

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Геннадій ВАРЛАМОВ

(підпис)

“ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломний проект  
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: «Розпилювальна дискова сушильна установка для виробництва сухого  
молока»

Виконала: студентка IV курсу, групи ТП - 61

Племянник Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник доцент, к.т.н, доц. Володимир СЕРЕДА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н, доц. Юрій ПОЛУКАРОВ

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Геннадій ВАРЛАМОВ  
(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
на дипломний проект студенту  
Племяннику Дмитру Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема проекту «Розпилювальна дискова сушильна установка для виробництва сухого молока»

керівник проекту Середа Володимир Володимирович, к.т.н ,доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 25 » травня 2020 р. № 1168 - с

2. Термін подання студентом проекту 16.06.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту: 1) Жирність молока, що постачається до заводу – 3,4%.

2) Розрахункова кількість змін роботи на ділянці за добу – 1 зміна.

3) Розрахункова кількість змін роботи на ділянці за рік – 229 змін.

4) Потужність ділянки по виробництву сухого знежиреного молока за зміну складає – 5,25 тон.

5). Продуктивність сушильної установки по випареній волозі – 1000 кг/год.

6). Температура сушильного агенту перед і після сушильної камери – 190 °С і 90 °С відповідно.

7). Витрата сушильного агенту – 22200 м<sup>3</sup>/год.

8). Початкова вологість знежиреного сухого молока – 55 %, кінцева – 5 %.

4. Зміст пояснювальної записки: 1). Технологічний розрахунок сушильної установки.

2). Тепловий розрахунок дискової сушарки.

3). Розрахунок скрубера Вентурі.

4). Вибір додаткового обладнання.

5). Конструктивний розрахунок розпилювача.

6). Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо).

1). Теплова схема установки – 1 арк.

2). Креслення загального виду дискової сушарки – 1 арк.

3). Креслення загального вигляду скрубера Вентурі – 1 арк.

4). Креслення загального вигляду розпилювального диску – 1 арк.

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Юрій ПОЛУКАРОВ, доцент		

7. Дата видачі завдання 19.05.20 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Технологічний розрахунок		
	сушильної установки	23.05.20 р.	
2.	Тепловий розрахунок сушильної		
	установки	26.05.20 р.	
3.	Конструктивний розрахунок		
	скрубера Вентурі	01.06.20 р.	
4.	Вибір додаткового обладнання	04.06.20 р.	
5.	Конструктивний розрахунок		
	розпилювача	06.06.20 р.	
6.	Охорона праці	06.06.20 р.	
7.	Креслення	06.06.20 р.	
7.1	Теплова схема установки.	23.05.20 р.	
7.2	Загальний вид.	26.05.20 р.	
7.3	Скрубер Вентурі	01.06.20 р.	
7.4	Диск розпилювальний	06.06.20 р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки	10.06.20 р.	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дмитро ПЛЕМЯННИК

(ім'я, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Володимир СЕРЕДА

(ім'я, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

# **Пояснювальна записка**

## **до дипломного проекту**

на тему: «Розпилювальна дискова сушильна установка для виробництва сухого  
молока»

Київ – 2020 року

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проект першого (бакалаврського) рівня вищої освіти на тему: «Розпилювальна дискова сушильна установка для виробництва сухого молока»: пояснювальна записка на 67 с., 3 рис., 4 табл., 21 бібліографічних найменувань; 1 дод.; креслень – 3 арк. ф. А1 та 1 арк. ф. А2.

Сушильна установка знаходиться на Пирятинському сирзаводі у м. Пирятин, Полтавської області.

Мета проекту – модернізувати та вдосконалити дискову сушильну установку для виробництва сухого молока. Модернізація установки дозволить збільшити її продуктивність по сухому молоку та ККД процесу сушіння. Це призведе до підвищення ефективності роботи установки та економії первинних енергоресурсів.

Використані методики теплових, аеродинамічних, гідравлічних та міцнісних розрахунків теплотехнологічного обладнання.

За результатами розрахунків сушильної установки спроектовано розпилювальний диск та скруббер Вентурі. Також підібрано допоміжного обладнання, зокрема: калорифер для підігріву сушильного агенту, вентилятори, насоси, електродвигуни.

Збільшення продуктивності досягається зміною конструкції розпилювального диску. А саме, збільшенням кількості сопел диску з 6 до 8 штук. Геометричні розміри сушильної башти суттєво не змінюються.

На кресленнях наведені теплова схема сушильної установки, креслення загального вигляду сушильної установки, скрубера Вентурі та розпилювального диску.

*Ключові слова:* сушильний агент, сухе молоко, вентилятор, насос, калорифер, скруббер, розпилювач.

## ANNOTATION

Diploma project of the first (bachelor's) level of higher education on the topic: "Spray disk drying unit for milk powder production": explanatory note for 67 pages, 3 figures, 4 tables, 21 bibliographic titles; 1 app.; drawings - 3 sheets. f. A1 and 1 sheet. f. A2.

The drying plant is located at the Pyriatyn Cheese Factory in Pyriatyn, Poltava region.

The aim of the project is to modernize and improve the disk drying unit for milk powder production. Modernization of the plant will increase its productivity in milk powder and efficiency of the drying process. This will increase the efficiency of the installation and save primary energy resources.

Methods of thermal, aerodynamic, hydraulic and strength calculations of thermal equipment are used.

According to the results of the calculations of the drying unit, a spray disk and a Venturi scrubber were designed. Auxiliary equipment is also selected, in particular: heater for heating the drying agent, fans, pumps, electric motors.

Increased productivity is achieved by changing the design of the spray disk. Namely, increasing the number of disk nozzles from 6 to 8 pieces. The geometric dimensions of the drying tower do not change significantly.

The drawings show the thermal diagram of the drying unit, the general view of the drying unit, the Venturi scrubber and the spray disk.

Key words: drying agent, milk powder, fan, pump, heater, scrubber, spray.

## АННОТАЦИЯ

Дипломный проект первого (бакалаврской) уровня высшего образования на тему: «Распылительная дисковая сушильная установка для производства сухого молока»: пояснительная записка на 67 с., 3 рис., 4 табл., 21 библиографических наименований; 1 прилож.; чертежей - 3 л. ф. А1 и 1 л. ф. А2.

Сушильная установка находится на Пирятинский сырзавод в г.. Приятно, Полтавской области.

Цель проекта - модернизировать и усовершенствовать дисковую сушильную установку для производства сухого молока. Модернизация установки позволит увеличить ее производительность по сухому молоку и КПД процесса сушки. Это приведет к повышению эффективности работы установки и экономии первичных энергоресурсов.

Использованные методики тепловых, аэродинамических, гидравлических и прочностных расчетов теплотехнологического оборудования.

По результатам расчетов сушильной установки спроектированы пыльный диск и скруббер Вентури. Также подобрано вспомогательного оборудования, в частности: калорифер для подогрева сушильного агента, вентиляторы, насосы, электродвигатели.

Увеличение производительности достигается изменением конструкции пыльного диска. В частности, увеличением количество сопел диска с 6 до 8 штук. Геометрические размеры сушильной башни существенно не изменяются.

На чертежах приведены тепловая схема сушильной установки, чертежи общего вида сушильной установки, скруббера Вентури и пыльного диска.

Ключевые слова: сушильный агент, сухое молоко, вентилятор, насос, калорифер, скруббер, распылитель.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, скорочень, термінів .....	9
Вступ .....	12
1 Технічний розрахунок сушильної установки .....	15
1.1 Розрахунок продуктивності .....	15
1.2 Опис конструкції сушильної установки .....	16
1.3 Розрахунок процесу сушіння .....	17
2. Тепловий розрахунок дискової сушарки .....	18
2.1 Визначення основних параметрів.....	18
2.2 Розрахунок ізоляції сушильної камери .....	21
3 Розрахунок скрубера Вентурі .....	22
3.1 Розрахунок параметрів нормалізованої труби .....	22
3.2 Розрахунок швидкостей руху повітряного потоку в трубі Вентурі .....	23
3.3 Гідравлічний опір скрубера Вентурі .....	24
3.4 Розрахунок геометричних розмірів краплеуловлювача .....	26
3.5 Розрахунок насоса подачі знежиреного молока в трубу Вентурі .....	28
4 Вибір додаткового обладнання .....	31
4.1 Перевірочний розрахунок нагнітаючого вентилятора .....	31
4.2 Перевірочний розрахунок циклонів .....	34
4.3 Перевірочний розрахунок калорифера для підігрівання повітря, яке подається в сушильну камеру .....	35
5 Конструктивний розрахунок розпилювача.....	37
5.1 Розрахунок розпилювального диску .....	37
5.2 Розрахунок приводу розпилювача.....	39
5.3 Розрахунок пасової передачі розпилювача.....	40
5.4 Розрахунок валу розпилювача .....	44
5.5 Розрахунок і вибір підшипників шпонки.....	49
6 Охорона праці.....	52
6.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів.....	52
6.2 Пожежна безпека.....	60
Висновки .....	61

					<b>ТП 61 10 007 ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Племянник			Розпилювальна дискова сушильна установка. Пояснювальна записка	Стадія	Аркуш	Аркушів
Керівник		Середа				П П Б	7	64
П.контр						НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ТЕФ, ТПТ		
Н.контр		Боженко						
Зав. каф.		Варламов						



Перелік посилань.....	62
Додаток А	
Перевірка дипломного проекту на академічний плагіат .....	64

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

### Умовні позначення

$J$  – вміст жиру;

$CЗМ$  – сухе знежирене молоко

$K$  – кількість знежиреного молока;

$C$  – вихід знежиреного молока;

$\omega$  - вологість молока, швидкість каплі;

$W$  – кількість видаленої вологи;

$t$  – температура;

$m$  - маса;

$G$  – продуктивність;

$D$  – діаметр, витрата пари;

$q$  – допустима напруга;

$H$  – геометрична висота;

$V$  – об'єм;

$R, r$  – радіус;

$Q$  – кількість теплоти;

$h$  – ентальпія;

$d$  – вологість повітря;

$\varphi$  – відносна вологість;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії;

$\tau$  – термін, термічний коефіцієнт розпилювальної сушильної установки;

$B$  – вологість згущеного молока;

$\delta$  – товщина ізоляційного шару;

$q_n$  – гранично допустимі втрати;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт опору тертя;

$l$  – довжина;

$\alpha$  – кут конфузору, кут обхвату шківа;

$V_2$  – об'ємна витрата повітря;

$v_2$  – швидкість повітря;

$F$  – площа поперечного перерізу;

$\Delta p$  – гідравлічний опір;

$M$  – число Маха, момент згину;

$\xi$  – коефіцієнт гідравлічного опору, коефіцієнт місцевих опорів;

$\rho$  – густина;

$P$  – тиск;

$\sigma$  – допустиме напруження, поверхневий натяг;

$S$  – товщина стінки;

$\ell$  – довжина трубопроводу;

$Re$  – число Рейнольдса;

$n$  – частота обертів;

$N$  – потужність;

$Z$  – висота лопасті;

$f$  – живий переріз калорифера;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі;

$\kappa$  – дослідний коефіцієнт;

$T$  – крутильний момент;

$v$  – швидкість паса;

$I$  – передаточне число передачі;

$b$  – ширина;

$A$  – площа перерізу паса;

$R$  – навантаження на валу;

$a$  – міжосьова відстань;

$L$  – розрахункова довговічність, об'єм всмоктувального повітря;

$x_{кр}$  – відстань від припливного отвору до критичного перерізу

### Скорочення

СНиП – Строительные нормы и правила;

ДБН – Державні будівельні норми;

ДСН – державні санітарні норми;

ГОСТ – государственный стандарт.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Індекси

<p>«нижні»</p> <p>з.м. – знежирене молоко;</p> <p>в. – вершки;</p> <p>м. н. – незбиране молоко;</p> <p>М.сеп. – молоко на сепарування;</p> <p>прод. – продуктивне;</p> <p>к. – камера;</p> <p>кон. – конічне;</p> <p>ц. – циліндрична;</p> <p>г.п. – гріюча пара;</p> <p>к. – конденсату;</p> <p>вих.к. – виходить з калорифера;</p> <p>вх.к.. – входить у калорифер;</p> <p>вих.с.б. – виходить з сушильної</p>	<p>ст. – статичний;</p> <p>опт. – оптимальна;</p> <p>с. – сопел;</p> <p>мех. – механічний</p> <p>дв. – двигун;</p> <p>сум. – сумарний;</p> <p>екв. – еквівалентний;</p>
--	---

башти;

вид. – видаляється;

р. – рівноважна;

п. – повітря;

г. – горловина;

В. – Вентурі;

т – труба;

рід. – рідина;

сух. – сухої;

зв. – звуку;

к.в. – краплевловлювач;

с.в. – скурубер Внтурі;

об. – оболонка;

тах. – максимальна;

н. – надлишковий;

аб. – абсолютний;

тр. –труби;

р.звуж. – різкі звуження;

соп. – сопла;

дин. – динамічний;

«верхні»

п – початок;

к – кінець;

ср – середня.

