладка, ремонт: Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 352 с.

17.Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф., Вендичанський В.Н., Литвиненко А.М., Іваненко О.В. Основи охорони праці.– К.: Основа, 2000.– 416 с.

18.Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф., Вендичанський В.Н., Литвиненко А.М., Іваненко О.В. Охорона праці. Лабораторний практикум. Для студентів вищих закладів освіти України. – К.: Основа, 1998. – 224 с.