

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

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

Кафедра *Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв*

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту(декан факультету)

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

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр ГАВВА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

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

освітньо-професійної програми *«Інжиніринг харчових та біотехнологічних  
виробництв»*

на тему

**Модернізація сушильного апарату на інертних носіях для сушіння  
пивних дріждів продуктивністю 17 км/год**

Виконав: здобувач ІV курсу, групи ОХ-4-7Ск

**Базилєвський Віталій Сергійович**

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

Керівник Житнецький Ігор Володимирович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

\_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_

(підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2025 р.

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

Кафедра *Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв*

Освітній ступінь *бакалавр*

Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*

(шифр і назва)

Освітня програма *«Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв»*

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри МАХФВ**

**проф. Олександр ГАВВА**

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

3 червня 2025 року

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

**Базилівський Віталій Сергійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи Модернізація сушильного апарату на інертних носіях для сушіння пивних дріждів продуктивністю 17 км/год**

керівник проекту (роботи) Житнецький Ігор Володимирович, доц., канд. тех. наук

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від «10» квітня 2024 р. № 218-к

2. Строк подання здобувачем роботи 2 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. *Тип сушильного апарату – із псевдозрідженим шаром інертних носіїв (насадок)*

2. *Продукт – суспензія використаних пивних дріжджів.*

3. *Оглядіві і дослідницькі наукові статті за тематикою проекту*

4. *Презентації та рекламні матеріали виробників обладнання*

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
 Загальний вигляд обладнання – 1 лист; Розрізи, Складальні одиниці обладнання – 3 листи; Технологія машинобудування – 1 лист

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: «1» квітня 2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі	01.04.2025р.	
2	Техніко-економічне, соціальне обґрунтування.	05.04.2025р.	
3	Характеристика вихідної сировини і готового продукту	10.04.2025р.	
4	Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи.	15.04.2025р.	
5	Вибір конструкційних матеріалів	20.04.2025р.	
6	Розрахункова частина	02.05.2025р.	
7	Технологічний маршрут виготовлення деталі	15.05.2025р.	
8	Вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту.	17.05.2025р.	
9	Опис системи управління	18.05.2025р.	
10	Заходи щодо охорони праці, екології	20.05.2025р.	
11	Висновки,	22.05.2025р.	
12	Графічна частина: 5 аркушів формату А3	25.05.2025р.	
13	Список використаних літературних джерел	27.05.2025р.	
14	Анотація, зміст	28.05.2025р.	
	Подача ДП на кафедрі	02.05.2025р.	

Здобувач \_\_\_\_\_ *Віталій Базилевський*

Керівник роботи \_\_\_\_\_ *Ігор Житнецький*

## Анотація

Використані пивні дріжджі використовуються як функціональна харчова добавка, а також у лікарських препаратах. Існує проблема їх швидкого висушування, без втрати функціональних властивостей.

Інтенсивного висушування дріжджової суспензії можна досягти у апаратах із тонким шаром продукту. Пропонується використати інноваційні розробки сушильного апарату, у якому висушування дріжджів відбувається на поверхні легких кульок із інертного матеріалу. Кульки під дією напору теплого повітря перебувають у псевдозрідженому (киплячому) шарі, інтенсивно рухаються у об'ємі робочої камери. Коли дріжджі на поверхні кульок висихають, внаслідок ударів кульок вони відділяються з їх поверхні, і виносяться потоком повітря.

Було модернізовано конструкцію сушарки з псевдозрідженим шаром та інертними насадками, призначену для сушіння дріжджової суспензії з продуктивністю 17 кг/год. У вдосконаленому варіанті передбачено монтаж двох решіток, між якими розміщені інертні насадки, що служать поверхнею для висихання продукту, а також впроваджено використання шнекового механізму. Подавання суспензії здійснюється через порожнистий обертовий вал з подальшим розпиленням у шар насадок. Крім того, через тангенціально орієнтовані патрубки подається нагріте відпрацьоване повітря.

Висушені дріжджі разом із потоком повітря розділяються у циклонах. Це дозволяє швидко відділяти дріжджі від повітря, без значних витрат фільтрувального матеріалу і його постійного очищення.

Запропоновані зміни сприяють підвищенню ефективності сушильного процесу завдяки тангенціальній подачі повітря, рівномірному розпиленню суспензії та активному перемішуванню шару за допомогою шнека.

**Ключові слова:** пивні дріжджі, сушіння, насадки, псевдозрідження, циклон.

## Abstract

Spent brewer's yeast is used as a functional food additive, as well as in medicines. There is a problem of their rapid drying, without loss of functional properties.

Intensive drying of yeast suspension can be achieved in devices with a thin layer of the product. It is proposed to use innovative developments of a drying device, in which yeast drying occurs on the surface of light balls made of inert material. The balls, under the influence of warm air pressure, are in a fluidized (boiling) layer, moving intensively in the volume of the working chamber. When the yeast on the surface of the balls dries, as a result of the impacts of the balls, they are separated from their surface and are carried away by the air flow.

The design of a dryer with a fluidized bed and inert nozzles, designed for drying yeast suspension with a capacity of 17 kg/h, has been modernized. The improved version provides for the installation of two grids, between which inert nozzles are placed, which serve as a surface for drying the product, and the use of a screw mechanism is also introduced. The suspension is fed through a hollow rotating shaft with subsequent spraying into the layer of nozzles. In addition, heated exhaust air is supplied through tangentially oriented nozzles.

The dried yeast, together with the air flow, is separated in cyclones. This allows for rapid separation of yeast from air, without significant costs of filter material and its constant cleaning.

The proposed changes contribute to increasing the efficiency of the drying process due to tangential air supply, uniform spraying of the suspension and active mixing of the layer using a screw.

**Keywords:** *brewer's yeast, drying, nozzles, fluidization, cyclone.*

## Зміст

1. Порівняльний аналіз технічних рішень	
2. Техніко-економічне обґрунтування теми проекту	
3. Характеристика вихідної сировини і готового продукту	
4. Опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи обладнання	
5. Розрахункова частина	
6. Вибір конструкційних матеріалів	
4.1. Визначення ключових технічних параметрів для виконання теплового розрахунку	
4.2. Тепловий розрахунок	
4.3. Аеродинамічний розрахунок і підбір вентиляторів	
4.4. Розрахунок циклонних установок	
4.5. Кінематичний розрахунок.	
7. Розрахунки технологічного маршруту виготовлення деталі	
8. Вимоги щодо монтажу, експлуатації, ремонту	
9. Опис блоку управління	
10. Заходи щодо охорони праці, екології	
Висновок	
Список використаних літературних джерел	
Додатки	

## Вступ

Виробництво лікарських засобів є одним із найважливіших та соціально значущих напрямів розвитку й трансформації економіки України. Стан справ у цій галузі значною мірою визначає спроможність держави підтримувати здоров'я населення та посилювати економічну незалежність країни.

Аналіз сучасного стану фармацевтичного ринку вказує на потребу в його подальшому вдосконаленні, активному залученні інвестицій, реструктуризації та розширенні експортного потенціалу. Особливу увагу слід приділити збільшенню частки високотехнологічної, наукоємної продукції, що відповідає міжнародним вимогам GMP (належна виробнича практика), ISO-9001-2000 та ISO-14001. Ці стандарти застосовуються провідними глобальними фармацевтичними компаніями.

Досягти цього можливо лише за умови впровадження зваженої державної політики у сфері інвестицій, формування відповідної законодавчої та адміністративної бази, удосконалення управлінських практик у фармацевтичних компаніях. Також необхідне правове забезпечення для прискорення вирішення науково-технічних питань, гармонізація нормативно-правового середовища відповідно до стандартів ЄС, покращення державного регулювання, реєстрації лікарських засобів та системи підготовки кадрів, включаючи обов'язкове впровадження вимог GMP (Good Manufacturing Practice).

Крім того, слід активізувати використання наявного інноваційного потенціалу країни, забезпечити ефективні механізми інвестування та інтеграцію наукових досягнень у виробничі процеси. Зокрема, модернізація застарілих сушильних комплексів залишається вкрай актуальною, оскільки вона сприяє підвищенню прибутковості при зменшенні витрат.

# 1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

У мікробіологічному виробництві широко застосовується процес сушіння для обробки таких матеріалів, як зерно, дріжджі, солод, крохмаль, вітаміни, ферменти, білкові концентрати, а також побічні продукти – барда, жом, залишки рослинної сировини тощо.

Мета сушіння може бути різною: зменшення маси продукту, підвищення його міцності, збільшення терміну зберігання завдяки кращій стійкості, консервування або надання певних органолептичних властивостей.

Сушінням називають технологічний процес, під час якого з матеріалу видаляється рідина, зазвичай вода, що призводить до збільшення частки сухих речовин у його складі. Таким чином, процес сушіння часто ототожнюють із зневодненням.

Суть процесу полягає в постійному виведенні вологи з продукту завдяки різниці парціального тиску водяної пари між матеріалом і навколишнім середовищем. Після вирівнювання цих тисків процес припиняється, і вологість матеріалу стабілізується на рівні рівноважної.

Щоб оцінити кількість вологи у продукті, використовують такі показники, як вологість або вміст вологи.

*Вологість матеріалу  $W(\%)$*  визначається як співвідношення маси вологи  $G_v$ , що міститься в матеріалі, до загальної маси матеріалу  $G$ , виражене у відсотковій формі.

$$W = \frac{G_v}{G} \cdot 100\%$$

*Вологовміст матеріалу  $d$*  - це відношення маси вологи  $G_v$  в матеріалі до маси абсолютно сухої речовини в ньому :  $d = \frac{G_v}{G - G_v}$

У процесі сушіння як сушильне середовище найчастіше застосовують повітря, яке описується рядом характеристик. Абсолютна вологість  $\rho$ — це кількість водяної пари, що міститься в одному

кубічному метрі зволоженого повітря. Відносна вологість повітря  $\varphi$  (%) визначається як співвідношення між фактичною кількістю вологи  $\rho$  та максимально можливою кількістю  $\rho_{max}$ , яку повітря може утримувати за конкретних температурних і тискових умов.

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{max}} \cdot 100\%$$

Вологовмістом називають співвідношення маси водяної пари, що міститься в повітрі, до маси сухого повітря в тому самому об'ємі. Якщо кількість пари вимірюється в кілограмах, то вологовміст позначається символом  $x$  і виражається в кг водяної пари на 1 кг сухого повітря. Якщо ж маса пари вказується в грамах, використовують позначення  $d$ , що відповідає  $g$  вологи на кг сухого повітря.

$$d = 1000x$$

## 1.2. Методи сушіння

**Конвективне сушіння** — це процес, під час якого матеріал взаємодіє з потоком нагрітого газоподібного середовища (повітря, перегріта пара, димові чи інертні гази). У процесі сушіння газ поглинає водяну пару, що випаровується з матеріалу, та виводить її з сушильної установки. Такий спосіб застосовується для зневоднення твердих речовин, пастоподібних мас і рідин.

**Кондуктивне (контактне) сушіння** — це спосіб сушіння, за якого теплова енергія передається безпосередньо до матеріалу через нагріту тверду поверхню, таку як плити, вальці, підлоги тощо. Цей метод ефективно застосовується для обробки тонких волокнистих або листових матеріалів, а також пастоподібних мас (наприклад, пюре, пасти) і рідин, таких як молоко, дріжджові розчини чи фармацевтичні продукти.

**Сушіння з використанням інфрачервоного випромінювання** здійснюється шляхом передачі енергії від джерела до матеріалу через електромагнітні хвилі, які проходять крізь середовище, що не перешкоджає випромінюванню. У ролі джерел інфрачервоного випромінювання використовують керамічні або металеві елементи, нагріті до температури понад 1000 °С.

*Сушіння в електричному полі високої частоти* базується на перетворенні енергії електричного поля в тепло безпосередньо в усьому об'ємі вологого матеріалу.

Цей метод застосовується для обробки матеріалів, які мають діелектричні властивості.