## ВСТУП

Харчова промисловість України – одна із провідних галузей народногосподарського комплексу. За обсягом валової продукції вона займає друге місце після машинобудування і металообробки, третє за кількістю робітників, п'яте – за вартістю основних виробничих фондів. Харчова промисловість об'єднує 22 спеціалізовані галузі, що включають більше 40 основних виробництв. В цілому в Україні вона виробляє на даний час більше 10 тисяч найменувань продукції.

Випуск високоякісної харчової продукції можливий тільки за умов використання сучасних видів технологічного обладнання. Досягнення високих технічних показників у його роботі забезпечує добре знання суті фізико-хімічних процесів, які відбуваються на різних стадіях виробництва, будови технологічного обладнання та прийомів раціональної його експлуатації. Це полегшує оцінку досконалості обладнання, сприяє підвищенню його надійності та довговічності, забезпечує правильний вибір потужності та режиму роботи.

Молочна промисловість України складається з чотирьох складних, і самостійних галузей: маслоробну, сироробну, незбираномолочну і молочноконсервну. Тому що молоко є сировиною для виготовлення таких важливих продуктів як сир, морозиво, масло, вершки, консервоване, незбиране і знежирене молоко, творожні вироби і т. д.

На теперішній час незбиране молоко погано реалізується, з-за того, що населення потребує більш збалансованого продукту (а саме, співвідношення жирності, білків та різних наповнювачів), і в літній період особливо швидко стає непридатним до вживання. Я пропоную частину молока переробити в сухе знежирене молоко, яке добре зберігається. Все сухе молоко буде використовуватись на підприємстві для виробництва інших молочних продуктів.

АТ «Пирятинський сирзавод» — одне з найбільших підприємство харчової, зокрема сиро-молочної промисловості, збудоване в місті Пирятині Полтавської області, є складовою групи компаній «Молочний альянс»; у 2-й половині 2000-х років було провідним у своїй галузі не тільки в Полтавському регіоні, а і по країні в цілому, за весь період свого існування отримало велику кількість відзнак і нагород за характеристики і якість продукції, яка виробляється від імені торгової марки «Молочний Шлях».

На даний момент АТ «Пирятинський сирзавод» є юридичною особою, яка спрямовує свою роботу на базі Статуту і корегує її на найбільш цілісне задоволення потреб населення в продовольчих товарах, об'єднуючи інтереси членів трудового колективу і населення, для якого виробляється їх продукція.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною сферою діяльності підприємства є організація і проведення закупки молока у сільгоспвиробників і населення для подальшої ефективної переробки всіх його складових на високоякісні продукти, для подальшої реалізації їх на внутрішньому ринку України.

На підприємстві розмішена ділянка для виробництву казеїн, виробництво якого для підприємства на даний момент стало не вигідним. Пропоную замість сушарки для казеїн, установити сушарку для виробництва сухого молока, на дискову розпилювальну установку продуктивністю по випареній волозі 1000 кг/год.

Все сухе молоко буде використане на підприємстві у виробництві інших молочних продуктів.

Молочні продукти які виробляються за рахунок додавання сухого знежиреного молока:

- сир-кисломолочний;
- йогурт;

Підприємство використовує електроенергію з міської електромережі. Для зниження струму (з 10000 до 400В) на території заводу спроектовані два силових трансформатори ТМЗ-1000/10 та ТМЗ-630/10. Електроенергія підводиться до трансформаторів через два незалежних вводи. Напруга в мережі проходить через трансформатори і направляється групі споживачів. При компенсації реактивної потужності використовують конденсаторні батареї, які функціонують як в ручному так і в автоматичному режимі роботи. На заводі широко застосовуються трьох фазні асинхронні електродвигуни з коротко замкнутим ротором різноманітної потужності (від 1кВт до 160кВт).

Водопостачання для господарських та виробничих потреб відбувається на 42% з міської мережі та на 58% з чотирьох артезіанських свердловин в загальному об'ємі 2310 м<sup>3</sup>/добу. Вся вода, яка використовується на підприємстві, відноситься до категорії „свіжої питної”, яка відповідає вимогам ГОСТ 2974-82 „Вода питна”. Артезіанська свердловина розмішена в підземній шахті, глибиною 54м. Також на території підприємства розмішена водонапірна башта ємністю 40м<sup>3</sup>.

Компресорна ділянка основного виробництва по переробці молока розроблена з використанням 15 компресорних агрегатів, з них АУУ-400 поршневі – 8 штук, ВХ-350 відцентрові – 7 штук.

Холодильні установки працюють на зниження температури води, яка направляється в основні виробничі цехи на охолодження продукту, а також на систему розсолу.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При відбирання тепла від холодоносія аміак закипає у випарнику. Пари у випарнику відсмоктуються компресором з випарника і потім нагнітаються в конденсатор до тиску конденсації (10 атм.), де пари аміаку конденсуються, перетворюючись в рідину потрапляють до ресиверу. Коефіцієнт використання компресорів 65%.

На території підприємства розмішена автономна котельня для потреб виробництва, яка забезпечує виробництво гарячою водою і паром, які необхідні для технологічних потреб заводу і для опалення приміщень. В котельні встановлено парові котли типу ДКВР-6,5/13, ДЕ-10-14-2, парогенератори РВ-50 NT тип 16кг/см<sup>2</sup>, НВЕ-60, 16мПа які функціонують на газу. Живлення котлів здійснюється хімічно очищеною водою з артезіанської свердловини.

Відведення відпрацьованої води здійснюється шляхом скидання стічних вод у каналізацію, де вода підлягає повному біологічному очищенню. Стічні води після попереднього очищення надходять до міської очисної споруди. Також на території заводу передбачена об'єднана протипожежна система водопостачання.

Після технічного переоснащення ділянки по виробництву СЗМ ми зможемо збільшити обсяги виробництва (продуктивності установки), і прибуток завдяки зменшенню витрат по статті „Енергоресурсів” (встановивши при цьому іншу конструкцію розпилювального диску).

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

## 1.1 Розрахунок продуктивності

Вихідні дані для розрахунку:

- жирність молока, що постачається на заводі і становить –  $J = 3,4\%$ ;
- 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 тони.

Таблиця 1.1 – Вихідні данні для розрахунку

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

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

Згідно нормам витрат сировини на виготовлення однієї тони сухого знежиреного молока в якості сировини необхідно 12,4 тони знежиреного молока.

Необхідна кількість знежиреного молока, т, для отримання 5,25 тони сухого молока за одну робочу зміну:

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

Вихід знежиреного молока, %

$$C_{з.м.} = \frac{100 \cdot (J_{в} - J_{м.н.})}{(J_{в} - J_{з.м.})}, \quad (1.1)$$

де  $J_{в}$  – вміст жиру у вершках, %;

$J_{м. н.}$  – вміст жиру у незбираному коров'ячому молоці, %;

$J_{з.м.}$  – вміст жиру у знежиреному молоці, %;

Тоді:



$$C_{з.м.} = \frac{100 \cdot (35 - 3,4)}{(35 - 0,05)} = 90,41 \, \%$$

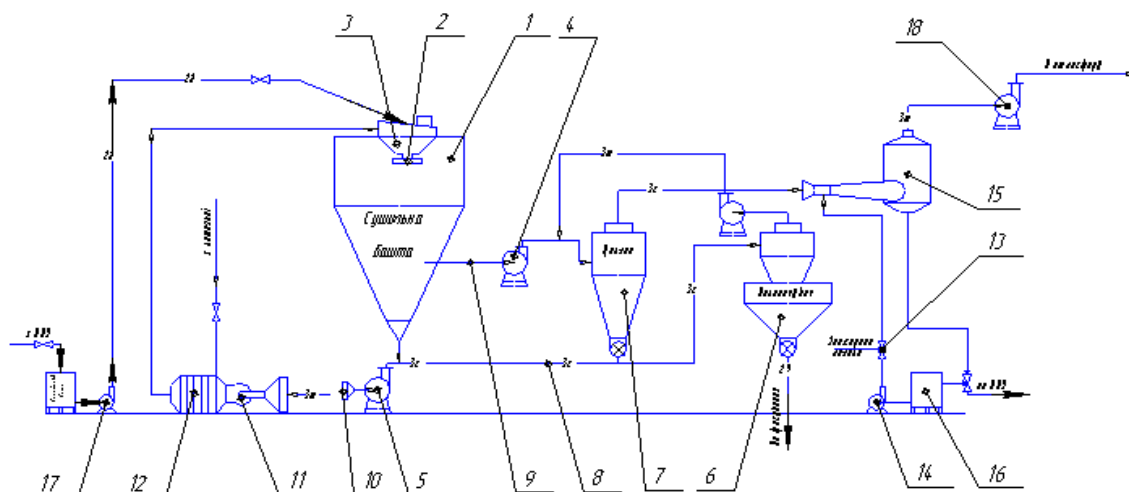
Кількість молока направлено на сепарування, т/зміну

$$K_{М. сеп.} = \frac{100 \cdot K_{з.м.}}{C_{з.м.}}, \quad (1.2)$$

$$K_{М. сеп.} = \frac{100 \cdot 65,1}{90,41} = 72 \, \text{т/зміну}.$$

## 1.2 Опис конструкції сушильної установки

Сушильна установка (рис.1.) складається з вертикальної сушильної камери 1, яка має конічне днище, циклони та допоміжні пристрої. В центрі верхньої частини сушильної камери змонтований пристрій для повітряних потоків 3 і дисковий розпилювач 2.



1 – сушильна башта; 2 – розпилювач; 3 – пристрій для розподілення повітряних потоків; 4 – вентилятор для відсмоктування відпрацьованого повітря; 5 – вентилятор для транспортування сухого порошку; 6 – розвантажувальний циклон; 7 – батарея циклонів; 8 – пневмотранспортна лінія; 9 – трубопровід для відсмоктування 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 скруббер; 15 – скруббер; 16 – ємкість для молока; 17 – насос для подачі молока; 18 – вентилятор для відведення відпрацьованого повітря в атмосферу

Рис.1.1 – Прямоточна дискова розпилювальна установка для виробництва сухого знежиреного молока.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частота обертання розпилювача  $200\text{ с}^{-1}$ .

Повітря, яке надходить для виконання процесу сушіння, нагрівається в калорифері 12 при тиску пари  $11 \cdot 10^5\text{ Па}$ .

Повітря подається нагнітаючим вентилятором 11 високого тиску. В пристрої для розподілу потоків повітря, воно закручується в напрямку протилежному раніше заданому напрямку руху частинок розпилювальної речовини. Згущене молоко подається в сушильну камеру по трубопроводу за рахунок роботи нагнітача 17.

Пневмотранспортування сухого молочного порошку забезпечується повітрям, яке відбирається з приміщення цеху допоміжним вентилятором 5. Перед пневмотранспортною лінією повітря проходить процес очищення в фільтрах 10 із змінними елементами.

Повітря з найбільш малими фракціями молочного порошку, яке вже виконало свою роботу в процесі сушіння, відводиться через спеціальний патрубок 9 з робочої зони сушарки за допомогою вентилятора 4 до батареї циклонів 7 для подальшого очищення. Із циклонів повітря надходить до двох скрубєрів вологої очистки повітря 15 де остаточно очищається. В якості змочувальної рідини для скрубєрів є знежирене молоко, яке з бака 16 насосом 14 через трьохходовий кран 13 поступає до зрошувального пристрою скрубєра. Потім вентилятором 18, очищене повітря виводиться в навколишнє середовище.

Висушений молочний порошок по кінчному днищу сушильної камери осипається в пневмо-транспортну 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. Через недостатній ступінь очистки, повітря з розвантажувального циклона повертається у повітропровід, по якому відпрацьоване повітря з сушильної камери направляється до батареї циклонів.

### 1.3 Розрахунок процесу сушіння

Приймаємо параметри сушильного процесу:

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

$W_1 = 1000\text{ кг/год}$  – кількість видаленої вологи;

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

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

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

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Знаходимо масу молока, кг/год яка надходить на сушку:

$$m = \frac{W}{1 - \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}}, \quad (1.3)$$

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

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

$$G = m \cdot \left( \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \right), \quad (1.4)$$

$$G = \left( \frac{100 - 55}{100 - 5} \right) = 900 \text{ кг/год.}$$

Кількість видаленої вологи при цьому буде, кг/год:

$$W_2 = m - G, \quad (1.5)$$

$$W_2 = 1900 - 900 = 1000 \text{ кг/год.} \quad (1.6)$$

З урахуванням ККД установки який може бути в межах 80 – 85%, приймаємо ККД – 83%, перераховуємо продуктивність установки з урахуванням ККД:

$$G_{\text{prod}} = G \cdot 0,83, \quad (1.7)$$

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

Знаходимо діаметр сушильної камери, м:

$$D = 1,05 \cdot \sqrt[3]{\frac{W_1}{q}}, \quad (1.8)$$

де:  $W_1$  – годинна продуктивність по випареній волозі, кг/год;

$q$  – допустима напруга об'єму камери,  $q = 4,5$  МПа.

Тоді:

$$D = 1,05 \cdot \sqrt[3]{\frac{1000}{4,5}} = 6,36 \text{ м.}$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо висоту камери, м:

$$H = 1,2 \cdot D, \quad (1.9)$$

$$H = 1,2 \cdot 6,36 = 7,6 \text{ м.}$$

Знаходимо об'єм сушильної камери з рівняння, м<sup>3</sup>:

$$V_k = \frac{W}{A}, \quad (1.10)$$

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

Тоді:

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

Об'єм конічної частини камери буде дорівнювати:

$$V_{\text{кон}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot H_{\text{кон}} \cdot (R_k^2 + r_{\text{кон}}^2 + R_k \cdot r_{\text{кон}}). \quad (1.11)$$

де  $R_k$  – радіус камери, м;

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

$H_{\text{кон}}$  – висота конуса, м.

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

Тоді:

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

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

$$V_{\text{ц}} = V_k - V_{\text{кон}}, \quad (1.12)$$

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

а висота її буде:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}}{\frac{\pi}{4} \cdot D_k^2}, \quad (1.13)$$

$$H_{\text{ц}} = \frac{112,5}{\frac{3,14}{4} \cdot 6^2} = 4,5 \text{ м.}$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДИСКОВОЇ СУШАРКИ

### 2.1 Визначення основних параметрів

Вихідні дані для розрахунку:

- продуктивність сушильної установки по випареній волозі  $G = 1100$  кг/год;
- температура повітря в цеху  $t_A = 20^\circ\text{C}$ ;
- температура гарячого повітря, що поступає в сушильну камеру  $t_B = 190^\circ\text{C}$ ;
- температура гарячого повітря, що покидає робочу зону сушильної камери  $t_C = 90^\circ\text{C}$ ;
- початкова вологість знежиреного молока  $\omega_1 = 55\%$ ;
- кінцева вологість сухого знежиреного молока  $\omega_2 = 5\%$ .

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

$$Q = G_{\pi} (h_1 - h_0), \quad (2.1)$$

де  $h_0, h_1$  – ентальпія повітря калорифера на вході і на виході з нього, кДж/кг;

$G_{\pi}$  – кількість повітря для висушування, кг;

Кількість повітря знаходимо за формулою, кг:

$$G_{\pi} = \frac{1000 \cdot W}{(d_2 - d_0)}, \quad (2.2)$$

де  $W$  – кількість випареної вологи в сушильній камері, кг/год;

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

Для знаходження ентальпії і вологовмісту повітря необхідно побудувати процес сушки в  $h - d$  діаграмі (рис.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  $20^\circ\text{C}$  і відносній вологості  $\varphi=70\%$ , на перетині цих двох ліній отримаємо точку А, по якій знаходимо вологовміст  $d_o=10$  г/кг сухого повітря і ентальпію  $h_o=45$  кДж/кг. Далі повітря поступає в калорифер, де нагрівається при постійному вологовмісті до  $190^\circ\text{C}$ . В результаті перетину лінії  $d_o=10$  г/кг сухого повітря з ізотермою  $t=190^\circ\text{C}$  отримаємо точку В, що характеризує параметри повітря на виході з калорифера і вході в сушильну камеру ( $d_1=10$  г/кг сухого повітря,  $h_1=220$  кДж/кг сухого повітря).

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

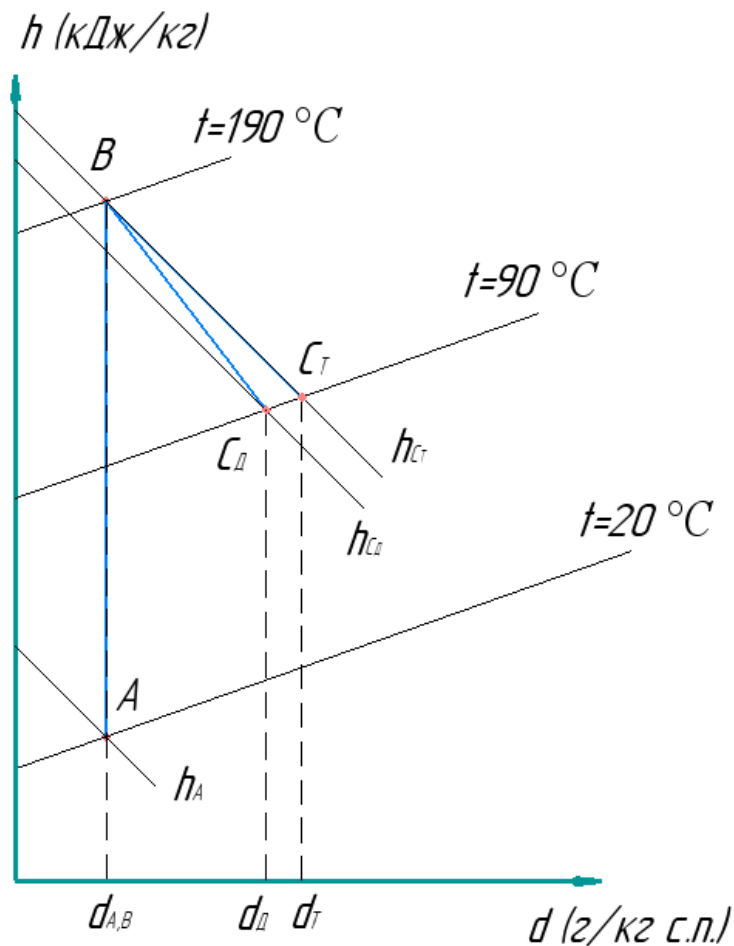


Рисунок 2.1 – Процес сушки в  $h - d$  діаграмі

При теоретичному процесі сушки повітря, що поступає в сушильну камеру, віддає тепло на випаровування води з матеріалу і сприймає його назад разом з випареною водою, тому в процесі сушки ентальпія повітря залишається незмінною. Знаючи кінцеву температуру повітря, що виходить з сушильної камери, можна отримати на перетині лінії  $h=220$  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,  $h_2=220$  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.1). 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, кг:

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

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Кількість теплоти, затраченої на сушіння, кДж:

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

Витрати пари  $D$  на нагрівання повітря розраховуємо за формулою, кг/год:

$$D = \frac{Q}{[(h_{г.п.} - h_{к.}) \cdot \eta]}, \quad (2.3)$$

де  $h_{г.п.}, h_{к.}$  – ентальпія гріючої пари і конденсата, кДж/кг;

$\eta = 0,95$  – ККД калорифера;

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

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

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

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

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:

$$\tau = \frac{(t_{вих.к.} - t_{вих.с.б.})}{(t_{вих.к.} - t_{вх.к.})}, \quad (2.4)$$

де  $t_{вих.к.}, t_{вх.к.}, t_{вих.с.б.}$  – 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 виходить з продукту  $B_{вид.}$  і розраховується за формулою, %:

$$B_{вид.} = B_l - B_p, \quad (2.5)$$

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

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$B_p$  – рівноважна вологість сухого молока, % і розраховується за формулою:

$$B_p = 0,01445 \cdot \varphi_n + \lg(1,423 + 0,00543 \cdot t), \quad (2.6)$$

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

$t$  – температура повітря, °C;

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

Тоді:

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

## 2.2 Розрахунок ізоляції сушильної камери

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, мм здійснюють за формулою:

$$\delta = \frac{\lambda \cdot (t_1 - t)}{q_n}, \quad (2.7)$$

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,  $q_n = 162\text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ ,

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати, при  $t_1 = 190^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 0,095\text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

Тоді:

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

Приймаємо товщину ізоляційного шару 100мм.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3 РОЗРАХУНОК СКРУБЕРА ВЕНТУРІ

#### 3.1 Розрахунок параметрів нормалізованої труби

У нормалізованої труби Вентурі підібрані геометричні співвідношення, що забезпечують мінімальні „шкідливі” гідравлічні втрати при русі по ній газового потоку.

Довжину конфузора  $l_1$ , м знаходимо за формулою:

$$l_1 = \frac{D_1 - D_2}{2 \lg\left(\frac{\alpha_2}{2} - 1\right)}, \quad (3.1)$$

де  $D_1$  – вхідний діаметр конфузора, м;

$D_2$  – діаметр горловини труби Вентурі, м;

$\alpha_1$  – кут звуження конфузора,  $\alpha_1 = 28^\circ$ .

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

Діаметр горловини, м знаходимо за формулою:

$$D_2 = \sqrt{\frac{V_2}{0,758 \cdot v_2}}, \quad (3.2)$$

де  $V_2$  – об’ємна витрата повітря при робочих параметрах горловини  $\text{м}^3/\text{сек.}$ ;

$v_2$  – швидкість повітря в горловині  $\text{м/сек.}$

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

$$V_2 = \frac{21680}{2} = 3 \text{ м}^3/\text{с.}$$

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

$$D_2 = \sqrt{\frac{3}{0,758 \cdot 90}} = 0,198 \text{ м.}$$

Приймаємо  $D_2 = 200$  мм.

Довжина конфузора:

$$l_1 = \frac{0,9 - 0,2}{2 \lg\left(\frac{28}{2}\right)} = 0,2 \text{ м.}$$

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

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжину дифузора  $l_3$ , м знаходимо за формулою:

$$l_3 = \frac{D_2 - D_z}{\lg \frac{\alpha_2}{2}}, \quad (3.3)$$

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

$\alpha_2$  – кут розкриття дифузора  $\alpha_2 = 7^\circ$ .

Тоді:

$$l_3 = \frac{0,3 - 0,2}{\lg \frac{7}{2}} = 0,817 \text{ м.}$$

Приймаємо  $l_3 = 0,82$  м.

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

### 3.2 Розрахунок швидкостей руху повітряного потоку в трубі Вентурі

Швидкість повітряного потоку на вході в конфузор, м/с дорівнює:

$$v_1 = \frac{V_F}{F_1}, \quad (3.4)$$

де  $F$  - площа перерізу вхідного патрубку в конфузор, м<sup>2</sup>.

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3.5)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 0,07 \text{ м}^2.$$

Тоді:

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

Швидкість повітряного потоку в горловині:

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

Швидкість повітряного потоку дорівнює швидкості повітря в конфузові  $v_1 = v_2 = 43$  м/с, так як площа перерізу конфузора  $F_1$  дорівнює площі перерізу дифузора  $F_2 = F_1$ .

### 3.3 Гідравлічний опір скрубера Вентурі

Гідравлічний опір скрубера Вентурі складається з гідравлічного опору труби Вентурі і гідравлічного опору краплевловлювача. Основна частина втрати енергії приводиться на трубу Вентурі. Гідравлічний опір труби Вентурі  $\Delta p$  при подачі в неї зрошувальної рідини, Па, описується рівнянням:

$$\Delta p_B = \Delta p_m + \Delta p_{pid}, \quad (3.6)$$

де  $\Delta p_m$  – гідравлічний опір труби Вентурі, обумовлений рухом повітря (без подачі зрошення), Па;

$\Delta p_{pid}$  – гідравлічний опір труби Вентурі, обумовлений введенням зрошувальної рідини. Па.

Гідравлічний опір „сухої” труби Вентурі  $\Delta p_m$ , Па, знаходимо за формулою:

$$\Delta p_m = \xi_{сyx} \frac{v_z^2 \cdot \rho_m}{2}, \quad (3.7)$$

де  $\xi_{сyx}$  – коефіцієнт гідравлічного опору „сухої” труби Вентурі;

$v_z$  – швидкість газів в горловині труби Вентурі, м/с.