*Сублімаційне сушіння* ґрунтується на властивості льоду переходити у пароподібний стан, минаючи фазу рідкої води, що відбувається при зниженому тиску. Цей метод широко застосовується для зневоднення фруктів, овочів, а також при виробництві розчинної кави. Продукти, висушені сублімаційним способом, зберігають свій початковий об'єм, колір, аромат і смакові характеристики. Після додавання води вони легко відновлюють свою початкову форму.

### **1.3. Класифікація сушильних установок.**

У мікробіологічній промисловості найбільш широко використовуються сушарки з конвективним способом теплопередачі. Класифікація таких сушарок здійснюється за кількома основними критеріями:

- **За характером роботи:** розрізняють апарати періодичної дії та безперервного функціонування.
- **За способом теплопередачі:** виділяють конвективні, кондуктивні, радіаційні сушарки, а також ті, що працюють на струмах високої частоти.
- **За рівнем тиску всередині камери:** апарати можуть працювати при атмосферному або зниженому (вакуумному) тиску.
- **За типом сушильного агента:** використовують нагріте повітря, інертні або димові гази, перегріту пару чи рідинні середовища.
- **За організацією руху сушильного агента:** сушарки бувають із природною або примусовою циркуляцією потоку.
- **За взаємним напрямком руху матеріалу та сушильного середовища:** розрізняють прямоточні, протиточні та з перехресним напрямом потоку.

- **За фізичним станом шару матеріалу (для сипких речовин):** можуть бути сушарки з щільним, розпушеним, псевдозрідженим (киплячим) або зваженим шаром.
- **За конструктивними особливостями сушильної камери:** виділяють камерні, шафові, тунельні, стрічкові, шахтні, барабанні, вальцеві та спеціалізовані типи (розпилювальні, сублимаційні, інфрачервоні, сушарки з віброкиплячим шаром та ті, що працюють на струмах високої частоти).

У *барабанних сушарках* процес сушіння матеріалу відбувається у розпушеному стані під час його переміщення вздовж внутрішнього простору барабана **1** (Рис. 1.1). Обертання барабана здійснюється завдяки роликівим опорам **3**, а крутний момент передається від привідного механізму **4** через зубчасту передачу **2**. Як сушильний агент використовуються гаряче повітря або топкові гази, що надходять із топки **7**. Після завершення сушіння матеріал вивантажується у приймальний пристрій **5**, тоді як відпрацьований сушильний агент за допомогою насоса подається до циклона **6**, де відбувається осадження дрібнодисперсних частинок продукту.

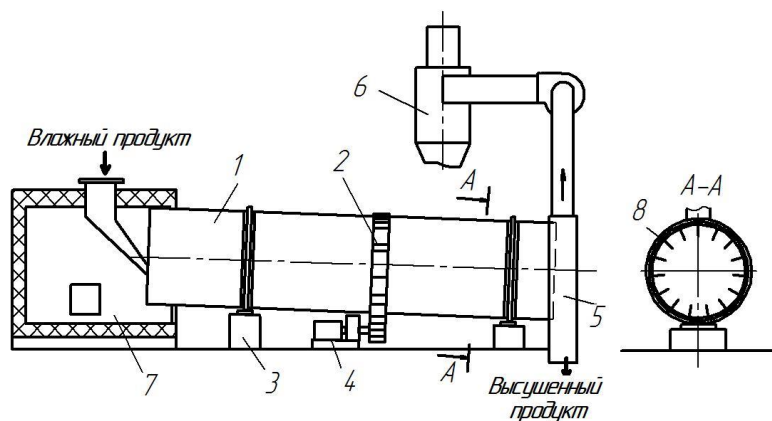
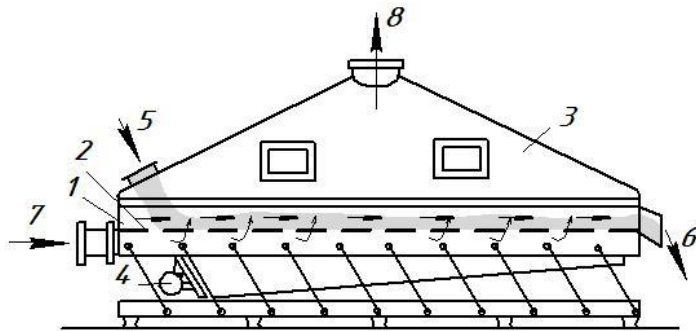


Рис. 1.1 Барабанна сушарка:

**1** - барабан ; **2** – зубчата передача; **3** - роликіві опори; **4** - привід; **5** - приймач висушеного продукту ; **6** - циклон ; **7** - топка.

Для ефективного змішування продукту з сушильним агентом всередині барабана передбачено встановлення спеціальних насадок **8**. Діаметр барабана може сягати 3 метрів, а його швидкість обертання — до 8 обертів за хвилину.

**Сушарки з віброкиплячим шаром.** У конструкції сушарки (Рис.1.2) передбачено встановлення нахиленої решітки 2, через яку проходить потік нагрітого повітря.

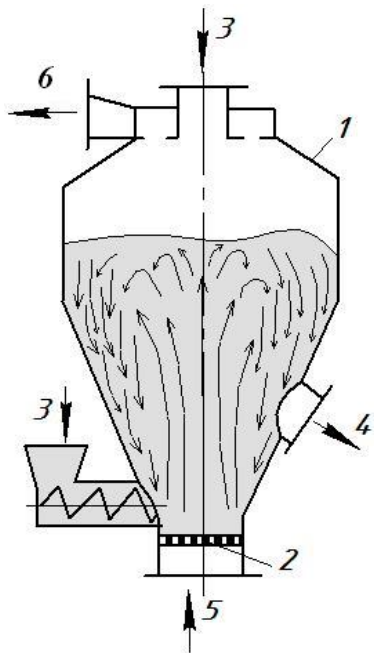


**Рис. 1.1.** Сушарки віброкиплячим шаром продукту: 1 – корпус; 2 - решітка; 3 – кришка; 4 - вібратор; 5 - вхід вологого матеріалу; 6 - вихід висушеного матеріалу; 7 - вхід нагрітого повітря; 8 - вихід відпрацьованого

Коливальні рухи решітці передає вібропривід 4. Сировина подається в сушильну камеру 3 через завантажувальний патрубок 5 і потрапляє на решітку, де під впливом повітряного потоку, що надходить знизу через канал 7, переходить у псевдозріджений стан. Завдяки вібрації цей стан підтримується, і продукт поступово переміщується вздовж решітки, при цьому відбувається його сушіння.

**Аерофонтанні сушарки (Рис.1.3)** застосовуються для обробки зернистих матеріалів із постійним розміром частинок.

Сушильна камера має конічну конструкцію. В нижній її частині повітряний потік рухається з надзвичайно високою швидкістю, що значно перевищує критичну для псевдозрідження, завдяки чому він підхоплює частинки матеріалу та піднімає їх вгору у вигляді фонтану в більш широку частину камери. У верхній частині, де швидкість потоку знижується, важчі частинки осідають вздовж стінок. Частинки, які пройшли сушіння й втратили вагу, виносяться потоком через патрубок 6 і потрапляють до циклону, де відбувається їхнє відокремлення. Щоб забезпечити ефективне розділення частинок, верхню частину камери виконують у вигляді циліндра.

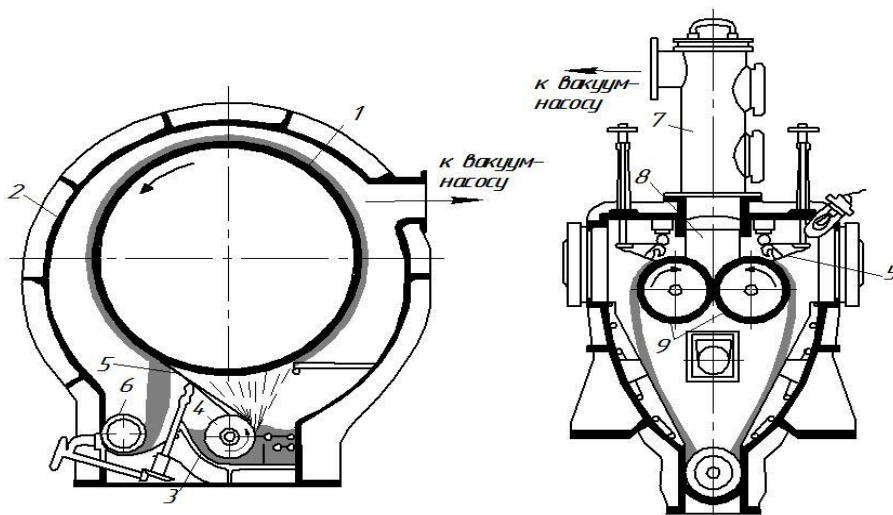


### Аерофонтанні сушарки (Рис.1.3)

- 1 – корпус; 2 - решітка;
- 3 - вхід вологого матеріалу;
- 4 - патрубок виходу висушеного матеріалу;
- 5 - патрубок входу нагрітого повітря; 6 - патрубок виходу відпрацьованого повітря;

**Вальцеві сушарки** можуть працювати як при атмосферному тиску, так і у вакуумі. Вакуумне сушіння застосовується у випадках, коли матеріал чутливий до дії високих температур.

**Одновальцева сушарка (Рис.1.4.а)** складається з горизонтально розташованого, порожнистого зсередини барабана 1, який обігрівається паром.



**Рис. 1.4.** Вальцеві сушарки:

а – одновальцева; б - двовальцева;

Сушильна камера має конічну конструкцію. В нижній її частині повітряний потік рухається з надзвичайно високою швидкістю, що значно перевищує критичну для псевдозрідження, завдяки чому він підхоплює

частинки матеріалу та піднімає їх вгору у вигляді фонтану в більш широкую частину камери. У верхній частині, де швидкість потоку знижується, важчі частинки осідають вздовж стінок. Частинки, які пройшли сушіння й втратили вагу, виносяться потоком через патрубок 6 і потрапляють до циклону, де відбувається їхнє відокремлення. Щоб забезпечити ефективне розділення частинок, верхню частину камери виконують у вигляді циліндра.

**Одновальцева сушарка (Рис.1.4.а)** складається з горизонтально розташованого, порожнистого зсередини барабана 1, який обігрівается парою. Барабан розміщується всередині герметичного кожуха 2, в нижній частині якого знаходиться корито 3 для подачі вологого матеріалу. Рідина надходить у корито та рівномірно розподіляється по поверхні барабана за допомогою розподільчого валика 4. Утворена тонка плівка матеріалу висихає за один оберт барабана і знімається ножем. Висушений продукт далі транспортується шнеком 6. Вальці нагріваються насиченою парою.

Вакуумні моделі сушарок мають відмінність у тому, що їхні вальці встановлено в герметизованому корпусі, де за допомогою вакуумного насоса та конденсатора створюється знижений тиск. У двовальцевій вакуумній сушарці (рис. 1.4.б) матеріал подається через збірник 8 на поверхню валків 9. Після сушіння продукт знімається ножами 5, далі сповзає по нахиленій площині 10 та виводиться шнеком 11. Пари, які утворюються, видаляються через верхній ковпак 7. З боків корпусу встановлено оглядові вікна.

Швидкість обертання вальців зазвичай становить від 1 до 6 обертів за хвилину, при цьому вальці обертаються назустріч один одному.

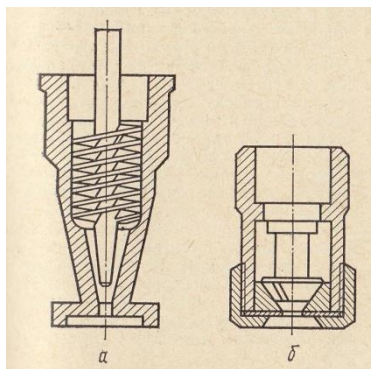
До основних недоліків вальцевих сушарок належать їхня значна маса (апарат з поверхнею валків 20 м<sup>2</sup> важить понад 25 тонн) і складність технічного обслуговування, пов'язана з поступовим зношенням ножів та поверхні самих вальців.