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

$$\xi_{сyx} = 0,165 + 0,034 \left( \frac{\ell_2}{D_\Gamma} \right) - \left( 0,06 + 0,028 \left( \frac{\ell_2}{D_\Gamma} \right) \right), \quad (3.8)$$

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

Тоді:

$$\xi_{сyx} = 0,165 + 0,034 \left( \frac{0,1}{0,2} \right) - \left( 0,06 + 0,028 \left( \frac{0,1}{0,2} \right) \right) \frac{90,0}{340} = 0,169.$$

Гідравлічний опір  $\Delta p_{pid}$  дорівнює:

$$\Delta p_{pid} = 0,169 \frac{90^2 \cdot 1,2}{2} = 365 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір труби Вентурі, обумовлений введенням зрошувальної рідини  $\Delta p_{pid}$ , Па, знаходиться за формулою:

$$\Delta p_p = \xi_p \frac{v_\Gamma^2 \cdot \rho_m}{2} m, \quad (3.9)$$

де  $\rho_m$  – густина знежиреного молока,  $\rho_m = 1036$  кг/м<sup>3</sup>;

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\xi_p$  – коефіцієнт гідравлічного опору, який враховує введення в трубу Вентурі зрошувальної рідини;

$m$  – питоме зрошення труби Вентурі,  $m = (0,4 \dots 1,7) \text{ л/м}^3$ .

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

$$\Delta p_{pid} = 1,5 \frac{90^2 \cdot 1036}{2} 0,001 = 1243 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір труби Вентурі, Па:

$$\Delta p_{TB} = \Delta p_{\Gamma} + \Delta p_{pid}, \quad (3.10)$$

$$\Delta p_{TB} = 365 + 1243 = 1608 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір краплєвловлювача, Па

$$\Delta p_{к.в} = \xi_y \frac{v_y^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (3.11)$$

де  $\xi_y$  – коефіцієнт гідравлічного опору для приточного циклона,  $\xi_y = 33$ ;

$v_y$  – швидкість газів в перерізі, м/с рекомендується приймати  $2,5 \dots 5$ ;

$\rho_2$  – густина рідинно-газової суміші,  $\text{кг/м}^3$ , знаходимо за наступною формулою:

$$\rho_2 = \rho_z \cdot \rho_p \cdot m, \quad (3.12)$$

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

Тоді:

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

Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі буде дорівнювати сумі опорів труби Вентурі та краплєвловлювача, Па

$$\Delta p_{с.в} = \Delta p_{т.в} + \Delta p_{к.в}, \quad (3.13)$$

$$\Delta p_{с.в} = 1608 + 230 = 1838 \text{ Па.}$$

### 3.4 Розрахунок геометричних розмірів краплевловлювача

Діаметр краплевловлювача, м, знаходимо з залежності:

$$Q = v_y \cdot \frac{\pi \cdot d_{к.г}}{4} \Rightarrow \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v_y \cdot \pi}}, \quad (3.14)$$

$$Q \Rightarrow \sqrt{\frac{4 \cdot 3,0}{2,5 \cdot 3,14}} = 0,88 \text{ м.}$$

Висота краплевловлювача, м:

$$H_{к.г} = 2,5 \cdot d_{к.г}, \quad (3.15)$$

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

Визначимо товщину стінки циліндричної оболонки краплевловлювача.

Вихідні дані:

- довжина оболонки  $l_{об}=2,2$  мм;
- внутрішній діаметр краплевловлювача  $B=880$  мм;
- робочий тиск краплевловлювача  $P=0,25$  МПа;
- температура в середині  $t_c=70^0$ ;
- матеріал краплевловлювача – листовий прокат зі сталі ВСт3пс (ДСТУ 2651:2005);
- швидкість корозії  $P=0,1$  мм/год;
- термін експлуатації  $\tau_v=15$  років.
- масу молока в краплевловлювачі не враховуємо.

Розрахункова температура стінки котла  $t = t_c = 70^{\circ}\text{C}$ , так як температура середовища позитивна. Допустиме напруження в робочому стані 210 МПа – для сталі ВСт3пс при температурі  $t = 70^{\circ}\text{C}$  і  $\eta = 1$ , так як апарат виготовлений з листового прокату, то при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_{T_{20}}}{1,1}, \quad (3.16)$$

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

де  $\sigma_{T_{20}}=210$  МПа – для сталі ВСт3пс при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ .

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

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні:

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,25p[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = \frac{0,25 \cdot 0,25 \cdot 140}{120} = 0,0729 \right. \\ \left. p + 0,3 = 0,25 + 0,3 = 0,55 \right\} = 0,73 \text{ МПа}, \quad (3.17)$$

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

Коефіцієнт міцності повздовжніх зварювальних швів оболонок  $\phi = 0.8$ , так як прийнято, що шви з двостороннім суцільним проваром виконуються автоматичною зваркою.

Додатки до розрахункової товщини стінки: для компенсації корозії

$C_{\kappa} = II_{TB} = 0,1 \cdot 15 = 1,5$  мм, ерозії  $c_e = 0$ . Приймаючи  $c_2 = 0$  і  $c_3 = 0$ , отримаємо  $c = c_1 = c_{\kappa} = 1$  мм.

Розрахункова і виконуюча товщина стінки циліндричної обичайки, мм:

$$S_p = \max \left\{ \frac{\frac{P_p c}{2\phi[\sigma] - P_p}}{\frac{P_u c}{2\phi[\sigma] - P_u}} \right\}, \quad (3.18)$$

$$S_p = \max = \left\{ \frac{\frac{0,25 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,8 \cdot 120 - 0,25} = 1,01 \cdot 10^{-3}}{\frac{0,073 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,8 \cdot 190,9 - 0,073} = 0,29 \cdot 10^{-3}} \right\} = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

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

де  $C_0 = 0,2$  мм із умови округлення товщини стінки до найближчої більшої стандартної товщини (ДСТУ 8540:2015).

Так як умова застосування формул виконується:

$$\frac{S - C}{D} < 0,1, \quad (3.19)$$

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

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

### 3.5 Розрахунок насоса подачі знежиреного молока в трубу Вентурі

Вихідні дані:

- годинна витрата знежиреного молока для двох працюючих скрубєрів  $G = 21,68 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- надлишковий тиск в горловині  $P_n$ , утворений насосом:

$$P_n = H_n = 0,03 \dots 0,1 \text{ МПа.}$$

- абсолютний тиск знежиреного молока в горловині  $P_{аб}$ , утворений насосом:

$$P_{аб} = P_{ат} + P, \quad (3.20)$$

$$P_{аб} = 0,13 \dots 0,2 \text{ МПа,}$$

- діаметр трубопроводу  $d=25 \text{ мм}$ ;
- подача рідини на рівень  $H=5 \text{ м}$  від рівня встановлення насоса.

Знаходимо повний напір насоса, м вод. ст

$$H = H_{yp} + H_{надлиш} + H_{втрат}. \quad (3.21)$$

Втрати напору  $H_n$ , м вод. ст., знаходимо за формулою:

$$H_n = \frac{v_p^2}{2g} \left( \lambda \frac{\ell}{d} + \sum \xi_i \right), \quad (3.22)$$

де  $v_p$  – швидкість руху рідини в трубопроводі, м/с;

$\lambda$  – коефіцієнт опору тертя по довжині трубопроводу;

$\xi_i$  – коефіцієнт місцевих опорів;

$\ell$  – довжина трубопроводу  $\ell = 20 \text{ м}$ .

Швидкість руху рідини, м/с знаходимо за формулою:

$$v_{pid} = \frac{Q}{F_{тр}} = \frac{Q \cdot 4}{\pi d^2}, \quad (3.23)$$

$$v_{pid} = \frac{0,003 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,025^2} = 6,13 \text{ м/с.}$$

Знаходимо коефіцієнт опору тертя по довжині трубопроводу для ламінарного руху:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (3.24)$$

для турбулентного руху:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}. \quad (3.25)$$

Для знаходження режиму руху рідини знаходимо число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{v_{\text{pid}} \cdot d}{\vartheta}, \quad (3.26)$$

де  $\vartheta$  - кінематична в'язкість рідини, м<sup>2</sup>/с. для знежиреного молока  $\vartheta = 26 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

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

При Re=5894 режим руху рідини ламінарний, тому:

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

Знаходимо коефіцієнт місцевих опорів:

коліно 90°:

$$\xi_1 = \frac{A}{\text{Re}} + \xi_{\text{кв}}, \quad (3.27)$$

де  $A=130$ ,  $\xi_{\text{кв}} = 0,2$ .

Тоді:

$$\xi_1 = \xi_2 = \frac{130}{5894} + 0,2 = 0,22,$$

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

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

різкі звуження потоку:

$$\xi_{\text{р.звуж}} = \xi_4 = 0,5 \left( 1 - \frac{F_2}{F_1} \right), \quad (3.28)$$

де  $F_1$  – площа поперечного перерізу трубопроводу, м<sup>2</sup>;

$F_2$  – сумарна площа перерізу всіх сопел, м<sup>2</sup>;

$$F_1 = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3.29)$$

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

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



де  $n=16$  – число сопел одного скрубера;  
 $d_{con}=3$  мм – діаметр сопла.

Тоді:

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

Коефіцієнт  $\xi_5$ :

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

Знаходимо втрати напору, м вод. ст.

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

Тоді повний напір насоса дорівнює:

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

По продуктивності  $G=11 \text{ м}^3/\text{год}$  і повному напору  $H=33,5$  м вибираємо насос компанії CAIPEDA марки MXV4 50-1616.

Характеристика насоса MXV4 50-1616

Продуктивність  $G = 11 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Напір  $H = 34,5$  м.

Потужність електродвигуна  $N = 2,2$  кВт.

Число обертів валу  $n = 1450 \text{ с}^{-1}$ .

## 4 ВИБІР ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ

### 4.1 Перевірочний розрахунок нагнітаючого вентилятора

Вихідні дані для розрахунку:

- витрата повітря  $G_n = 28200/1,27 = 22200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- тиск  $P = 2,5 \text{ кПа} = 230 \text{ Н/м}^2$ ;
- становлено вентиляторів відцентрового типу Ц 7-40 №6,3.

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

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

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

Величина статистичного тиску буде дорівнювати:

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

Знаходимо швидкість повітря в нагнітаючому вентиляторі, м/с:

$$C = \sqrt{\frac{2g \cdot P_{\text{дин}}}{\gamma}}. \quad (4.1)$$

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

Тоді:

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

Знайдемо переріз вихідного штуцера,  $\text{м}^2$ :

$$F = \frac{G_n}{C}, \quad (4.2)$$

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

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

$$P = \phi \frac{g_p^2}{g} \gamma, \quad (4.3)$$

де  $\phi$  – коефіцієнт, що залежить від форми лопастей; у вентиляторів Ц 7–40 лопасті

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

радіальні, тому  $\varphi = 0,7-0,9$ , тоді швидкість буде дорівнювати:

$$g = \sqrt{\frac{gP}{\phi\gamma}}, \quad (4.4)$$

$$g = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 250}{0,7 \cdot 1,27}} = 52,5 \text{ м/с.}$$

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

$$g = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} = 52,5 \text{ м/с.} \quad (4.5)$$

Звідки виразимо  $D_2 n$ :

$$D_2 n = 60 \cdot 52,5 / 3,14 = 1003,2,$$

$$D_2 = D_1 / m, \quad (4.6)$$

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:

$$D_2 n = \frac{D_1 n}{m}, \quad (4.7)$$

звідки:

$$D_1 = A \sqrt[3]{\frac{G}{n}}, \quad (4.8)$$

де  $A=3,24-4$ .

Вирішуємо наступні рівняння:

$$D_1 n = D_2 n \cdot m, \quad (4.9)$$

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

$$D_1 = 3,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{22200}{3600 \cdot n}},$$

звідки:

$$n = \frac{853}{D_1}, \quad (4.10)$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звідки виділяємо  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ :

$$n = 853 / m, \quad (4.11)$$
$$n = 853 / 0,85 = 1003,5.$$

Звідси маємо:

$$D_1 = 3,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{22200}{3600 \cdot 1003,5}} = 0,59 \text{ м},$$
$$D_2 = \frac{D_1}{m}, \quad (4.12)$$
$$D_2 = \frac{0,59}{0,85} = 0,59 \text{ м}.$$

Приймаємо  $D_2=600\text{мм}$ , що відповідає діаметру колеса вентилятора Ц 7–40.

Перерахуємо частоту  $n$  і діаметр  $D_1$ :

$$n = \frac{D_2 n}{D_1}, \quad (4.13)$$

де

$$D_1 = D_2 \cdot m, \quad (4.14)$$
$$D_1 = 0,6 \cdot 0,85 = 0,51 \text{ м},$$
$$n = \frac{853}{0,51} = 1672,5 \text{ хв}^{-1}.$$

Висота лопасті в зігнутому вигляді, м:

$$Z = \frac{D_2 - D_1}{2}, \quad (4.15)$$
$$Z = \frac{0,6 - 0,51}{2} = 0,045 \text{ м}.$$

Число лопастей:

$$n_1 = \frac{\pi \cdot D_2}{k}, \quad (4.16)$$
$$n_1 = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{0,15} = 7,5.$$

Приймаємо 8 лопастей.

Характеристика відцентрового вентилятора Ц 7–40:

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G=22200 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\eta = 0,55$$

$$H=250 \text{ кг/м}^2$$

$$N=14 \text{ кВт}$$

$$n=1860 \text{ хв}^{-1}$$

$$D_2 = 600 \text{ мм}$$

Для приводу даного вентилятора підходить двигун АИР160S4 потужністю  $N=15 \text{ кВт}$ ,  $n=1500 \text{ хв}^{-1}$ .

#### 4.2Перевірочний розрахунок циклонів

Вихідні дані для розрахунку:

- кількість повітря, що очищується  $G = 22200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- 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,  $\text{м}^2$ :

$$F = \frac{G_n}{3600 \cdot \varpi_{opt}}, \quad (4.17)$$

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

Тоді:

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

Діаметр циклона, м знаходимо з формули:

$$F = \frac{\pi D^2}{4}; \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (4.18)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,8}{3,14}} = 1,52 \text{ м}.$$

Найближчий стандартний діаметр циклона  $D=1,8 \text{ м}$ , тому ставимо два циклона  $d=1800 \text{ мм}$ .

#### 4.3 Перевірковий розрахунок калорифера для підігрівання повітря, яке подається в сушильну камеру

Вихідні дані для розрахунку:

- кількість повітря, що подається в сушильну камеру,  $G_n=22200$  м<sup>3</sup>/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  $P=1,1$  МПа;
- витрата тепла на нагрівання повітря  $Q=4,9 \cdot 10^6$  кДж/год.

Знаходимо секундну витрату теплоти на нагрівання повітря, кДж/с:

$$Q' = \frac{Q}{3600}, \quad (4.19)$$

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

Необхідний переріз в калорифері для проходження повітря:

$$f = \frac{G \cdot \rho_n}{V}, \quad (4.20)$$

де  $V$  – масова швидкість повітря, приймаємо за економічними міркуваннями в границях  $7\text{--}12$  кг/м<sup>2</sup>·с.

Тоді:

$$f = \frac{22200 \cdot 1,27}{3600 \cdot 7} = 1,14 \text{ м}^2.$$

По отриманому живому перерізу вибираємо калорифер КФБ №12:

- поверхня нагріву –  $69,2 \text{ м}^2$ ;
- живий переріз повітря –  $1,286 \text{ м}^2$ ;
- живий переріз по теплоносію –  $0,0085 \text{ м}^2$ ;

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

$$V = \frac{22200 \cdot 1,27}{3600 \cdot 1,286} = 6,08 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

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

$$F' = \frac{Q'}{K(t_{cp.m} - t_{cp.n})}, \quad (4.21)$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $t_{cp,n}$  – середня температура повітря, °C

$$t_{cp,n} = \frac{t_n + t_k}{2}, \quad (4.22)$$

$$t_{cp,n} = \frac{20 + 190}{2} = 105 \text{ °C},$$

де  $t_{cp,m} = 247 \text{ °C}$  – середня температура теплоносія;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, кВт/м<sup>2</sup>·К для калорифера з теплоносієм, для пару знаходимо за формулою:

$$K = 14,1(V)^{0,366}, \quad (4.23)$$

$$K = 14,1 \cdot 6,08^{0,366} = 0,0273 \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Тоді:

$$F' = \frac{1360}{0,0273 \cdot (247 - 105)} = 350,82 \text{ м}^2.$$

Так, як необхідна гріюча поверхня більша гріючої поверхні калорифера КФБ №12, то необхідно встановити декілька таких калориферів послідовно.

Визначимо число калориферів, встановлених послідовно:

$$n = \frac{F'}{F}, \quad (4.24)$$

$$n = \frac{350,82}{69,2} = 5,07.$$

Заокруглюємо до більшого і приймаємо 6 калориферів.

Визначимо установчу поверхню, м<sup>2</sup>:

$$F'_y = 6 \cdot 69,2 = 415,2 \text{ м}^2.$$

Що дає змогу забезпечити запас поверхні 15,5%.

## 5 РОЗРАХУНОК РОЗПИЛЮВАЧА

### 5.1 Розрахунок розпилювального диску

При розрахунку запропонованого розпилювача, будемо притримуватись вихідними характеристиками старого розпилювального диску.

Вихідні для розрахунку:

- швидкістю вильоту краплі з диску  $\omega=150$  м/с;
- діаметр краплі  $d<50$ мкм;
- дальністю польоту краплі, що обмежується радіусом камери 3м;
- швидкістю обертання диску з 12000об/хв.

Діаметр розпилювача, мм знаходимо за формулою:

$$D = \frac{\omega}{\pi \cdot n}, \quad (5.1)$$

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

Тоді:

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

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

$$R_{\varphi} = \frac{21.7 \cdot d \cdot \rho_m^{cp}}{C \rho_n} \cdot \lg \frac{\omega_n}{\omega_k}, \quad (5.2)$$

де  $\omega_n$  – початкова швидкість польоту каплі,  $\omega_n=150$ 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>,

$$\rho_m^{cp} = \frac{\rho_m^n + \rho_m^k}{2}, \quad (5.3)$$

$\rho_m^n$ ,  $\rho_m^k$  – густина молока на початку та в кінці процесу,  $\rho_m^n=1080$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_m^k = 800$  кг/м<sup>3</sup>.

Тоді:

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

$C$  – коефіцієнт,  $C = 1,3$ ;

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$\rho_n$  – 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, мкм знаходять за формулою:

$$d = \frac{98,5}{n} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_i \cdot R_d \cdot g}}, \quad (5.4)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг, Н/м;  $R_d$  – радіус диска м,

Тоді:

$$d = \frac{98,5}{12000} \cdot \sqrt{\frac{0,042}{1080 \cdot 0,125 \cdot 9,81}} = 0,000046 = 46 \text{ мкм.}$$

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

$$R_\varphi = \frac{21,7 \cdot 46 \cdot 10^{-6} \cdot 940}{1,3 \cdot 1,27} \cdot \lg \frac{150}{0,5} = 1,4 \text{ м.}$$

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

Діаметр каналу сопел знаходимо, м за формулою:

$$d_c = 18,8 \sqrt{\frac{m}{i \cdot \rho_m \cdot \omega}}, \quad (5.5)$$

де  $i$  – кількість сопел;  $i=6$ .

Тоді:

$$d_c = 18,8 \sqrt{\frac{1900}{6 \cdot 1080 \cdot 150 \cdot 3600}} = 14 \text{ мм.}$$

Отже, після розрахунку запропонованого розпилювального диску, збільшимо продуктивність сушарки на 10%. Для чого необхідно збільшити подачу молока, яка надходить на сушку з 1900 кг/год до 2090 кг/год, відповідно продуктивність установки по висушеному матеріалу буде становить 990 кг/год, а з урахуванням ККД установки – буде становить 825 кг/год; кількість видаленої води 1100 кг/год. Геометричні розміри сушильної башти суттєво не зміняться, тобто допускається залишити старі геометричні розміри сушильної башти.

Для збільшення продуктивності необхідно лише змінити конструкцію розпилювального диску. А саме, я пропоную збільшити кількість сопел диску з 6 до 8 штук. І зробити перевірочний розрахунок приводу, тепловий розрахунок, розрахунок нагнітаючого вентилятора (подачу повітря для сушки), циклонів та калорифера для підігрівання повітря.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді діаметр каналу сопел знаходимо за формулою:

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{m}{i \cdot \rho_m \cdot \omega}}, \quad (5.6)$$

звідки:

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{2090}{8 \cdot 1080 \cdot 150 \cdot 3600}} = 12 \text{ мм.}$$

## 5.2 Розрахунок приводу розпилювача

Знаходимо потрібну потужність на валу розпилювача, кВт:

$$N = \frac{(\kappa_0 \cdot D^2 \cdot \omega + 0.37 \cdot m) 10^{-4} \cdot \omega}{\eta_{\text{мех}}}, \quad (5.7)$$

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

$D$  – діаметр диску, м;

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

$\eta_{\text{мех}}$  – 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, при швидкості обертання 12000 об/хв та довжиною сопла 0,075м, потужність на одне сопло становить 100Вт, знайдемо повну потужність, кВт:

$$N_p = N + 8 \cdot N_{\text{сопла}}, \quad (5.8)$$

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

Знаходимо крутний момент на валу розпилювача, Н·м:

$$T_p = 9550 \frac{N_p}{n_p}, \quad (5.9)$$

$$T_p = 9550 \frac{20,7}{12000} = 16,47 \text{ Н·м.}$$

Знаходимо потужність на валу електродвигуна, кВт:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_p}{\eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (5.10)$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Тоді:

$$N_{\ddot{a}a} = \frac{20,7}{0,99 \cdot 0,96} = 21,7 \text{ кВт.}$$

Знаходимо крутний момент на валу електродвигуна, Н·м:

$$T_{\partial\partial} = 9550 \frac{N_{\partial\partial}}{n_{\partial\partial}}, \quad (5.11)$$

$$T_{\partial\partial} = 9550 \frac{22}{2945} = 74,33 \text{ Н·м.}$$

Вибираємо електродвигун 4А 180S2УЗ; потужністю  $N_{\text{дв}}=22$  кВт, частотою обертання  $n_{\partial\partial}=2945$  об/хв, ККД двигуна  $\eta=88,5\%$ .

### 5.3 Розрахунок пасової передачі розпилювача

Вихідні дані для розрахунку:

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

Для даної передачі беремо плоский гумотканинний пас із бельтінга 820 з числом прокладок  $i_n=5$ , завтовшки  $\delta=7,5$  мм.

Передаточне число передачі:

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad (5.12)$$

$$i = \frac{1256}{308} = 4,07.$$

Визначимо діаметр більшого ведучого шківa, мм:

$$d_1 = (520 \dots 610) \cdot \sqrt[3]{\frac{N_1}{\omega_1}}, \quad (5.13)$$

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

Згідно зі стандартом беремо  $d_I=250$  мм.

Визначимо швидкість паса, м/с:

$$v = \frac{\omega_1 \cdot d_1}{2}, \quad (5.14)$$

$$v = \frac{308 \cdot 0,25}{2} = 38,5 \text{ м/с},$$

що допускається для гумотканинних плоских пасів.

Визначимо діаметр веденого шківів, мм:

$$d_2 = \frac{d_1}{i}, \quad (5.15)$$

$$d_2 = \frac{250}{4,07} = 61,4 \text{ мм.}$$

За стандартом  $d_2 = 63 \text{ мм.}$

Фактичне передаточне число передачі:

$$I = \frac{d_1}{d_2}, \quad (5.16)$$

$$I = \frac{250}{63} = 3,97.$$

Визначаємо міжосьову відстань передачі, мм:

$$I = 2 \cdot (d_1 + d_2), \quad (5.17)$$

$$I = 2 \cdot (250 + 63) = 626 \text{ мм.}$$

Кут обхвату більшого шківів, °:

$$\alpha_1 = 180 + 57 \cdot \frac{(d_1 - d_2)}{a}, \quad (5.18)$$

$$\alpha_1 = 180 + 57 \cdot \frac{(250 - 63)}{626} = 197^\circ.$$

Кут обхвату меншого шківів, град

$$\alpha_1 = 180 + 57 \cdot \frac{(d_1 - d_2)}{a}, \quad (5.19)$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 \cdot \frac{(250 - 63)}{626} = 163^\circ.$$

Розрахункова довжина паса, мм:

$$l = 2 \cdot I + \pi \cdot \frac{(d_1 - d_2)}{2} + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4 \cdot a}, \quad (5.20)$$

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

Розрахункове корисне навантаження, Н яке передає передача:

$$F_t = \frac{N_1}{v}, \quad (5.21)$$

$$F_t = \frac{22000}{38,5} = 571,5 \text{ Н.}$$

Для розрахунку вибраного паса на тягову здатність, беремо оптимальне питоме корисне навантаження, що може передаватись одиницею ширини паса,  $i_n \cdot f_{to} = 14 \text{ Н/мм}$  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:

$$[i_n \cdot f_{to}] = i_n \cdot f_{to} \cdot C_\gamma \cdot C_\alpha \cdot C_v \cdot C_p. \quad (5.22)$$