Перевагою контактного сушіння є менші втрати теплової енергії порівняно з конвективним, оскільки енергія витрачається безпосередньо на нагрів матеріалу, випаровування вологи та мінімальні втрати у зовнішнє

середовище, без участі витрат на винос тепла разом з відпрацьованими газами чи повітрям.

**Розпилювальна сушарка.** Для видалення вологи з розчинів і розбавлених тонкодисперсних суспензій використовують розпилювальні сушильні установки, принцип роботи яких ґрунтується на диспергуванні рідини в потоці гарячого повітря або газів. Завдяки надзвичайно великій питомій поверхні дрібних крапель, волога з них випаровується за лічені частки секунди. Це робить можливим сушіння термочутливих речовин за високих температур без погіршення їх якості. Розпилення здійснюється за допомогою механічних чи пневматичних форсунок, а також обертових дисків.

Механічні форсунки (Рис.1.5.а) працюють на основі подачі рідини під високим тиском (приблизно 20 МПа) через малі отвори діаметром 0,8–1,5 мм. У результаті рідина витікає під значною швидкістю, розщеплюючись на мікрокраплі розміром 50–150 мкм. Проте через ризик закупорювання отворів ці форсунки непридатні для в'язких рідин і суспензій.



**Рис. 1.5.а**

У пневматичних форсунках (Рис.1.5.б) здійснюється взаємодія потоку розчину та повітря, які одночасно подаються під тиском у межах 0,4–0,6 МПа. Повітря або пара надходять у форсунку тангенціально, утворюючи вихровий потік при виході. Цей тип форсунок, однак, має схильність до забивання навіть при використанні розбавлених суспензій.

Найширше використання у розпилювальних сушильних установках отримали обертові диски (Рис.1.5.в), які дозволяють досягати високої швидкості розпилення без залучення насосів чи стисненого повітря. Окружна швидкість обертання диска може досягати 200 м/с.

Корпус розпилювальних сушарок зазвичай має форму циліндра та дозволяє реалізовувати різні конфігурації встановлення розпилювальних елементів, а також варіанти подачі сировини та виведення готового продукту. На малюнку 1.6 показано приклад сушарки з верхнім розташуванням обертового диска та направленим зверху вниз потоком гарячого повітря. Диск обертається завдяки електродвигуну, який з'єднаний із ним через редуктор. Рідка фаза або суспензія подається по трубопроводу до центральної частини диска, де відбувається розпилення.

Нагріте в калорифері до заданої температури повітря подається у сушильну камеру через спеціальний розподільчий пристрій. Потім воно рухається вниз разом з аерозолем, охоплюючи всю довжину камери. Після цього повітря проходить крізь рукавний фільтр, де від нього відділяються зважені частинки матеріалу, і зрештою воно викидається вентилятором у навколишнє середовище. Висушений продукт осідає на дні камери, звідки за допомогою скребкового механізму потрапляє у шнековий транспортер і далі видаляється із сушарки.

Серед недоліків таких апаратів — значний діаметр камери, який необхідний для запобігання налипанню ще вологого продукту на внутрішні стінки, а також відносно низький показник питомої продуктивності за випаровуванням.

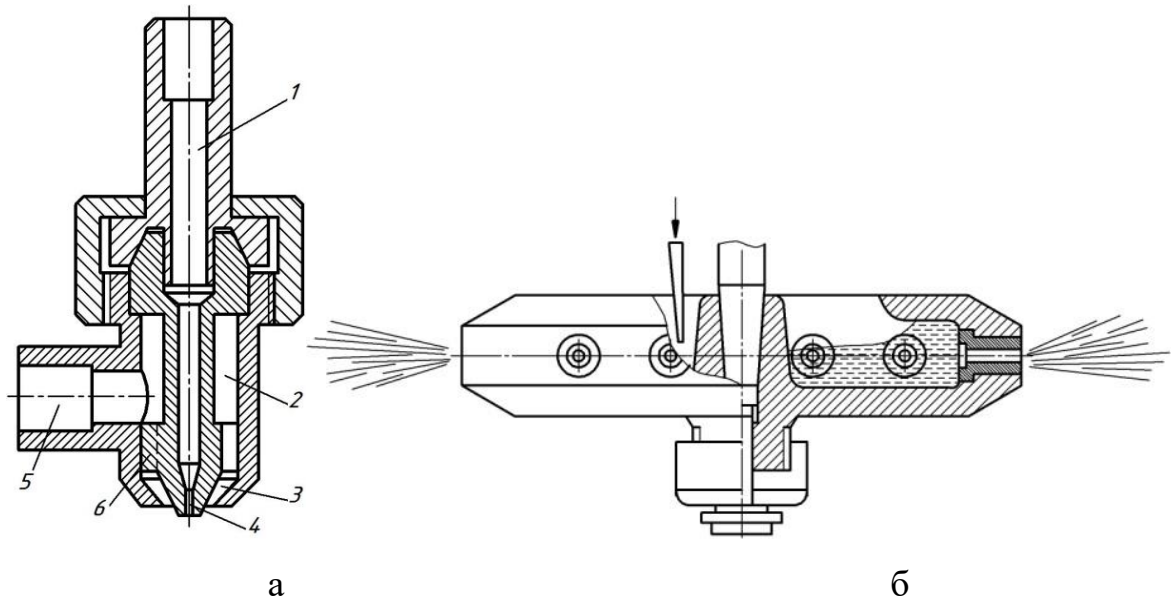
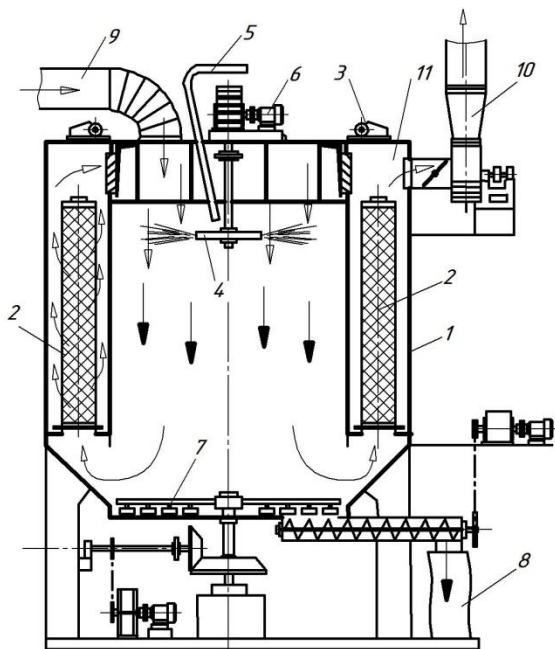


Рис. 1.5. Конструкції розпилювачів

*а – механічний; б – пневматичний: 1 - патрубок ; 2 - камера ; 3 - щілина для стисненого повітря; 4 - отвір для виходу рідини ; 5- патрубок подачі стисненого повітря; 6- завихрювач; в – дисковий.*



- 1 - камера;
- 2 - рукавний фільтр;
- 3 – механізм струшування фільтра ;
- 4 - обертовий диск;
- 5 подача розчину(суспензії);
- 6 - електродвигун;
- 7 – скребки;
- 8 збірник висушеного продукту;
- 9.вхід нагрітого повітря газів)
- 10 - вихід відпрацьованого повітря;
- 11 - канал для відпрацьованого повітря .

Рис. 1.6 Розпилювальна сушарка

**Інфрачервоні сушильні установки** (Рис.1.7) використовуються для підвищення ефективності процесу сушіння завдяки дії інфрачервоного випромінювання, яке впливає на матеріал протягом короткого часу. Таке випромінювання здатне проникати вглиб капілярно-пористої структури матеріалу на глибину до 10 мм, що суттєво змінює температурні поля всередині продукту, забезпечуючи його інтенсивний нагрів та прискорене випаровування вологи.

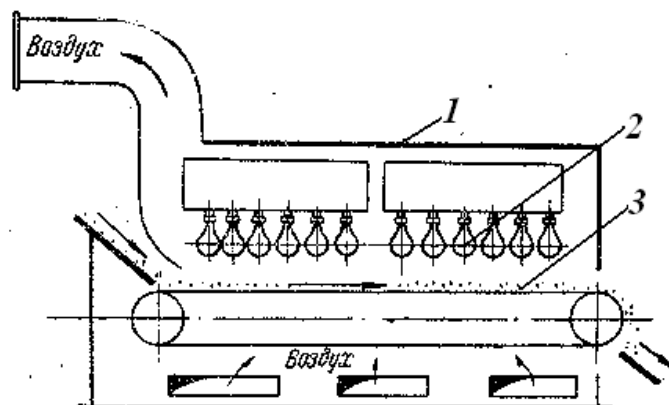


Рис. 1.7 Схема інфрачервоної сушильної установки :

1 - корпус сушарки; 2 - інфрачервоні випромінювачі 3- стрічковий конвеєр.

Під час інфрачервоного сушіння щільність теплового потоку, що діє на поверхню матеріалу, є значно вищою, ніж у випадку конвективного способу сушіння.

Інфрачервоне випромінювання створюється за допомогою спеціальних джерел — це можуть бути лампи з ниткою розжарювання, температура якої становить 2000–2200 °С, або керамічні випромінювачі, що працюють на принципі безполуменевого згоряння газу.

Інфрачервоні сушарки мають просту конструкцію: це переважно тунельні камери, всередині яких розміщується стрічковий конвеєр, що транспортує продукт під час сушіння. Інфрачервоні джерела тепла монтується над конвеєром відповідно до заданих параметрів процесу.

Сублімаційні сушильні установки застосовуються для отримання продуктів із високими якісними характеристиками.

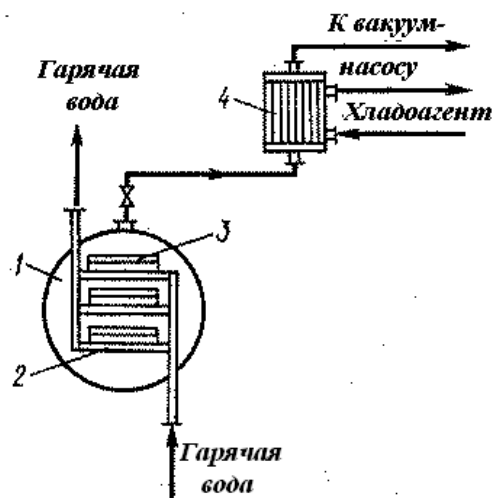
**Сублімаційне сушіння** дозволяє зберегти біологічну цінність продукту — не відбувається денатурація білкових сполук, припиняються мікробіологічні

процеси, зберігаються вітаміни. Крім того, висушена речовина зберігає свої первинні властивості: об'єм, колір, смак і аромат. Після повторного зволоження продукт швидко поглинає воду, повністю відновлюючи свою структуру та зовнішній вигляд.

Сублімацією називається процес переходу води з твердого стану безпосередньо в пароподібний, минаючи фазу плавлення, з попередньо замороженого матеріалу.

Такий тип сушіння виконується в герметичному об'ємі (камері) за умов середнього або глибокого вакууму (від 26,7 до 267 Па). У цьому режимі вода випаровується при низьких температурах, близько  $-10\dots-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Система сублімаційного сушіння (рис. 1.8) включає основні компоненти: сушильну камеру (субліматор) 1, конденсатор (виморожувач) 2, форвакуумний насос 3, холодильний компресор 4, а також додаткове допоміжне обладнання.



- 1 - сушильна камера;
- 2 - конденсатор;
- 3 - форвакуумний насос; 4 - холодильний компресор ;
- 5 - полиці для продукту

Рис. 1.8. Сублімаційна сушарка :

У середині сушильної камери (субліматора) розміщуються полиці, на які встановлюють лотки з продуктом. Ці полиці мають порожнисту конструкцію, що дозволяє подавати в них гарячу воду температурою близько  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  для забезпечення нагріву. Альтернативно, нагрівання може здійснюватися за допомогою електричних елементів. У вакуумному середовищі відбувається

процес сублімації — лід переходить безпосередньо в парову фазу. Утворена пара прямує з камери в конденсатор, де тиск значно нижчий, ніж у субліматорі.

У трубчастому конденсаторі водяна пара осідає у вигляді льоду на зовнішніх стінках труб. Видалення льоду проводиться або механічним способом, або шляхом розморожування. Для охолодження в конденсаторі зазвичай використовуються розсіл або аміак з температурою від  $-20$  до  $-25$  °C.

## 2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Реалізується процес зневоднення дріжджової суспензії із використаних пивних дріжджів.

Суспензія пивних дріжджів являє собою залишкову речовину, що утворюється в результаті бродіння пива та його фільтрування, та вважається побічним продуктом. Вона має світло-коричневе забарвлення і характерний запах зернової або іншої вихідної сировини. Суспензія пивних дріжджів через високий вміст органіки вона дуже швидко псується.

Відповідно до чинного законодавства, підприємства мають обов'язок утилізувати пивні дріжджі шляхом їх промислової переробки. Сучасні способи утилізації, зокрема їх концентрування та сушіння з подальшим використанням у якості кормової добавки для тварин або джерела дріжджової сировини для фармацевтичних потреб, лише частково дозволяють вирішити проблему її накопичення на виазаводах. Проте найбільш ефективним підходом до утилізації дріжджів є їх використання як сировини для виробництва сухих кормових дріжджів, дієтичних добавок, функціональної добавки.

У зв'язку з цим на особливу увагу заслуговує удосконалення технології виробництва сухих кормових дріжджів із післяспиртової барди з метою підвищення ефективності процесу та зменшення витрат енергії.

Реалізація даного проекту дозволить броварні:

1. Утилізувати використані пивні дріжджі;
2. Провести процес у інноваційному високоінтенсивному обладнанні, за низьких температур, зберігаючи всі функціональні властивості дріжджів.
3. Створити робочі місця
4. Отримати додатковий прибуток при незначних початкових інвестиціях.

### **3.ХАРАКТЕРИСТИКА ВХІДНОГО ПРОДУКТУ І ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

**Вхідний продукт** - суспензія пивних дріжджів, що утворюється в результаті бродіння пива та його фільтрування, та вважається побічним продуктом. Вона має світло-коричневе забарвлення і характерний запах зернової або іншої вихідної сировини. Суспензія пивних дріжджів через високий вміст органіки вона дуже швидко псується.

Концентрація суспензії за сухим продуктом – 5%.

**Вихідна продукція** – висушені пивні дріжджі. Це порошок світлокоричневого кольору, сировина для подальшого перероблення і використання у виробництві біологічно-активних добавок, функціональних харчових продуктів, лікарських засобів, або як готова добавка до кормів.

Вологість готових пивних дріжджів – 5-7%.

## 4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

### 4.1 Будова апарату

Схематичне зображення установки для сушіння дріжджів представлено на рисунку 1. До її основних складових входять: сушильна камера 6, паровий калорифер 29, нагнітальний вентилятор 10 з фільтром 19, блок із чотирьох циклонів 2, витяжний вентилятор 1, газодувка 26 з фільтрувальним елементом 27, а також система подачі сировини. Остання містить приймальний резервуар із мішалкою 14, проміжну ємність 15, насос для перекачування 16, фільтрувальний елемент 17, дозувальний насос 12, пульт управління та модуль фасування.

Всі частини установки (окрім газодувки, відсмоктуючого вентилятора, щита керування та системи затарювання) встановлено на єдиному каркасі, що забезпечує можливість транспортування апарату в зібраному вигляді.

Сушильна камера має форму циліндра з внутрішнім діаметром 0,66 м і подвійні стінки. Усередині розташована решітка 5, яка приводиться у вертикальні коливання ексцентриковим віброприводом 23. На поверхню решітки завантажуються 55 кг фторопластових гранул у вигляді кубиків із розміром грані 4 мм.

Над решіткою розміщені дві пневматичні форсунки 8.

В ролі насоса-дозатора використовується поршневий агрегат типу НД-0,5Е 100/10 із системою автоматичного регулювання подачі. Для зменшення пульсацій продукту встановлено повітряний клапан 9 із вбудованим манометром. Крім того, на повітряній лінії встановлено крани та манометри, які дозволяють точно регулювати подачу повітря до форсунок.

Усередині камери перед решіткою та над шаром продукту встановлено термометри опору 22 для вимірювання температури. Камера додатково обладнана дверцятами для обслуговування, оглядовими ілюмінаторами, патрубком 4, що використовується для подачі води під час миття, а також відбійною сіткою 7.

На циклонах змонтовані регулювальні шибери 3, які дозволяють керувати обсягом повітря, що проходить через циклони. Безпосередньо під циклонами розташовані знімні контейнери 25 для збору висушеного продукту. Для очищення внутрішньої частини циклонів у разі демонтажу контейнерів передбачені спеціальні шибери 24.

Для промивання всієї продуктової магістралі передбачено окремий резервуар для води 18. У нижній частині коліна сушарки на самому дні встановлено зливний патрубок 21, який використовується для очищення сушильної камери під час санітарної обробки.

На паропроводі розташовано два регулювальні елементи — редукційний клапан 13 та керуючий клапан 11, які забезпечують контроль подачі пари до системи.

### **3.2 Принцип роботи**

Функціонування установки відбувається наступним чином. Продукт надходить у приймальний бак 14, звідки за допомогою насоса 16 через фільтр 17 перекачується у витратний бак 15. Обидва баки (14 і 15) оснащені сорочками, в які подається охолоджена вода. У приймальному баку також встановлена решітка з великими отворами та малошвидкісна пропелерна мішалка.

Поршневий насос-дозатор 12 транспортує продукт у форсунки, що оснащені пристроями для регулювання витрати. За допомогою стисненого повітря (тиск у межах 0,05–0,55 МПа) продукт розпилюється в середовище віброкиплячого шару, який формується за рахунок одночасного впливу гарячого повітряного потоку і вертикальних коливань решітки. Плівка, яка утворюється на поверхні гранул, інтенсивно висушується, після чого відшаровується і разом з повітрям потрапляє в циклони, де осідає у приймальних бачках. Розвантаження цих бачків виконується вручну щогодини — продукт фасується в поліетиленові мішки, які закріплюються на розвантажувальному патрубку.

Температурний режим у процесі сушіння підтримується автоматично завдяки двоконтурній системі регулювання. Перший контур відповідає за стабілізацію температури повітря на вході до сушильної камери. Надмірне нагрівання зазвичай зумовлено коливаннями тиску пари або нестабільністю в конденсатній системі. Для обмеження тиску та згладжування коливань у повітряній магістралі встановлено редуційний клапан 13, після якого розміщений регулюючий клапан 11. Необхідна температура задається за допомогою електронного термомосту.

Якщо є значне відхилення між фактичною і заданою температурою, можливе порушення стабільності роботи сушарки.

Другий контур автоматичного керування відповідає за регулювання температури повітря на виході з камери шляхом зміни продуктивності насоса-дозатора, що подає продукт.

### **3.3 Опис запропонованого технічного рішення.**

На малюнку 1 представлена установка в поздовжньому розрізі, а на рисунку 2 – схема тангенціального введення вторинного теплоносія. Основним елементом конструкції є сушильна камера 1 циліндро-конічної форми. У нижній її частині розміщується газорозподільна решітка 2, під якою знаходиться короб 3 з патрубком 4 для подачі свіжого теплоносія.

У верхній частині камери 1, на межі переходу від циліндричної частини до конічної, встановлена друга газорозподільна решітка 9. У центрі цієї решітки розташовано підшипниковий вузол 19, який виконує функцію нижньої опори для порожнистого обертового вала 8. Верхня частина камери герметично закривається кришкою 5 з патрубком 6, що призначений для виведення використаного теплоносія. Проміжок між решітками 2 і 9 заповнений інертним насипним матеріалом 7.

Осьовий вал 8 має порожнину всередині і обертається в підшипниковому вузлі 16, при цьому приводиться в рух через пару конічних зубчастих передач 17 і 18. З камерою подачі вихідного продукту 15 вал з'єднаний через сальниковий вузол 14.

Після виходу з підшипникового вузла 19, який є нижньою опорою, вал приєднується до трійника, що складається з трубок 10, 11 і 12, на кінцях яких встановлено форсунки. Останні можуть бути орієнтовані в горизонтальній, вертикальній чи похилій площинах. Їхнє розташування (за висотою або по колу) визначається характером матеріалу, що підлягає сушінню.

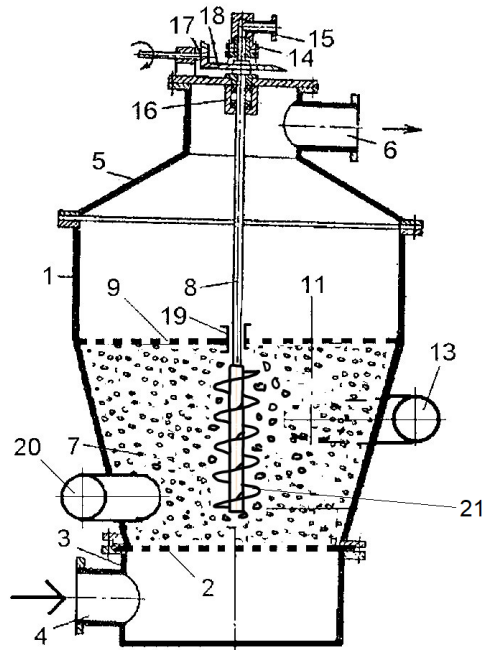
На малюнку 1.2 зображено схему подачі вторинного теплоносія за тангенціальним принципом. До конічної секції камери 1 приєднано щонайменше один тангенціально розташований патрубок 20, через який подається вторинний теплоносій, температура якого перевищує температуру основного (свіжого) теплоносія.

В якості інертного завантаження може використовуватись різноманітна форма насадок. Наприклад, це можуть бути порожнисті кульки з вирізаною на їхній сферичній поверхні гвинтовою канавкою. Канавка утворена у вигляді гвинтової лінії, а її поперечний профіль може мати форму кола, багатокутника, "сідла Берля" або "сідла Італлокс". Також можливо використання циліндричних кілець з аналогічними гвинтовими канавками або насадок у вигляді гвинтової лінії, сформованої на циліндричній поверхні з такими ж профілями в перерізі.

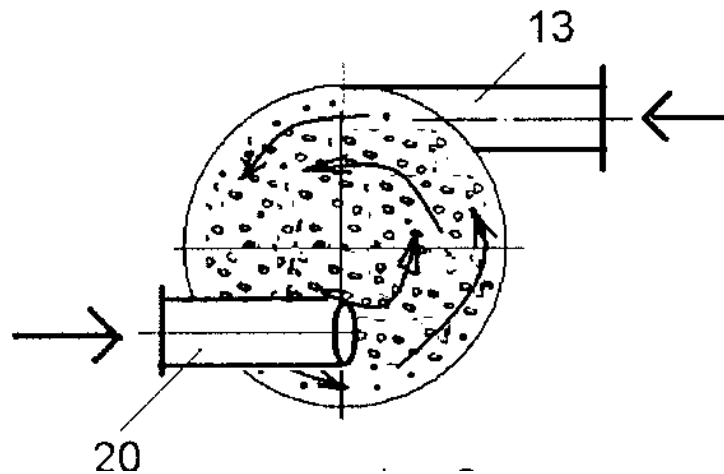
Окрім цього, інертне завантаження може мати форму тороїдальних кілець, які також можуть мати профіль у вигляді круга, багатокутника або різновидів "сідла Берля" чи "Італлокс". Матеріал для виготовлення таких інертних елементів — це пружні полімери або композиційні матеріали, отримані методом формування чи спікання.

### **Принцип роботи установки полягає в наступному.**

Між газорозподільними решітками 2 і 9 камера 1 заповнюється інертними тілами 7. Основна частина свіжого теплоносія надходить через патрубок 4 у короб 3, звідки далі проходить крізь решітку 2 і потрапляє в камеру 1, створюючи киплячий шар з інертних тіл 7, рух якого спрямований вертикально вгору.



Фиг.1



Вихідний матеріал із подаючої камери 15 подається через порожнистий обертовий вал 8, а далі через трубки 10, 11 і 12 — до форсунок, які розпилюють матеріал безпосередньо в киплячий шар. Завдяки обертанню вала 8 забезпечується рівномірне зрошення всього об'єму інертного шару.