Тут вибрані такі значення розрахункових коефіцієнтів  $C_\gamma=1$ ;  $C_p=1$ ;  $C_v = 0,4471$   
а  $C_\alpha$  розраховуємо за наступною формулою:

$$C_\alpha = 1 - 0,003 \cdot (180 - \alpha_2), \quad (5.23)$$

$$C_\alpha = 1 - 0,003 \cdot (180 - 163) = 0,949.$$

Тоді:

$$[i_n \cdot f_{to}] = 14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,949 \cdot 0,4471 \cdot 1 = 5,94 \text{ Н/мм.}$$

Потрібна ширина паса:

$$b = \frac{F_t}{[i_n \cdot f_{to}]}, \quad (5.24)$$

$$b = \frac{571,5}{5,94} = 96,21 \text{ мм.}$$

Вибираємо стандартну ширину паса  $b = 100 \text{ мм.}$

Площа поперечного перерізу паса,  $\text{мм}^2$ :

$$A = b \cdot \delta, \quad (5.25)$$

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

Потрібна сила попереднього натягу віток паса, Н:

$$F_0 = f_0 \cdot i_n \cdot b, \quad (5.26)$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_0 = 2,25 \cdot 5 \cdot 100 = 1125 \text{ Н.}$$

Визначаємо навантаження на вали пасової передачі, Н:

$$R = 2 \cdot F_0 \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right), \quad (5.27)$$

$$R = 2 \cdot 1125 \cdot \sin\left(\frac{163}{2}\right) = 2225,3 \text{ Н.}$$

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

Напруження попереднього натягу, МПа:

$$\sigma_0 = \frac{F_0}{A}, \quad (5.28)$$

$$\sigma_0 = \frac{1125}{750} = 1,5 \text{ МПа.}$$

Напруження від корисного навантаження:

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A}, \quad (5.29)$$

$$\sigma_t = \frac{571,5}{750} = 0,762.$$

Напруження від дії відцентрової сили, МПа:

$$\sigma_i = 10^{-6} \cdot \rho \cdot v^2, \quad (5.30)$$

$$\sigma_i = 10^{-6} \cdot 1,15 \cdot 10^3 \cdot 38,5^2 = 1,704 \text{ МПа.}$$

Напруження згину у пасі, МПа:

$$\sigma_t = E \cdot \frac{\delta}{d_2}, \quad (5.31)$$

$$\sigma_t = \frac{200 \cdot 7,5}{63} = 23,8 \text{ МПа.}$$

Значення  $\rho = 1,15 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  та  $E = 200 \text{ МПа}$  вибрані на основі емпіричних дослідів безпосередньо на самому заводі.

Визначаємо максимальне напруження у пасі:

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 + 0,5 \cdot \sigma_t + \sigma_v + \sigma_{32}, \quad (5.32)$$

$$\sigma_{\max} = 1,5 + 0,5 \cdot 0,762 + 1,704 + 23,8 = 27,385 \text{ МПа.}$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При обмеженій границі витривалості  $\sigma_N = 7$  МПа, показнику степеня кривої втоми  $m = 6$ , числі шківів  $n = 2$  та  $v = 0,5$  визначаємо строк служби паса, год:

$$h = \frac{10^7 \cdot \left( \frac{\sigma_N}{\sigma_{\max}} \right)^m}{3600 \cdot v \cdot n \cdot v}, \quad (5.33)$$

$$h = \frac{10^7 \cdot \left( \frac{7}{27,385} \right)^6}{3600 \cdot 21,89 \cdot 2 \cdot 0,5} = 1274,3 \text{ год.}$$

#### 5.4 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 шківів  $d_1 = 0,250$  м;
- діаметр веденого шківів  $d_2 = 0,063$  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:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2, \quad (5.34)$$

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, кВт яку передає диск:

$$N_p = N_{\text{дв}} \cdot \eta, \quad (5.35)$$

$$N_p = 22 \cdot 0,9504 = 20,9 \text{ кВт.}$$

Крутний момент, Н·м який передається від двигуна до валу дорівнює:

$$T = \frac{N_p \cdot 9550}{n}, \quad (5.36)$$

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

Будуємо епюру крутних моментів.

Для побудови епюр, визначаємо сили, які діють на вал розпилувального диску: радіальну силу (сила попереднього натягу віток паса), визначаємо за формулою:

$$F_r = f_0 \cdot i_n \cdot b, \quad (5.37)$$

$$F_r = 2,25 \cdot 5 \cdot 100 = 1125 \text{ Н}.$$

Колова сила (навантаження на вал пасової передачі):

$$F_t = 2 \cdot F_r \cdot \sin\left(\frac{\alpha_2}{2}\right), \quad (5.38)$$

де  $F_r$  – сила натягу паса, Н;

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

$$\alpha_2 = 180^\circ - 57^\circ \cdot \frac{d_2 - d_1}{a}, \quad (5.39)$$

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

Тоді:

$$F_t = 2 \cdot 1125 \cdot \sin\left(\frac{163}{2}\right) = 2225,3 \text{ Н}.$$

Визначаємо реакції опор за допомогою епюр зображених на рисунку 3.

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 проекцій всіх сил на вертикальну вісь дорівнює нулю. Для вертикальної площини маємо:

$$\Sigma M_A = 0, \quad (5.40)$$

$$\Sigma M_A = -F_t a - R_B b = 0, \quad (5.41)$$

звідси:

$$R_B = \frac{-F_t a}{b}, \quad (5.42)$$

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

$$\Sigma M_B = 0, \quad (5.43)$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$\Sigma M_B = -F_t(a+b) + R_A b = 0, \quad (5.44)$$

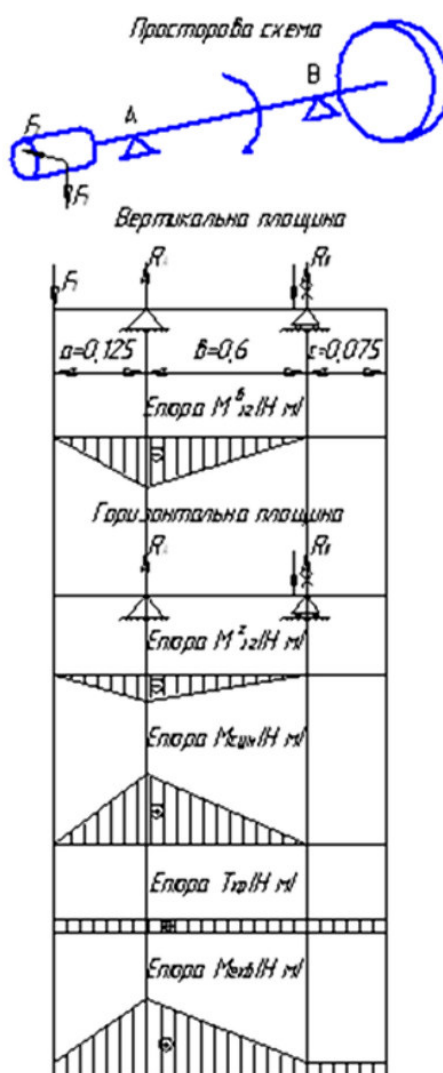


Рисунок 3 - Епюри до розрахунку валу

звідси:

$$R_A = \frac{F_t(a+b)}{b}, \quad (5.45)$$

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

Знайдемо реакції в опорах у горизонтальній площині:

$$\Sigma M_A = 0, \quad (5.46)$$

$$\Sigma M_A = -F_t a - R_B b = 0, \quad (5.47)$$

звідси:

$$R_B = \frac{-F_r a}{b}, \quad (5.48)$$

$$R_B = \frac{-1125 \cdot 0,125}{0,6} = -234,3 \text{ Н},$$

$$\Sigma M_B = 0, \quad (5.49)$$

$$\Sigma M_B = -F_r(a+b) + R_A b = 0, \quad (5.50)$$

звідси:

$$R_B = \frac{F_r(a+b)}{b}, \quad (5.51)$$

$$R_B = \frac{1125 \cdot (0,125 + 0,6)}{0,6} = 1359,3 \text{ Н},$$

Визначаємо сумарний момент згину, Н·м:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{(M_{32}^e)^2 + (M_{32}^z)^2}, \quad (5.52)$$

$$1) M_{\text{сум}} = \sqrt{(M_{32}^e)^2 + (M_{32}^z)^2}, \quad (5.53)$$

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ Н·м},$$

$$2) M_{\text{сум}} = \sqrt{(M_{32}^e)^2 + (M_{32}^z)^2}, \quad (5.54)$$

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{278,16^2 + 140,6^2} = 311,6 \text{ Н·м},$$

$$3) M_{\text{сум}} = \sqrt{(M_{32}^e)^2 + (M_{32}^z)^2}, \quad (5.55)$$

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ Н·м},$$

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

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{M_{\text{сум}}^2 + (\alpha T_{\text{кр}})^2}, \quad (5.56)$$

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

$$\alpha = \frac{[\sigma_{-1}]}{[\sigma_0]}, \quad (5.57)$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $[\sigma_{-1}]$  – допустима знакозмінна напруга для вала, для легованих сталей  $[\sigma_{-1}]=90$  МПа;  
 $[\sigma_0]$  – допустима пульсуюча від нуля напруга для вала, для легованих сталей  $[\sigma_0]=150$  МПа.

$$\alpha = \frac{90}{150} = 0,6.$$

Тоді:

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

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

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

Визначаємо діаметр вала, мм у небезпечному перерізі:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{0,1[\sigma_{-1}]}} \quad (5.58)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{311,82}{0,1 \cdot 90 \cdot 10^6}} = 0,0326 \text{ м} = 32,6 \text{ мм}.$$

Із конструктивних мислень приймаємо діаметр вала 35мм.

Марка сталі вала 12ХНЗА.

## 5.5 Розрахунок і вибір підшипників шпонки

Вихідні дані для розрахунку:

- радіальні навантаження на опори вала  $R_A=3013\text{Н}$ ;  $R_B=519,5\text{Н}$ ;
- осьове навантаження вала  $F_a=200\text{Н}$ ;
- діаметр вала  $d_n=35\text{мм}$ .

Додаткові відомості та умови роботи підшипників:

- кутова швидкість вала  $\omega = 1256 \text{ рад/с}$ ;
- потрібна довговічність підшипників  $L_h=10000$  год при 90% надійності;
- робоча температура підшипників до  $200^\circ\text{C}$ .

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.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будемо орієнтуватись на підшипники легкої серії 36207, для яких із довідника [9] маємо:

Базова статична вантажність  $C_o=18100\text{Н}$ ;

Базова динамічна вантажність  $C_r=24000\text{Н}$ .

Визначення розрахункового еквівалентного навантаження на підшипник:

для типового режиму навантаження Л (легкого) коефіцієнт інтенсивності  $K_E=0,40$ ; згідно з умовами роботи підшипників беремо:

$V=1$  – обертаєть в внутрішнього кільця підшипників;

$K_o=1,5$  – коефіцієнт безпеки при короткочасних перевантаженнях до 150%;

$K_T=1,2$  – температурний коефіцієнт при робочій температурі підшипників до  $200^\circ\text{C}$ .

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 з ст. 257 [12] беремо параметр осевого навантаження  $e=0,29$ .

Оскільки відношення  $R_a/V \cdot R_r=200/1 \cdot 3013=0,066 < e=0,29$ , з сторінки 197 [13]  $X=1$ , а  $Y=0$ .

Тоді, розрахункове еквівалентне навантаження на підшипник буде:

$$R = (X \cdot V \cdot R_r + Y \cdot R_a) \cdot K_T \cdot K_o, \quad (5.59)$$

$$R = (1 \cdot 1 \cdot 3013 + 0 \cdot 3013) \cdot 1,5 \cdot 1,1 = 4971,45 \text{ Н}.$$

З урахуванням режиму навантаження протягом строку служби:

$$R_E = K_E \cdot R, \quad (5.60)$$

$$R_E = 0,4 \cdot 4971,45 = 1988,6 \text{ Н}.$$

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

$$L = a_1 \cdot a_{23} \cdot \left( \frac{C_r}{R_E} \right)^p, \quad (5.61)$$

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

Тоді:

$$L = 1 \cdot 0,8 \cdot \left( \frac{24000}{1988,6} \right)^3 = 1406,31 \text{ млн.об.}$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо розрахункову довговічність підшипника:

$$L_h = \frac{1745 \cdot L}{\omega}, \quad (5.62)$$

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

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.

Вихідні дані для розрахунку шпонки:

- номінальний крутний момент, що передає з'єднання,  $T=16,63 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;
- діаметр вала, на якому встановлений шків,  $d=35\text{мм}$ ;
- довжина ступиці колеса  $J=120 \text{ мм}$ .

За діаметром вала  $d=35\text{мм}$  згідно зі стандартом сторінка 191 [13] вибираємо такі розміри з'єднання : ширина шпонки  $b=10\text{мм}$ ; висота  $h=8\text{мм}$ ; довжина  $l=100\text{мм}$ ; глибина паза на валу  $t_1=5\text{мм}$  і у маточині колеса  $t_2=3,3\text{мм}$ .

Перевіримо з'єднання на зминання за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2T}{d \cdot l \cdot (h - t_1)} \ll [\sigma_{зм}] = 80 \text{ МПа}, \quad (5.63)$$

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

Перевіримо з'єднання на зріз за формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{2T}{d \cdot l \cdot b} \ll [\tau_{зр}] = 80 \text{ МПа}, \quad (5.64)$$

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

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

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даному дипломному проекті модернізації сушильної установки використовуються ш пожежо- і вибухонебезпечні речовини (масло і його пари ).

Проект виконано з урахуванням вимог охорони праці та пожежної безпеки. В даному розділі розроблено заходи, спрямовані на забезпечення здорових і безпечних умов праці та забезпечення пожежної безпеки на проектованому об'єкті.

### 6.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів. Заходи з охорони праці.

#### 6.1.1 Повітря робочої зони

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються такими показниками: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, температура поверхні.

Згідно ДСН 3.3.6.042-99, роботи за важкістю у даному приміщенні можуть бути віднесені до категорії середньої тяжкості (ІІ б).

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, норми мікроклімату виробничих приміщень наведено в таблиці 6.1.

Джерелами додаткового підвищення температури повітря є: технологічне устаткування, яке має високі температури нагріву; нагріті до високих температур деталі і розплавлені матеріали, наприклад метал, скло; тепла енергія, яка виділяється рухомими механізмами - компресори. Для підтримання нормативних параметрів мікроклімату в овочесховищі впроваджено систему вентиляції та кондиціонування повітря, а також теплоізольовані трубопроводи системи теплопостачання.

Для вимірювання параметрів мікроклімату використовуються різні прилади: ртутні та спиртові термометри (для вимірювання температури), психрометри (для визначення відносної вологості повітря), анемометри й кататермометри (для встановлення швидкості руху повітря).

Також передбачено наступні заходи, згідно з ДСН 3.3.6.042-99:

- теплообмінне обладнання оснащується місцевою витяжною вентиляцією у вигляді локальних відсмоктувачів, витяжних зонтів та ін.;
- від перегрівання при попаданні прямих сонячних променів в теплий період року - встановлення жалюзі та ін., від радіаційного охолодження в зимовий період року - екранування робочих місць.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 - Параметри мікроклімату виробничого приміщення

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість %		Швидкість руху, м/с		
		оптимальна	допустима				оптимальна	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не	Оптимальна, не більш ніж	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
			Постійних	Непостійних	Постійних	Непостійних				
Холодний	Середньої тяжкості – II-б	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	До 0,4
Теплий		20-22	27	29	15	15	40-60	70 (при 25°С)	0,3	0,2-0,5

### Розрахунок габаритів витяжного зонта та об'єму повітря, що ним видаляється

Припливні відсмоки активуються плоскими і компактними припливними струями, які захоплюють навколишнє повітря і направляють його до місцевого відсмоку. Припливний потік повинен проходити в зоні шкідливих виділень і направлятися до центру всмоктуючого отвору, до того ж кількість відсмоктуючого повітря повинна перевищувати кількість повітря, що поступає з припливним потоком.

Зонти активуються піддувом по периметру, як показано на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 – Схематичне зображення витяжного зонта

Стійкість системи «припливний потік - місцеве відсмоктування» відносно неорганізованих потоків повітря, що виникають в приміщенні, визначається величиною швидкості на осі повітряного потоку в «критичному перерізі», в якому вплив припливного потоку вже послаблений, а дія місцевого відсмоктування ще не значна. Ця швидкість становить 1-2 м/с. Швидкість виходу припливного повітря - не більше 10 м/с.

За [15] виконаємо наступні розрахунки.

Вважаємо відсмоктування круглого перерізу.

Відстань від припливного отвору до критичного перерізу:

$$x_{кр} = 0,848 \cdot B, \quad (6.1)$$

де B - довжина потоку. Прийmemo 1,7 м.

$$x_{кр} = 0,848 \cdot 1,7 = 1,442 \text{ м.}$$

Осьову швидкість припливного потоку в критичному перерізі приймаємо  $v_{\min} = 2$  м/с.

Середню швидкість в припливному отворі приймаємо  $v_1 = 6$  м/с. Швидкість всмоктування:  $v_2 = 2,5$ ;  $v_{кр} = 5$  м/с.

Звідси, діаметр припливного отвору:

$$d_1 = 0,138 \cdot B \cdot \frac{v_{\min}}{v_1}, \quad (6.2)$$

$$d_1 = 0,138 \cdot 1,7 \cdot \frac{2}{6} = 0,078 \text{ м.}$$

Діаметр всмоктуючого отвору:

$$d_1 = 0,196 \cdot B \cdot \left( \frac{v_{\min}}{v_2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6.3)$$

$$d_1 = 0,196 \cdot 1,7 \cdot \left( \frac{2}{5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,211 \text{ м.}$$

Об'єм припливного повітря:

$$L_1 = 55 \cdot B^2 \cdot \frac{v_{\min}^2}{v_1}, \quad (6.4)$$

$$L_1 = 55 \cdot 1,7^2 \cdot \frac{2^2}{6} = 105,96 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Об'єм всмоктуючого повітря:

$$L_2 = 100 \cdot B^2 \cdot v_{\min}, \quad (6.5)$$

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$L_2 = 100 \cdot 1,7^2 \cdot 2 = 578 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Опираючись на вище зроблені розрахунки, підбираємо кругий витяжний зоні компанії STARVENT типу острівного нестандартного моделі ЗВО - 4.

### 6.1.2 Виробниче освітлення

Для нормальної зорової роботи в складському приміщенні створюються умови, за яких не виникають професійні захворювання або виробничий травматизм. Освітлення має відповідати встановленим нормативам та характеру зорової виробничої діяльності. Для нормальної роботи машиніста холодильної установки забезпечується відповідне освітлення складського приміщення, а саме трьох цехових приміщень, де розташовано обладнання холодильної камери, та, де зберігається вантаж. Для цього визначаємо вид зорових робіт які будуть виконуватися при нормальній роботі обладнання, ремонті та аварійному режимі. Норми освітленості і КПО цеху, відповідно до ДБН В.2.5.28:2018 занесемо до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Норми освітленості і КПО цеху, згідно ДБН В.2.5-28:2018

Розряд і під- розряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, %	
	Штучне		Природне	Суміщене
	Комбіноване	Загальне	Верхнє і бічне	Верхнє і бічне
IVв	400	200	4 і 1,5	2,4 і 0,9

Для освітлення виробничого приміщення використовуються люмінесцентні лампи з денним світлом типу ЛД – 40(G13) та світильники з світлодіодними лампами LED з потужністю 20 Вт в холодильній камері. В овочесховищі передбачено пристрій аварійного евакуаційного освітлення - мінімальна освітленість 1 Лк на вулиці і 2 Лк в приміщенні.

Для контролю освітленості передбачено люксметр типу Ю-117.

### 6.1.3 Виробничий шум і вібрація

Одним з головних умов організації роботи промислового підприємства є контроль рівня шуму і вібрацій, які негативно впливають на здоров'я обслуговуючого персоналу. Безперервний шум від працюючих компресорів, охолоджувачів повітря і інших пристроїв можуть викликати порушення в організмі людини: психічні проблеми; зниження працездатності і продуктивності праці персоналу; погіршення слуху і виникнення головного болю; підняття артеріального тиску; нервова і фізична перевтома.

Крім шуму, велику небезпеку несе вібрація, що виникає від обертових механізмів, рідини в трубах і при роботі компресорів, яка передається на будівельні конструкції, викликаючи загрозу їх руйнування.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівень шуму на виробництві залежить від одночасної роботи всього обладнання і не повинен перевищувати 80 дБА, згідно ДСН 3.3.6.037–99. Фактичне значення складає 78 дБА,

що відповідає вимогам.

Заходи щодо віброізоляції знижують коливання від працюючого устаткування, сприяють зменшенню шуму і збільшують надійність будівельних конструкцій.

Віброізолюючі елементи:

а) у вигляді окремих опор:

- пружинні віброізолятори, основним робочим елементом яких є одна або кілька сталевих гвинтових пружин;
- пружні прокладки, нерідко мають складну форму;

б) у вигляді шару пружного матеріалу, що укладається між машиною і фундаментом;

в) у вигляді плаваючої підлоги на пружній основі. Підлога на пружній основі являє собою залізобетонну стяжку, влаштовану на пружній основі поверх несучої плити перекриття будівлі.

Також при установці надпотужних промислових компресорів обов'язковою умовою є організація для них локальних фундаментів, відокремлених від конструкції будівель.

Для поглинання шуму від роботи конденсатора використовується пористий акустичний поролон, який розсіює звукову енергію і перетворює її в теплову. Для збільшення звукоізоляції працюючих компресорів використовується непориста, еластична самоклеюча звукоізоляція на кам'яній основі.

Якщо в робочій зоні рівень перевищує нормативні значення і заходи щодо віброізоляції і поглинання шуму не знижують його рівень, додатково застосовують індивідуальні засоби захисту від шуму, відповідно до ДСТУ ГОСТ 26568:2009.

#### 6.1.4 Випромінювання

При функціонуванні сушильної установки робітники підлягають інфрачервоному випромінюванню. Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь нагріву технологічного обладнання, освітлюючих приладів, інсоляції від зашкленних огорожень не повинна перевищувати: 35 Вт/м<sup>2</sup> при опроміненні 50 % поверхні тіла і більше; 70 Вт/м<sup>2</sup> - при величині опромінення поверхні тіла 25-50 %; 100 Вт/м<sup>2</sup> - при опроміненні не більше 25 % поверхні тіла працюючого.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При наявності відкритих джерел випромінювання (нагрітий метал, скло, відкрите полум'я) допускається інтенсивність опромінення до 140,0 Вт/м<sup>2</sup>. Розмір опромінюючої площі не повинен перевищувати 25% поверхні тіла працюючого при обов'язковому використанні засобів індивідуального захисту (спецодяг, окуляри, спецвзуття)

Заходи захисту від інфрачервоного випромінювання, передбачені проектом:

- теплоізоляція гарячих поверхонь;
- охолодження тепловипромінюючих поверхонь (водою, продувка);
- видалення робочих від місця випромінювання (захист відстанню);
- автоматизація (механізація) виробничих процесів (щит управління);
- екранування джерела випромінювання;
- застосування засобів індивідуального захисту (використання спецодягу з бавовняної тканини з вогнестійкою просоченням, спецвзуття, окуляри зі світлофільтрами з жовто-зеленого або синього скла, рукавичок, рукавиць, захисних масок).

#### 6.1.5 Електробезпека

У робочому приміщенні живлення електроустановок здійснюється від 3-х фазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти з глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

Згідно ПУЕ - 17 гранично допустимі напруги дотику наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.3 - Гранично допустима напруга дотику

Тривалість дії, с	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	Понад 1 сек. до 5 сек.
Напруга дотику, В	500	400	200	130	100	65

Технічні засоби для безпеки працюючого персоналу з сушильною установкою використані у проекті:

- ізоляція струмопровідних частин;
- мала напруга, вирівнювання потенціалів;
- запобіжна сигналізація, блокування, знаки безпеки;
- засоби індивідуального захисту;
- маркування струмоведучих частин електроустаткування;
- недосяжність підвісу живлячого провідника.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережі із зануленням здійснюється завдяки тому, що при замиканні однієї з фаз на занулений корпус в ланцюзі цієї фази виникає струм короткого замикання, який впливає на струмовий захист, внаслідок чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого замикання викликає перерозподіл напруги в мережі, напругу корпусу, що призводить до зниження, щодо землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику і обмежує час, протягом якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для захисту від удару струму в випадку пошкодження ізоляції використовується автоматичне відключення живлення.