Через патрубки 13 і 20 (або один з них) у камеру тангенціально подається вторинний теплоносій, температура якого вища за температуру основного. Це створює зону обертального кільця з потоком, спрямованим по дотичній до стінки камери. Шнек 21, який обертається в камері, запобігає утворенню застійних зон, сприяє перемішуванню інертних тіл, а також викликає додаткові вібрації, що покращують покриття поверхні інертних тіл розпиленою суспензією.

Завдяки високій температурі та значній відносній швидкості руху теплоносія і інертних тіл у зоні обертального кільця забезпечується інтенсивний тепло- і масообмін. Це дозволяє майже миттєво висушити плівку вихідного матеріалу, що осіла на інертні тіла. У нижніх шарах продовжується досушування, а також відділення висушеного продукту внаслідок зіткнень частинок, спричинених перехрещенням потоків теплоносіїв та механічною дією шнека.

Запропонована конструкція установки дозволяє досягти кращого зрошення та перемішування шару інертних тіл, забезпечуючи рівномірне та ефективне сушіння. Подавання вторинного теплоносія не лише запобігає злипанню матеріалу в зоні зрошення, а й підсилює процеси тепло- і масообміну. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню питомої продуктивності установки та покращенню гідродинамічної стабільності роботи киплячого шару.

## 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1. Визначення ключових технічних параметрів для виконання теплового розрахунку

У процесі виготовлення одного декалітра пива утворюється приблизно 0,2 літра дріжджової маси. Половина цього об'єму використовується для подальшого культивування, а інша частина підлягає реалізації. Таким чином, при виробничій потужності пивоварного підприємства в 310 000 доларів на рік, обсяг дріжджів, що може бути направлений на продаж, становитиме:

$$310\,000 \cdot 0,1 = 31\,000 \text{ кг}$$

Об'єм рідких дріжджів, що містять 15% сухих речовин, складатиме:

$$31\,000 \cdot 0,15 = 4\,650 \text{ кг}$$

До початку сушильного процесу дріжджову масу піддають сепарації, доводячи вміст сухих речовин до 25%. Після цього загальна маса рідких дріжджів становить 37 200 кг. Відповідно, добовий обсяг дріжджів, що підлягають переробці, дорівнює:

$$37\,200 : 387 = 96 \text{ кг/суб}$$

У разі роботи сушильної установки в одну зміну тривалістю 8 годин, обсяг дріжджової маси, що підлягає обробці, становитиме:

$$96 : 8 = 17 \text{ кг/год}$$

За умови зазначеної продуктивності передбачається обробка всього обсягу дріжджів за допомогою однієї сушильної установки. У подальших розрахунках буде використано значення її годинної продуктивності.

$$96 : 8 = 17 \text{ кг/год}$$

#### **Вихідні дані:**

Вологість рідких дріжджів становить  $W_1 = 75\%$

Вологість після сушіння  $W_2 = 6-9\%$

Продуктивність по вихідному (мокрому) продукту  $G_1 = 17 \text{ кг/год}$

Умовна (теоретична) продуктивність за масою сухої речовини

$$G_2 = 4-5 \text{ кг/год}$$

З урахуванням різниці у вологості матеріалу, розрахункову продуктивність по сухій речовині приймаємо межам  $G_2=4-5$  кг/год  
Кількість води, що випаровується в процесі сушіння дріжджів, становить:

$$U=G_1-G_2=17-(4-5)=12 \text{ кг/год}$$

Розрахунки виконуються з урахуванням граничних технологічних навантажень, характерних для процесу сушіння рідких дріжджів. Теплові параметри калориферів визначаються відповідно до температурного режиму, необхідного для ефективного випаровування води з дріжджової маси.

Вибір вентиляторів здійснюється на основі вимог до підтримання відповідного гідродинамічного режиму, що забезпечує псевдозрідження (кипіння) продуктового шару.

Циклонні апарати підібрані таким чином, щоб забезпечити ефективне вилучення дрібнодисперсної фракції сухих дріжджів з повітряного потоку.

Об'єм обробки рідких дріжджів на  $1 \text{ м}^2$  площі решета становить...

$$q_1=234 \text{ кг/м}^2$$

Поверхня решета:

$$F_1=17/234=0,342 \text{ м}^2$$

Мінімально допустима швидкість повітряного потоку під решетом становить  $W_p=4,5 \text{ м/с}$

Загальні витрати повітря:

$$L=F*W_p=0,342*4,5=606 \text{ м}^3/\text{с}$$

Температурний показник повітря, яке подається в сушильну установку

$$t_1=120^\circ \text{C}$$

Середня температура  $t_{cp}$  повітря в сушарці:

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2},$$

$$t_{cp} = \frac{100 + 45}{2} \approx 73^\circ \text{C}.$$

Середнє значення вологовмісту  $x_{cp}$  в сушарці:

$$x_{cp} = \frac{x_1 + x_2}{2},$$
$$x_{cp} = \frac{0,006 + 0,023}{2} = 0,0145 \frac{\text{кг}_{\text{вол.пов.}}}{\text{кг}_{\text{с.п.}}}.$$

Середній показник густини повітряно-парової суміші

$$\rho_{cp} = \frac{M_{\text{с.п.}}}{\nu_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{cp}},$$
$$\rho_{cp} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 73} = 1,02 \text{ кг} / \text{м}^3;$$
$$\rho_{\text{в.п.}} = \frac{\mu_6}{\nu_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{cp}},$$
$$\rho_{\text{в.п.}} = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 73} = 0,63 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Середній об'ємний витрат повітря  $V$

$$V = \frac{L}{\rho_{cp}} + \frac{x_{cp} \cdot L}{\rho_{\text{в.п.}}},$$
$$V = \frac{0,128}{1,02} + \frac{0,0145 \cdot 0,128}{0,63} = 0,128 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Наступним кроком є визначення умовної (фіктивної) швидкості, за якої починається псевдозрідження.

$$w_{nc} = \frac{\text{Re} \mu_{cp}}{\rho_{cp} d_e},$$

де  $\text{Re} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$  – критерій Рейнольдца,

$Ar = d_e^3 \rho_{cp} g \rho_4 / \mu_{cp}^2$  – критерій Архімеда,

де  $\mu_{cp}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості повітря за середньої температури

$$t_{cp} = 73^\circ\text{C}.$$

$$Ar = \frac{(0,8 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1,02 \cdot 9,81 \cdot 1450}{(2,08 \cdot 10^{-5})^2} = 1,72 \cdot 10^4,$$

$$\text{Re} = \frac{1,72 \cdot 10^4}{1400 \cdot 5,22\sqrt{1,72 \cdot 10^4}} = 8,25,$$

$$w_{nc} = \frac{8,25 \cdot 2,08 \cdot 10^5}{1,02 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}} = 0,21 \text{ м/с.}$$

Значення критерію Архімеда для саліцилової кислоти у формі частинок певного діаметра  $d_e$  :

$$Ar = \frac{(0,8 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1,02 \cdot 9,81 \cdot 1450}{(2,08 \cdot 10^{-5})^2} = 1,72 \cdot 10^4.$$

Швидкість потоку, за якої легкі частинки залишають межі системи

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

$$w_{c.в.} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5}}{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,02} \cdot \left( \frac{1,72 \cdot 10^4}{18 + 0,575\sqrt{1,72 \cdot 10^4}} \right) = 4,7 \text{ м/с.}$$

Критичне число псевдозрідження:

$$K_{np} = \frac{4,7}{0,21} = 22,4.$$

Робоча швидкість  $\omega$  сушильного агента визначається в заданих межах від  $w_{nc}$

до  $w_{c.в.}$  . Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження

$K_{np} = w_{c.в.} / w_{nc}$  : Якщо зазначене число  $K_{np}$  перевищує 40–50, доцільно приймати

$K_w = w / w_{nc}$  його робоче значення в діапазоні від 3 до 7. У випадках, коли воно

становить  $K_{np}$  менше ніж 20–30, як у нашому дослідженні, рекомендовано

обирати значення  $K_w$  в межах від 1,5 до 3. Враховуючи це, приймаємо

значення  $K_{np} = 1,5$

$$\omega = K_w \cdot w_{nc}, \text{ м/с}$$

$$w = 2,3 \cdot 0,21 = 0,483 \text{ м/с.}$$

Діаметр сушарки:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \text{ м}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,138}{0,785 \cdot 0,483}} = 0,6 \text{ м.}$$

Температура відпрацьованого повітря після сушильної камери:

$$t_2=58-64^{\circ}\text{C}$$

### 4.3. Тепловий розрахунок

Вихідні данні:

Продуктивність по сухому продукту.....	4 кг/год
продуктивність по сировині.....	17 кг/год
продуктивність по випаруваній волозі.....	59-76%
поверхня решета.....	0,342
діаметр отворів решета.....	1,5-2,0 мм
амплітуда коливань решета.....	8 мм
частота коливань решета.....	7,5 Гц
максимальна витрата сушильного агента.....	$G_B = 606$ кг/год
максимальна температура нагрівання повітря.....	$t_B = 120^{\circ}\text{C}$
температура обробленого повітря.....	$t_H = 58-64^{\circ}\text{C}$
температура повітря в приміщенні.....	$20^{\circ}\text{C}$
опір решета.....	$h_p = 40$ кгс/м <sup>2</sup>
опір шару інертного матеріалу при сушінні дріжджів.....	$h = 130$ кгс/м <sup>2</sup>
тиск пари на вході в калорифер.....	0,4 МПа

#### Підбір калорифера і розрахунок потрібного кількості пари.

Витрати тепла на нагрів повітря:

$$W = G_B * 0,24 * (t_B - t_H) = 606 * 0,24 * 100 = 14544$$

Необхідний перетин по повітрю калорифера при економічній ваговій швидкості повітря:  $v_g = 8$  кг/м<sup>2</sup>с

$$f_p = G_B / (3600 * v_g) = 606 / (3600 * 8) = 0,0210 \text{ м}^2$$

Приймаємо до установки калорифер марки КВВ-41 з поверхнею нагріву  $F = 10,81$  м<sup>2</sup> чистим перетином по повітрю  $f_p = 0,0210$  м<sup>2</sup>.

Фактична вагова швидкість повітря:

$$G = \frac{W}{V} = \frac{145}{504} \text{ кг/м}^2\text{с}$$

Коефіцієнт теплопередачі калорифера:

$$K = 10,81 \text{ Вт/м}^2\text{С}$$

Середня температура повітря в калорифері:

$$t_{cp} = \frac{t_g + t_n}{2} = \frac{120 + 151,11}{2} = 135,555^\circ\text{C}$$

Необхідна поверхню нагріву калориферної установки:

$$F = \frac{W}{K \cdot \Delta t} = \frac{145}{10,81 \cdot 22,2} = 5,5 \text{ м}^2$$

де  $t_n = 151,11^\circ\text{C}$  – температура пара при тиску 0,5 МПа

Необхідна кількість калориферів:

$$N = F_p / F = 5,5 / 10,81 = 0,5$$

Приймаються до установки 3 калорифера, встановлених по руху повітря.

Загальна поверхня нагріву калориферної установки:

$$F = 10,81 \cdot 3 = 32,43 \text{ м}^2$$

Запас поверхні нагріву:

$$\frac{F}{F_p} = \frac{32,43}{5,5} = 5,896$$

Витрати гріючої пари

$$G = \frac{W}{V} = \frac{145}{504} \text{ кг/год}$$

де  $V = 504,2$  ккал/кг – прихована теплота пароутворення

Опір проходу повітря калориферної установки

$$H_{yc} = 2N = 2 \cdot 22,2 = 44,4 \text{ кгс/м}^2$$

де  $N = 22,2$  кгс/м<sup>2</sup> – опір проходу повітря одного калорифера

## Розрахунок діаметрів паропроводів

Секційна витрата пари

$$G = \frac{G_n - V_n}{3600} \text{ кг/с,}$$

де  $V_n = 0,318 \text{ м}^3/\text{кг}$  - середній питомий об'єм пари при  $p = 5 \text{ кгс/см}^2$

$$V_n = \frac{29817}{3600} = 8,28 \text{ м}^3/\text{с}$$

Поперечний переріз паропроводу:

$$F = V_c / W = 0,0253 / 30 = 0,000833 \text{ м}^2 = 833 \text{ мм}^2$$

де  $W = 30 \text{ м/с}$  – швидкість пари (приймаємо)

Внутрішній діаметр паропроводу

$$d = \sqrt{\frac{833}{0,785}} = 32,9 \text{ мм}$$

Приймаємо внутрішній діаметр підвідного паропроводу  $d_{\text{вн}} = 32 \text{ мм}$ .