Основні заходи електробезпеки:

- Ізоляція струмопровідних частин, які знаходяться під напругою.
- Мала напруга в електричних ланцюгах змінного струму, що не перевищує 40 В, і постійного струму - не вище 110 В.
- Елементи для захисного заземлення металевих, неструмоведучих частин, які випадково можуть потрапити під напругу (при порушенні ізоляції, режиму работ і т.п.).
- Автоматичні пристрої, які відключають електроспоживачів від мережі, якщо доступні для людського дотику здебільшого потрапляють під напругу.
- Засоби контролю ізоляції та сигналізації про їх ушкодженнях, а також для відключення установки при зменшенні опору ізоляції нижче припустимого рівня.
- Попереджувальні написи, знаки, фарбування струмопровідних частин у сигнальні кольори та інші засоби сигналізації про небезпеку.
- Використовується знижена напруга (аварійне освітлення 220 В, система місцевого освітлення 42 В, переносне освітлення 12В).
- Світильники розташовуються на висоті не менш 2,5 м над робочими місцями.

В компресорному цеху та цеху теплообмінного обладнання передбачена аварійна вентиляція, яка реалізується витяжною вентиляцією для створення розрідження в приміщенні лише з причини аварії. Запуск відбувається вручну і від датчиків налаштованих на величину гранично допустиму концентрацію речовин.

Біля вимикачів, контакторів, магнітних пускачів, рубильників та інших пускових пристосувань, а також запобіжників, змонтованих на групових щитах, повинна бути напис і показчик, до якого двигуну вони належать.

Для захисту електричних ланцюгів від струмів перевантаження та від короткого замикання застосовують запобіжники. Залежно від типу електроспоживача, запобіжники можуть бути пробкових, трубкові, пластинчасті і інших видів.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6.2 Пожежна безпека

У цеху небезпека виникнення пожежі пов'язана, переважно, з високим робочим температурним режимом, утворенням вибухонебезпечної суміші при витоку масла і його контакті з киснем, великої кількості споживачів електроенергії різної потужності і т.п.

За пожежною безпекою, згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016, цех в якому розмішена сушильна установка відноситься до категорії "Г".

Будівля та приміщення забезпечуються необхідною кількістю вогнегасників, згідно з вимогами загальнодержавних Правил пожежної безпеки в Україні, які встановлюються в легкодоступних та помітних місцях (коридорах, біля входів або виходів з приміщень) таким чином, щоб вони не заважали під час евакуації.

Відстань від можливого осередку пожежі (найбільш віддаленого місця у приміщенні) до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати 20 м. Місця знаходження вогнегасників позначаються вказівними знаками, згідно з чинними державними стандартами.

Впроваджено наступні засоби пожежогасіння (згідно з ДСТУ 3675-98):

- пінні вогнегасники типу ОХП-10, повітряно-пінні вогнегасники типу ОВП-10;
- порошкові ОП-2, ОП-5;
- пісок.

Встановлюється охоронно-пожежна сигналізація автономного типу.

В овочесховищах застосовується розпилена вода як один із способів пожежогасіння. Відповідно до ДБН В.2.5-56-2014, в компресорному цеху встановлюється автоматичне водяне пожежогасіння.

Цех захищено від прямого удару блискавки (відповідно до ДСТУ Б В.2.5-38:2008) за допомогою блискавковідводу, що складається з блискавкоприймача (що приймає на себе розряд блискавки), заземлювача і струмопровідника. Тип одиночний стрижньовий:  $h = 100\text{м}$ , висота його зони захисту під землею  $h_0 = 0,87 \cdot 100 = 87\text{ м}$ . Радіус зони захисту на рівні землі  $r_0 = 1,5 \cdot 100 = 150\text{ м}$ .

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Даний дипломний проект присвячений модернізації дискової сушильної установки для виробництва сухого молока. Сушильна установка знаходиться на Пирятинському сирзаводі у м. Пирятин, Полтавської області.

Після технічного переоснащення ділянки по виробництву сухого знежиреного молока, обсяги виробництва і прибуток підприємства збільшилися завдяки економії первинних енергоресурсів.

В першому розділі були проведені технологічні розрахунки, в результаті яких було отримано наступні геометричні параметри сушильної установки: діаметр сушильної камери  $D = 6,36 \text{ м}$ ; висота камери  $H = 7,6 \text{ м}$ ; висота конуса сушильної камери  $H_{\text{кон}} = 6 \text{ м}$ .

В другому розділі виконано побудову процесу сушки в  $h - d$  діаграмі, за допомогою якої були визначені основні параметри сушильного процесу: ентальпія на вході в сушильну камеру сухого повітря  $h_1 = 220 \text{ кДж/кг}$ ; теоретична вологість повітря на виході з сушки повітря  $d_2 = 49 \text{ г/кг}$ ; теоретична ентальпія повітря на виході з сушки повітря,  $h_2 = 220 \text{ кДж/кг}$ . ККД розробленої сушильної установки становить 83%.

Також підібрана теплова ізоляція сушильної камери а саме, мінеральна вата товщиною  $\delta = 100 \text{ мм}$ .

В третьому і четвертому розділах виконано розрахунок і підбір скрубера Вентурі, нагнітального вентилятора Ц 7–40, циклонів і калориферів для підігріву сушильного агенту КФБ №12.

В п'ятому розділі був виконаний проектний розрахунок розпилювального диску на основі геометричних даних існуючого розпилювального пристрою. Після чого було встановлено, що наявну сушильну установку можна залишити, замінивши лише розпилювальний диск.

Таким чином, після проектування розпилювального диску, продуктивність сушарки збільшилася на 10%. Для чого необхідно збільшити подачу молока, яка надходить на сушку з 1900 кг/год до 2090 кг/год, відповідно продуктивність установки по висушеному матеріалу буде становить 990 кг/год, а з урахуванням ККД установки – буде становить 825 кг/год; кількість видаленої води 1100 кг/год. Геометричні розміри сушильної башти суттєво не зміняться, тобто допускається залишити старі геометричні розміри сушильної башти.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Автоматизация технологических процессов и производств пищевой промышленности: Учебник / А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра – К.: Аграрна освіта, 2001. – 224 с.
- 2 Карпина Е.Б. Автоматизация технологических процессов пищевых производств: учебник для вузов/ Под ред. Е.Б. Карпина – М.: Агропромиздат, 1985. – 535 с.
- 3 Мінаковський В.М. Теплотехнологічні процеси та установки [Текст]: посіб. / В.М. Мінаковський. – К.: ВПК «Політехніка», 2009. – 128 с.
- 4 Куба В.В. Теплотехнологічні процеси та установки. Розділ «Установка сушильна тунельна». Практикум. Навчальний посібник / В.В. Куба, В.В. Середа – Рівне: НУВГП, 2012. – 81 с.
- 5 Долинский А. А. Распылительная сушка : в 2 томах / А.А. Долинский, К.Д. Малецкая ; [НАН Украины, Ин-т технической теплофизики]. – Киев : Академперіодика, 2011. - 2 т
- 6 Блумберга Д. М. Мокрая очистка газов : Учеб. пособие / Д. М. Блумберга, И. Н. Ильин ; Рижск. политехн. ин-т. - Рига : Рижск. политехн. ин-т, 1987.
- 7 Бредихин С.А. Технология и техника переработки молока / С.А. Бредихин, Ю.В. Космодемьянский, В.Н. Юрин: Колос, 2003. – 400 с.
- 8 Золотин Ю.П. Оборудование предприятий молочной промышленности / Ю.П. Золотин, М.Б. Френклах, Н.Г. Пашутин: – М.: Агропромиздат, 1985. – 270 с.
- 9 Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя 3 Том. – М. / В.И. Ануриев: Машиностроение, 2001. Т.3. – 576 с.
- 10 Крусь Г.Н. Технология молока и оборудование предприятий молочной промышленности / Г.Н. Крусь, В.Г. Тиняков, Ю.Ф. Фофанов – М.: Агропромиздат, 1986. – 280 с.
- 11 Технічні дані продукції з офіційних інтернет ресурсів: <http://www.calpeda.com.ua/pdf/mxv.pdf>, <https://ventcom.nt-rt.ru>.
- 12 Гальперин Д.М. Оборудование молочных предприятий: монтаж, наладка, ремонт: Справочник. / Д.М. Гальперин – М.: Агропромиздат, 1990. – 352 с.
- 13 Киркач Н.Ф. Расчет и проектирование деталей машин, ч.1. / Н.Ф. Киркач, Р.А. Баласанян – Харьков: Вища школа, 1991. – 136 с.
- 14 Киркач Н.Ф. Расчет и проектирование деталей машин, ч.2. / Н.Ф. Киркач, Р.А. Баласанян – Харьков: Вища школа, 1991. – 142 с.

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15 Внутренние санитарно-технические устройства / Под ред. И. Г. Старовойта: Ч.  
2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Стройиздат, 1978.-509

					ТП 61 10 00 007 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Додаток А  
Перевірка дипломного проєкта на академічну доброчесність



Власник документу:  
Гавриш Андрій Сергійович

ID перевірки:  
1003806551

Дата перевірки:  
05.06.2020 13:08:15 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
05.06.2020 13:16:22 EEST

ID користувача:  
77138

Назва документу: Plemyannik\_bakalavr

ID файлу: 1003821387 Кількість сторінок: 39 Кількість слів: 7116 Кількість символів: 45446 Розмір файлу: 977.46 KB

## 31.7% Схожість

Найбільша схожість: 27.3% з джерело бібліотеки. ID файлу: 1000774060

8.77% Схожість з Інтернет джерелами

41

Page 41

29.4% Текстові збіги по Бібліотеці акаунту

39

Page 41

## 0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

## 0% Вилучень

Вилучений текст відсутній

## Підміна символів

Заміна символів

222

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТП 61 10 00 007 ПЗ

Лист

61

Форма т	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ТП 61 91 007 001 В3	Креслення загального вигляду	1	
				Складальні одиниці		
		1		Сушильна камера	1	
		2		Трубопровід для повітря	1	
		3		Насос для подачі молока	2	
		4		Розвантажувальний циклон	1	
		5		Циклон	2	
		6		Пневмотранспортна система	1	
A1		7	ТП 61 10 007 001 В31	Скрубер Вентурі	2	
		8		Вертилятор для відсмоктува-		
				ння відпрацьованого повітря	2	
		9		Калорифер	1	
		10		Збірник порошку	1	
		11		Вентилятор для повітря	2	
		12		Фільтр для повітря	1	
		13		Пульт керування	1	
		14		Вентилятор для нагнітання		
				повітря у калорифер	1	
		15		Вентилятор для відсмоктування		
				відпрацьованого повітря	1	
		16		Трубопровід для подачі		

					ТП 61 10 007 001 В3			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дискова сушарка. Креслення загального вигляду			
Студент	Плем'яник							
Керівник	Середа							
Н. контр.	Боженко							
Зав. каф.	Варламов				Літера ДП			
					Аркуш 			
					Листів 1			
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ТЕФ, кафедра ТПТ			

				згушеного молока	1	
Форма- т	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл .	Примітк а
				<u>Документація</u>		
A1			ТП 61 91 007 001 В31	Креслення загального вигляду	1	
				Складальні одиниці		
		1		Трубопровід	1	
		2		Конфузор	1	
		3		Горловина	1	
		4		Рама	1	
		5		Дифузор	1	
		6		Патрубок	1	
		7		Крапле уловлювач	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		8		Болт М16х60.5.8	6	
				ГОСТ 7798-70		
		9		Гайка М16	6	
				ГОСТ 7798-70		
		10		Шайба 1665Г	6	
				ГОСТ 6402-70		
		11		Гумова прокладка	1	
		12		Вентиль	1	

					ТП 61 10 007 001 В31		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент	Племянник				Скрубер Вентури. Креслення загального вигляду		
Керівник	Середа						
Н. контр.	Боженко						
Зав. каф.	Варламов						
						Літера ДП	Аркуш
						Листів 1	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ТЕФ, кафедра ТПТ	

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ТП 61 10 00 007 ПЗ	Пояснювальна записка	64	
3	A1	ТП 61 10 007 001 ТХ	Теплова схема установки	1	
4	A1	ТП 61 10 007 002 ЗВ	Креслення загального виду дискової сушарки	1	
5	A1	ТП 61 10 007 003 ЗВ	Креслення загального вигляду скрубера Вентурі	1	
6	A2	ТП 61 10 007 004 ЗВ	Креслення загального вигляду розпилювального диску	1	
7	A4	ТП 61 10 007 001 ЗВ	Специфікація	1	
8	A4	ТП 61 10 007 001 ЗВ1	Специфікація	1	

				ТП 61 10 07		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Студентка	Племянник			Відомість дипломного проекту	Аркуш	Аркушів
Керівн.	Серела					1
Консульт.	-				КПІ ім. Ігоря Сікорського, Каф. ТПТ, Гр. ТП – 61	
Н.контр.	Боженко					
Зав.каф.	Варламов					