## 4.4 Аеродинамічний розрахунок і підбір вентиляторів

Розрахунок опору ділянки нагнітального вентилятора – сушильна камера.

Об'єм повітря що надходить в калорифери:

$$V_{\text{кв}} = \frac{G}{\rho_{\text{кв}}} = \frac{606}{1,205} = 502 \text{ м}^3/\text{Г}$$

$\rho_{\text{кв}} = 1,205 \text{ кг/м}^3$  - питома вага повітря при  $t = 20^\circ \text{C}$ ,  $P = 760 \text{ мм рт.ст.} = 1013 \text{ кПа}$

Секундна витрата повітря:

$$V_c = \frac{V_{\text{кв}}}{3600} = \frac{502}{3600} = 0,139 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа установки фільтрів:

$$f_{\text{ф}} = \frac{V_c}{v_{\text{ф}}} = \frac{0,139}{0,3} = 0,46 \text{ м}^2$$

Питоме повітряне навантаження фільтрів

$$\frac{V}{f_{\phi}} = \frac{5024}{1,06} \text{ м}^3/\text{с}$$

Опір установки на 4-ох фільтрах:

$$\Delta h_p = 9,6 \text{ Па}$$

Площа відсмоктуючого патрубку вентилятора:

$$f_B = 0,785 * D_B^2 = 0,785 * 0,16 = 0,1256 \text{ м}^2$$

$$D_B = 0,4 \text{ м}$$

Швидкість повітря на вході у вентилятор:

$$W = V / f_B = 0,1 / 0,1256 = 0,75 \text{ м/с}$$

Динамічний напір на вході у вентилятор:

$$h_{дв} = 46 \text{ Па}$$

Значення коефіцієнта гідравлічного опору конфузора:

$$f_B / f_{\phi} = 0,1256 / 1,06 = 0,114$$

Коефіцієнт опору, що виникає в конфузори

$$h_k = \xi_{вх} * h_{дв} = 0,45 * 4,7 = 2,6 \text{ кгс/м}^2 = 25 \text{ Па}$$

Переріз вихлопного патрубку вентилятора П4-70:

$$f_1 = 0,23 * 0,28 = 0,0784 \text{ м}^2$$

Швидкість повітря на виході із вентилятора:

$$W_1 = V_c * f_1 = 0,1 * 0,0784 = 14,8 \text{ м/с}$$

Динамічний тиск повітря на виході із вентилятора:

$$h_{g1} = 132,6 \text{ Па}$$

Вихідний переріз дифузора

$$f_2 = 0,28 * 0,61 = 0,171 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт опору дифузора:

$$\xi_{вих} = 0,32 \frac{f_1}{f_2} = \frac{0,0784}{0,171} = 0,46$$

Опір дифузора:

$$\Delta h_1 = h_g \cdot \xi_{\text{вих}} = 12,5 \cdot 0,32 = 39 \text{ Па}$$

Вихідний переріз коліна:

$$f_3 = 0,61 \cdot 0,71 = 0,433 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт опору коліна:

$$\xi_{\text{к1}} = k \Delta \xi_0 \text{ BC}$$

$$k \Delta \xi_0 = 0,45 \text{ при } \frac{f_2}{f_3} = \frac{0,171}{0,433} = 0,39$$

$$\frac{r}{b} = \frac{80}{710} = 0,1, B=1, C=1$$

$$\xi_{\text{к1}} = 0,45 \cdot 1 \cdot 1 = 0,45$$

Швидкість повітря на виході із дифузора:

$$W_2 = 1,1 / 0,171 = 6,44 \text{ м/с}$$

Динамічний тиск на виході дифузора:

$$h_{g2} = 25 \text{ Па}$$

Опір коліна:

$$\Delta h_2 = h_{g2} \cdot \xi_{\text{к}} = 2,6 \cdot 0,45 = 11,5 \text{ Па}$$

Коефіцієнт опору входу в калорифер:

$$\frac{f_{\text{к}}}{f_3} = \frac{0,167}{0,433} = 0,39$$

$f_{\text{к}} = 0,167 \text{ м}^2$  – поперечний переріз калорифера

$$\xi_{\text{вн}} = 0,3$$

Опір входу в калорифер:

$$\Delta h_3 = h_{g2} \cdot \xi_{\text{вн}} = 0,3 \cdot 2,6 = 7,6 \text{ Па}$$

Коефіцієнт виходу із калорифера:

$$W_x = \frac{V}{\gamma_b} = \frac{8,05}{0,87} \text{ м/с}$$

де  $\gamma_b = 0,87 \text{ кг}$  – питома вага повітря при  $t = 120^\circ \text{C}$ ,  $V_\gamma = 8,05 \text{ кг/ м}^2 \text{ с}$

Динамічний тиск на виході із калорифера:

$$h_{g3} = 38 \text{ Па}$$

Опір входу із калорифера:

$$\Delta h_4 = h_{g3} * \xi_{\text{вих}} = 0,35 * 3,9 = 1,37 \text{ кгс/м}^2 = 13,3 \text{ Па}$$

Вхідний переріз коліна:

$$f_4 = 0,785 * d_{\text{кол}}^2 = 0,785 * 0,2045 = 0,159 \text{ м}^2, d_{\text{кол}} = 0,45 \text{ м}$$

Коефіцієнт опору перехідного парубка:

$$\frac{f_4}{f_3} = \frac{0,159}{0,433} = 0,37, \xi_{\text{вих}} = 0,31$$

Швидкість повітря на вході в коліно:

$$W_3 = \frac{485}{3,14 * 0,45^2} = 2380 \text{ м/с}$$

Динамічний тиск на вході в коліно:

$$h_{g4} = 44 \text{ Па}$$

Опір перехідного патрубку:

$$\Delta h_5 = h_{g4} * \xi_{\text{вх3}} = 0,35 * 4,5 = 1,575 \text{ кгс/м}^2 = 15,5 \text{ Па}$$

Коефіцієнт опору коліна:

$$\xi_k = k \Delta \xi_o \text{ BC} = 0,6 * 1 * 1 = 0,6 k \Delta \xi_o = 0,6$$

$$\frac{R}{B} = \frac{500}{450} = 1,1$$

Опір коліна:

$$\Delta h_6 = h_{g4} * \xi_{k2} = 0,6 * 7,5 = 4,63 \text{ кгс/м}^2 = 48 \text{ Па}$$

Вихідний переріз конуса:

$$F_5 = 0,785 * d_{\text{кон}}^2 = 0,785 * 0,436 = 0,342 \text{ м}^2$$

$$d_{\text{кон}} = 0,436 \text{ м}$$

Коефіцієнт опору конуса:

$$\frac{f_4}{f_5} = \frac{0,159}{0,342} = 0,46, \xi_{\text{вих}} = 0,38$$

Опір конуса

$$\Delta h_7 = h_{g4} * \xi_{\text{вих3}} = 0,38 * 7,8 = 3,97 \text{ кгс/м}^2 = 18,9 \text{ Па}$$

Сумарний опір ділянки вентилятор-камера:

$$H = \Delta h_{\text{cp}} = \Delta h_k + \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 + \Delta h_6 + \Delta h_7 + h_{\text{сп}} + h_p + H_{\text{уст}}$$

$$H_{\text{уст}} = 44,4 \text{ кгс/м}^2$$

$$h_{\text{сп}} = 130 \text{ кгс/м}^2$$

$$h_p = 40 \text{ кгс/м}^2$$

$$H = 2,6 + 3,9 + 1,17 + 0,78 + 1,37 + 1,58 + 4,63 + 3,97 + 44,4 + 130 + 40 = 235 \text{ кгс/м}^2 = 2304 \text{ Па}$$

#### 4.5. Розрахунок циклонних установок

Годинний розрахунок повітря, що проходить через циклоном установку:

$$Q_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{сек}}}{n} = \frac{453}{4} = 113,25 \text{ м}^3/\text{год}$$

$\gamma_4 = 1,06 \text{ кг/м}^3$  - питома вага повітря при  $t = 60^\circ \text{C}$

Секундний об'єм повітря, що проходить через циклоні:

$$Q_{\text{сек}} = \frac{Q_{\text{год}}}{n} = \frac{453}{4} = 113,25 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр циклона:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{Wn^2 \gamma}}$$

$W = 3.5 \text{ м/с}$  – умовна швидкість в циклоні (приймаємо)

$n = 4$  – кількість циклонів

$$D = 0,339 \text{ м} = 339 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр циклона  $D = 350 \text{ мм}$

Уточнюємо умовну швидкість повітря в циклоні:

$$W = \frac{Q_{\text{сек}}}{\frac{\pi D^2}{4} n} = \frac{113,25}{\frac{\pi \cdot 0,35^2}{4} \cdot 4} = 2,7 \text{ м/с}$$

Втрати напору в циклоні:

$$\Delta P = \frac{\xi W^2}{2} = 1 \frac{33^2 * 106}{2 * 981} = 67,7 \text{ кгс/м}^2 = 647,5 \text{ Па}$$

$\xi=115$  – коефіцієнт місцевого опору блока циклонів, віднесений до умовної швидкості в поперечному розрізі циклона.

Відношення перепаду до питомої ваги повітря при робочій температурі:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{67,7}{106} = 0,64, \text{ тобто знаходиться у рекомендованому перепаді 55-75 м.}$$

Розрахунок опору ділянки сушильна камера - відсмоктуючий вентилятор

Дозвіл в сушильній камері:

$$\Delta h_1 = 235 - 125 = 110 \text{ кгс/м}^2 = 1079 \text{ Па}$$

Опором виходу із сушильної камери нехтуємо.

Вихідний переріз конфузора (перед входом повітря в циклони):

$$f_1 = 0,09 * 0,0232 = 0,0417 \text{ м}^2$$

Швидкість на виході із конфузора

$$W_1 = \frac{Q}{f_1} = \frac{0,274}{0,0417} = 6,57 \text{ м/с}$$

Динамічний напір в конфузіві:

$$h_{g2} = 107,37 \text{ Па}$$

Коефіцієнт опору конфузхора:

$$\xi_1 = 0,1 \text{ при } \chi = 20-60^\circ$$

Опір конфузора:

$$\Delta h_2 = h_{g2} * \xi_1 = 11 * 0,1 = 1,1 \text{ кгс/м}^2 = 10,8 \text{ Па}$$

Вихідний переріз равлика:

$$d_y = 200 \text{ мм}; f_2 = 0,785 d_y^2 = 0,0316 \text{ м}^2$$

Швидкість входу повітря у равлик:

$$W_2 = \frac{Q}{f_2} = \frac{0,274}{0,0316} = 8,67 \text{ м/с}$$

Динамічний напір входу у равлик:  $\xi_{вх} = 0,5$

Опір входу у равлик:

$$\Delta h_3 = h_{g1} * \xi_{вх} = 0,5 * 6,5 = 3,25 \text{ кгс/м}^2 = 31,8 \text{ Па}$$

Коефіцієнт переходу потоку до вихідного перерізу равлика:  $k_c = 1$

Переріз на виході із равлика:

$$f_3 = 0,07 * 0,232 = 0,161 \text{ м}^2$$

Швидкість повітря на виході із равлика:

$$W = \frac{Q}{F} = \frac{127}{401} = 0,317 \text{ м/с}$$

Динамічний напір на виході із равлика:

$$h_{g3} = 235 \text{ Па}$$

пором дифузора равлика нехтуємо зважаючи на його малу величину.

Опір повороту у равлику:

$$\Delta h_3 = h_{g2} * k_x = 0,5 * 6,5 = 1,23 \text{ кгс/м}^2 = 12 \text{ Па}$$

Площа вхідного перерізу дифузора воздухозбірника:

$$f_4 = 0,08 * 0,232 = 0,0209 \text{ м}^2$$

Площа вихідного перерізу дифузора воздухозбірника:

$$F_5 = 0,09 * 0,22 = 0,051 \text{ м}^2$$

Площа середнього перерізу дифузора:

$$f_{cp} = \frac{f_4 + F_5}{2} = \frac{0,0209 + 0,051}{2} = 0,0359 \text{ м}^2$$

Швидкість в середньому перерізі дифузора:

$$W_{cp} = \frac{Q}{F_{cp}} = \frac{127}{403} = 0,315 \text{ м/с}$$

Динамічний напір в середньому перерізі дифузора:

$$h_{g4} = 41 \text{ Па}$$

Коефіцієнт опру дифузора:

$$\varphi_{диф} = \varphi_p * \xi_{вих} = 0,53 * 0,42 = 0,22$$

$\varphi_p = 0,53$  при куті відкриття дифузора  $25^\circ$

$$\xi_{\text{вих}}=0,4 \text{ при } \frac{f_4}{f_5} = \frac{0,209}{0,51}$$

Опір дифузора:

$$\Delta h_4 = h_{g3} * \xi_{\text{диф}} = 0,22 * 4,2 = 0,9 \text{ кгс/м}^2 = 9 \text{ Па}$$

Вихідний переріз колектора:

$$F_c = 0,232 * 0,62 = 0,144 \text{ м}^2$$

Швидкість повітря у вихідному перерізі колектора:

$$W_c = \frac{Q}{f_c} = \frac{0,278}{0,144} \text{ м/с}$$

Динамічний напір у колекторі:

$$h_{g4} = 41 \text{ Па}$$

Коефіцієнт опору повітрязабірника. Вважаємо як прохідний переріз збирального несиметричного трійника:

$$\frac{W_{\text{в}}}{W_{\text{г}}} = \frac{F_{\text{г}}}{F_{\text{в}}} = \frac{0,51}{0,44}$$

$$\xi_6 = 0,3$$

Опором перехідника нехтуємо.

Коефіцієнт опору шибера:

$$\xi_{\text{ш}} = 0,1$$

Опір колектора, перехідника, шибера:

$$\Delta h_5 = h_{g4} * (\xi_{\text{в}} + \xi_{\text{ш}}) = 0,4 * 4,2 = 0,17 \text{ кгс/м}^2 = 1,66 \text{ Па}$$

Площа перерізу повітровода:

$$f_7 = 0,82 * 0,32 = 0,193 \text{ м}^2$$

Еквівалентний діаметр повітровода:

$$d_e = \frac{4F_7}{v} = \frac{4 * 0,193}{1,88} \text{ м}$$

$$v = 2 * 0,62 + 2 * 0,32 = 1,88$$

Швидкість у повітроводі:

$$W_{\text{екв}} = \frac{Q}{f_7} = \frac{0,278}{0,193} \text{ м/с}$$

Динамічний напір у повітроводі:

$$h_{g6}=2,5 \text{ м/с}$$

Довжина повітровода (прийнята):

$$L=10 \text{ м}$$

Число Рейнольда:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{19,6 \cdot 0,1}{19,6 \cdot 10^{-6}} = 1000$$

$\nu = 19,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря при 60°C

Коефіцієнт тертя:

$$\lambda = \frac{0,16}{Re^{0,25}} = \frac{0,16}{1000^{0,25}} = 0,037$$

Опір тертя повітровода:

$$h_{tr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2} = 0,037 \cdot \frac{10}{0,1} \cdot \frac{19,6^2}{2} \text{ кгс/м}^2 = 9,8 \text{ Па}$$

Опір ділянки камери – відсмоктуючий вентилятор:

$$H_{yч} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 + \Delta h_{tr} + \Delta h_{yч} = 110 + 1,1 + 23 + 0,9 + 0,2 + 1 + 67,4 = 208,6 \text{ кгс/м}^2 = 2059 \text{ Па}$$

Вибираємо відсмоктуючий вентилятор

Продуктивність вентилятора:

$$Q_{yч} = \frac{Q_{в}}{\gamma_{yч}} = \frac{4850}{1,093} \text{ м}^3/\text{год}$$

де  $\gamma_{yч} = 1,093 \text{ кг/м}^3$  – питома вага повітря що відходить при 50°C

Необхідний напір вентилятора:

$$H_b = 210 \cdot (323/273) = 248,4 \text{ кгс/м}^2 = 2452 \text{ Па}$$

Потрібна потужність електродвигуна:

$$N_{ед} = \frac{H_b \cdot Q_{yч}}{3600 \cdot \eta} = \frac{2452 \cdot 4850}{3600 \cdot 0,76} \text{ кВт}$$

$h_b = 0,76$ -ккдвентилятора

З урахуванням можливих підсосів повітря форсунок встановлюємо відцентровий вентиляторний агрегат тульського котельно-вентиляторного заводу з електродвигуном 4АІ32Б8У3.

$$N=11 \text{ кВт} n=3000 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{в}}=2400 \text{ об/хв.} - \text{число обертів вентилятора}$$

Напір 3432 Па

#### 4.6 Кінематичний розрахунок.

Обираємо мотор редуктор МЧ40

$$N=0.25 \text{ кВт}$$

$$M=30 \text{ Нм}$$

$$n=100 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{валу}} = 56 \text{ об/хв}$$

Передаточне число:

$$u_{\text{пр}} = \frac{n}{n_{\text{валу}}} = \frac{100}{56} = 1,79$$

Передаточне число передачі:

$$u_{\text{передачі}} = u_{\text{пр}} = 1,79$$

## 6. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Умови експлуатації обладнання у фармацевтичній промисловості відрізняються високою специфічністю: наявність агресивних харчових середовищ, контакт із мийними та дезінфікуючими засобами, вплив підвищених температур, інтенсивна циркуляція робочих середовищ, суттєві коливання тиску тощо. Все це зумовлює особливі вимоги до вибору матеріалів, які застосовуються при проєктуванні технологічного обладнання.

Однією з ключових характеристик, якою мають володіти ці матеріали, є підвищена стійкість до корозійного впливу. Водночас варто враховувати їхню можливу руйнацію під дією органічних речовин.

Під час добору матеріалів для елементів обладнання, що контактують із технологічним середовищем, важливо враховувати такі фактори: безпечність матеріалу для здоров'я людини, наявність відповідного дозволу від органів санітарного контролю, стійкість до корозії при тривалому впливі агресивних мікробіологічних середовищ, високих температур і тиску, а також впливу мийних і дезінфікуючих речовин. Не менш важливими є механічна міцність деталей під час роботи обладнання та економічна ефективність обраного матеріалу.

Таким чином, довговічність і надійність функціонування обладнання безпосередньо залежить від властивостей конструкційних матеріалів, зокрема їх зносостійкості. Відповідно, грамотний вибір матеріалів є ключовим чинником для продовження терміну служби апарата.

Для виготовлення електростатичного фільтра у конструкції сушарки буде використано нержавіючу сталь, яка забезпечує необхідну стійкість до агресивного середовища.

Щодо корпусу сушарки, то для його виготовлення доцільно застосувати сталь марки 45. Цей матеріал є доступним за вартістю, добре піддається обробці, витримує вплив високих температур і характеризується низькою чутливістю до напружень, викликаних циклічними навантаженнями, що є важливим у конструкційних застосуваннях.

## 7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### Вибір заготовки і розрахунок припусків

В якості заготовки обираємо виліток виготовлений литтям в кокіль.

Розрахунок загального припуску заготовки ведемо за найточнішим розміром  $\varnothing 80h7$ .

- Припуск на чистове точіння (мінімальний припуск на оброблення поверхні – двосторонній):  $2Z_{\min} = 2 \cdot (R_{Z3} + D_3 + \sqrt{T_{\text{пр}3}^2 + \varepsilon_{y4}})$ ,

де:  $R_{Z3} = 20$  мкм – висота мікро нерівностей,

$D_3 = 20$  мкм – глибина дефектного шару,

$T_{\text{пр}3} = 0$ ,  $\varepsilon_{y4} = 0$  – відповідно сумарне значення просторових похибок і похибка установки

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (20 + 20) = 80, \text{ мкм}$$

- Припуск на чистове точіння (максимальний припуск на оброблення поверхні – двосторонній):

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + T_1 - T_2, \text{ мкм}$$

де:  $T_1 = 200$  мкм – допуск при чорновому точінні,

$T_2 = 30$  – допуск при чистовому точінні.

$$2Z_{\max} = 80 + 200 - 30 = 250 \text{ мкм}$$

- Номінальний припуск на оброблення поверхонь:

$$2Z_{\text{ном}} = \frac{2Z_{\min} + 2Z_{\max}}{2} = \frac{80 + 250}{2} = 165 \text{ мкм}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_m = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{заг}}} = \frac{3,68}{4,6} = 0,8$$

## Маршрутна технологічна карта

№	Назва операції, переходу	Технологічне обладнання, інструмент оброблюваний, контрольний
10	Заготівельна (УЗЗ)	Круг 25 Сталь 38ХС
10.1	Відрізати заготовку L=55 мм	Дискова відрізна фреза $\varnothing 200$ , Р6М5, ШЦ-1
20	Токарна (УЗЗ)	Токарно-гвинторізний верстат 16К20, 3-х кулачковий патрон
20.1	Торцювати пов.1 Z=1	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\varphi=45^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ ; ВхНхL=16х25х140, ШЦ1
20.2	Точити пов. 2 на L=30мм, $\varnothing 16$ мм під різьбу	Різець прохідний упорний правий ВхНхL=16х25х140мм, $\alpha=8^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\varphi=90^\circ$ ШЦ1
20.3	Точити пов. 3 на L=1мм, $\varnothing 13$ мм з утворенням фаски $30^\circ$	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6 ВхНхL=16х25х140мм, $\alpha=8^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\varphi=60^\circ$ ШЦ1
20.4	Свердлити отвір пов.4 $\varnothing 8$ мм на L=28мм	Свердло $\varnothing 8$ , Р6М5, ШЦ1
20.5	Нарізати різьбу пов.5 М16х1,5 на L=30мм	Плашка М16х1,5, кільце різьбове М16х1,5
30	Токарна (УЗЗ)	Токарно-гвинторізний верстат 16К20, 3-х кулачковий патрон
30.1	Торцювати пов.1	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\varphi=45^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\alpha=8^\circ$ ; ВхНхL=16х25х140, ШЦ1
30.2	Точити пов. 2 на L=22,5мм, $\varnothing 24$ мм	Різець прохідний упорний правий, Т15К6, ВхНхL=16х25х140мм, $\alpha=8^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\varphi=90^\circ$ , ШЦ1
30.3	Точити пов. 3 на L=20мм, $\varnothing 22$ мм під фрезерування шестигранника	Різець прохідний упорний правий, Т15К6, ВхНхL=16х25х140мм, $\alpha=8^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\varphi=90^\circ$ , ШЦ1
30.4	Точити поверхню пов. 4. Зняти фаску $2 \times 30^\circ$	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, ВхНхL=16х25х140мм, $\alpha=8^\circ$ , $\gamma=10^\circ$ , $\varphi=60^\circ$ ШЦ1
40	Фрезерна (УЗЗ)	Вертикально-фрезерний верстат 6М81, патрон ділильної головки
40.1	Фрезерувати грань пов.1 L=19 мм.	Фреза дискова (спарена) $\varnothing 75$ мм, z=10, Р6М5 ШЦ1
40.2	Фрезерувати грань пов.2 L=19 мм.	Фреза дискова (спарена)

		$\varnothing 75\text{мм}, z=10, \text{T15K6}$ ШЦ1
40.3	Фрезерувати грань пов.3 L=19 мм.	Фреза дискова (спарена) $\varnothing 75\text{мм}, z=10 \text{T15K6}$ ШЦ1
50	Свердлильна (УЗЗ)	Настільно-свердлильний верстат 6Н81 кондуктор
50.1	Свердлити отвір 1 $\varnothing 2\text{мм}$ на L=25 мм	Свердло $\varnothing 2, \text{P6M5}, \text{ШЦ1}$
50.2	Свердлити отвір 2 $\varnothing 6\text{мм}$ на L=15 мм	Свердло $\varnothing 6, \text{P6M5}, \text{ШЦ1}$
50.3	Зенкувати фаску 3 $0,5 \times 45^\circ$	Свердло $\varnothing 6, \text{P6M5}, \text{ШЦ1}$
50.4	Зенкувати фаску 3 $0,5 \times 45^\circ$	Свердло $\varnothing 6, \text{P6M5}, \text{ШЦ1}$
60	Гальванічна	Обладнання гальванічного цеху
60.1	Цинкувати 6-12 мк	
70	Контрольна	Стіл контролера

### Розрахунок обробки токарної операції

**Перехід 20.1.** Торцювати пов.1  $\varnothing 25$  мм; припуск  $z=1$  мм.

1. Вибираємо глибину різання. Припуск на обробку точимо за один прохід. Глибина різання  $t = z = 1$  мм.
2. За нормативними таблицями призначаємо подачу в залежності від діаметра заготовки, прийнятої глибини різання, розмірів тіла різця, характеристик оброблюваного матеріалу.

При зовнішньому обробленні сталевих деталей діаметром до 20мм з глибиною різання до 3мм та перетином тіла різця  $16 \times 25$  мм подача повинна бути в інтервалі  $S=0,4 \dots 0,5$  мм/об (табл. 1, додаток А). За паспортними даними токарно-гвинторізного верстата 16К20 (табл. 5, додаток А) приймаємо подачу  $S_B=0,5$  мм/об.

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}};$$

де  $T$  – середнє значення періоду стійкості різця (можна приймати в межах 60 - 90хв для різців зі швидкоріжучої сталі і 90 – 120хв для різців із твердосплавною ріжучою пластинкою);

$C_v$  – постійний коефіцієнт швидкості різання для даних режимів різання (табл. 4, додаток А).

$$V = \frac{150}{120^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 73,38 \text{ м/хв.}$$

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D_{заг}} = \frac{1000 \cdot 73,38}{\pi \cdot 25} = 935 \text{ об/хв.}$$

де  $D_{заг}$  – діаметр заготовки, мм;

5. Розрахункова кількість обертів  $n_p$  корегується за паспортними даними верстата. Із ряду обертів шпинделя верстата (табл. 5, додаток А) вибираємо ближче менше значення  $n_e = 800$  об/хв

6. За прийнятим значенням  $n_e$  визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_{заг} \cdot n_e}{1000} = \frac{\pi \cdot 25 \cdot 800}{1000} = 62,8 \text{ м/хв.}$$

7. Визначаємо розрахункову довжину обробки:

$$L_p = L_o + L_1 + L_2 + L_3;$$

$$L_o = \frac{D_{заг}}{2} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ мм} - \text{довжина оброблюваної поверхні заготовки};$$

$L_1 = 2$  мм – відстань для підводу різця з робочою подачею;

$L_2 = t \operatorname{ctg} \varphi = 1 \operatorname{tg} 45^\circ = 1$  мм – величина врізання різця в заготовку.

$L_3 = 2$  мм – величина перебігу різця для завершення процесу обробки поверхні.

$$L_p = 12,5 + 2 + 1 + 2 = 17,5 \text{ мм.}$$

7. Основний час на виконання переходу  $t_{01} = \frac{L_p}{n_s S_s} = \frac{17,5}{800 \cdot 0,5} = 0,044 \text{ хв.}$

8. Допоміжний час на виконання переходу буде  $t_1 = 0,1 \text{ хв}$ , який пов'язаний безпосередньо з переходом торцювання,  $t_2 = 0,1 \text{ хв}$ . – на подачу частоти обертів шпинделя. Тоді  $t_{d1} = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ хв}$ .

#### **Перехід 20.4. Свердлити отвір пов.4 $\varnothing 8$ мм на $l = 53$ мм**

1. Глибина різання при свердленні дорівнює половині діаметра оброблюваного отвору:  $t = \frac{d_{ce}}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ мм.}$

2. За нормативними даними вибираємо подачу в залежності від діаметра отвору та міцнісних характеристик заготовки матеріалу. При свердленні сталевих деталей з  $\sigma_B \leq 800$  МПа подача вибирається з інтервалу  $S = 0.13 \dots 0.17$  мм/об (табл. 8, додаток В). За паспортними даними токарно-гвинторізного верстата 16К20 (табл. 5, додаток А) приймаємо подачу  $S_B = 0,16 \text{ мм/об}$ .

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання, яка залежить від діаметра свердла та його матеріалу, інтервалу подач та характеристик оброблюваного матеріалу (табл. 8, додатка В), за емпіричною формулою:

$$V_c = \frac{5 \cdot d_{ce}^{0.4}}{T^{0.2} \cdot S^{0.4}} = \frac{5 \cdot 8^{0.4}}{45^{0.2} \cdot 0.16^{0.4}} = 19,35 \text{ м/хв;}$$

де  $T = 45 \text{ хв}$  – середнє значення періоду стійкості свердла (табл. 6, додатку В).

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_e}{\pi \cdot d_{ce}} = \frac{1000 \cdot 19,35}{\pi \cdot 8} = 770 \text{ об/хв.}$$

5. Розрахункову кількість обертів  $n_p$  корегуємо з паспортними даними прийнятого верстата і приймаємо ближче менше значення –  $n_g=630$  об/хв.

6. За прийнятим значенням  $n_g$  визначається фактична швидкість різання:

$$V_\partial = \frac{\pi \cdot d_{ce} \cdot n_g}{1000} = \frac{\pi \cdot 8 \cdot 630}{1000} = 15,83 \text{ м/хв.}$$

7. Розрахункова довжина обробки:

$$L_p = L_\partial + L_1 + L_2 + L_3 = 53 + 2 + 5 = 60 \text{ мм};$$

де  $L_\partial = 53$  мм – глибина свердлення;

$L_1 = 2 \dots 3$  мм – відстань підводу інструменту до деталі з робочою подачею;

$L_2, L_3$  – величина врізання і перебігу свердла:  $L_2 + L_3 = 5$  мм, (табл. 5, додаток В);

8. Основний час на свердлення отвору:

$$t_{01} = \frac{L_3}{S_g \cdot n_g} = \frac{53}{0,16 \cdot 630} = 0,52 \text{ хв.}$$

9. Допоміжний час на виконання переходу  $t_{03} = 0,8$  хв.

### **Перехід 20.5.** Нарізати різьбу пов.5 М16х1,5 на $l=30$ мм

1. Загальна глибина різання при обробці заданої поверхні  $t = \frac{16-14}{2} = 1$  мм.

2. Вибираємо подачу (табл. 1, додаток А). Приймаємо  $S_g=0,4$  мм/об.

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} = \frac{150}{120^{0,2} 1^{0,15} 0,4^{0,35}} = 79,35 \text{ м/хв.}$$

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D_{заг}} = \frac{1000 \cdot 79,35}{\pi \cdot 16} = 1579 \text{ об/хв.}$$

де  $D_{заг}$  – діаметр заготовки, м;

5. Із ряду обертів шпинделя верстата (табл. 5, додаток А) вибираємо найближче менше значення:  $n_6=1250$  об/хв.

6. За прийнятим значенням  $n_6$  визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi D_{заг} n_6}{1000} = \frac{\pi 16 \cdot 1250}{1000} = 62,8 \text{ м/хв.}$$

7. Визначаємо розрахункову довжину обробки:

$$L_p = L_d + L_1 + L_2 + L_3;$$

$L_d = 30$  мм – довжина оброблюваної поверхні;

$L_1 = 2$  мм – відстань для підводу плашки до заготовки з робочою подачею;

$L_2 = t \operatorname{ctg} \varphi = 1 \operatorname{tg} 45^\circ = 1$  мм – величина врізання плашки у заготовку;

$L_3 = t \operatorname{ctg} \varphi_1 = 1 \operatorname{tg} 45^\circ = 1$  мм – величина перебігу плашки для завершення обробки поверхні;

$$L_p = 30 + 2 + 2 = 34 \text{ мм}$$

8. Основний час на виконання переходу  $t_{02} = \frac{L_p}{n_6 S_6} = \frac{34}{1250 \cdot 0,4} = 0,068$  хв.

9. Допоміжний час на виконання переходу  $t_{03} = 0,8$  хв.

Тоді час на виконання всієї токарної операції становить:

$$T_0 = \sum_1^i t_{oi} + \sum_1^i t_{di} = 0,044 + 0,128 + 0,18 + 0,27 + 0,068 + 0,2 + 0,1 + 0,8 + 0,8 = 3,59 \text{ хв.}$$

## Розрахунок обробки фрезерної операції

**Перехід 40.1.** Фрезерувати грані на поверхні з  $\varnothing 25$ , витримавши розміри згідно креслення.

1. Визначаємо глибину фрезерування  $t$  і ширину  $b$ , які залежать від установки оброблюваної поверхні відносно фрези (табл. 12, додаток Б).

Глибина фрезерування буде  $t=22-21,9=0,1$  мм, а ширина фрезерування –  $b=19$ мм.

2. Визначимо подачу на зуб фрези при фрезеруванні паза глибиною  $t=0,05$  мм і шириною  $b=19$ мм дисковою спареною фрезою із швидкоріжучої сталі. Рекомендована подача на зуб фрези (табл. 2, додаток Б) -  $S_z=0,12-0,18$ мм/зуб. Попередньо приймаємо  $S_z=0,18$ мм/зуб.

3. Визначимо розрахункову швидкість різання, яка розраховується за допомогою емпіричної формули згідно табл. 11, додатку Б. При обробці конструкційної сталі дисковими фрезами з швидкоріжучої сталі:

$$V = \frac{85,7 D_{\phi}^{0,25}}{2 T^{0,2} t^{0,3} S_z^{0,2} B^{0,1} Z^{0,1}} = \frac{85,7 \cdot 75^{0,25}}{2 \cdot 120^{0,2} 1^{0,3} 0,18^{0,2} 19^{0,1} 10^{0,1}} = 80,8 \text{ м/хв.}$$

де  $T=120$ хв – стійкість фрези, яку призначаємо у відповідності з табл. 10, додатку Б.

4. Розрахункова частота обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000 V_p}{\pi D_{\phi}} = \frac{1000 \cdot 80,8}{\pi \cdot 75} = 343 \text{ об/хв.}$$

5. Розрахункову кількість обертів  $n_p$  корегуємо за паспортом вертикального-фрезерного верстата 6М12П (табл. 1, додаток Б), і приймаємо найближче менше значення  $n_g=315$  об/хв, яке використовується у подальших розрахунках.

6. За прийнятим значенням  $n_g$  визначається фактична швидкість різання:

$$V_{\partial} = \frac{\pi D_{\phi} n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi 75 \cdot 315}{1000} = 74 \text{ м/хв.}$$

7. Визначимо хвилинну подачу:

$$S_{\text{хв}} = S_{\text{об. фр}} n_{\phi} = 0,19 \cdot 315 = 59,85 \text{ мм/хв.}$$

9. Із ряду паспортних даних вертикального-фрезерного верстата 6М12П (табл. 1, додаток Б) приймаємо поперечну подачу  $S_{\text{хв}_{\phi}} = 63 \text{ мм/хв.}$

10. Розрахункова довжина обробки :  $L_p = L_{\partial} + L_1 + L_2 + L_3 = 2$

$$\sqrt{\frac{D_{\phi}^2}{2} - \left(\frac{D_{\phi}}{2} - t\right)^2} + 2 + \frac{d_{\phi}}{2} + \frac{d_{\phi}}{2} = 2 \sqrt{75^2 / 2 - (75 / 2 - 0,05)^2} + 2 + 13 + 13 = 103 \text{ мм,}$$

$$\text{де } L_{\partial} = \sqrt{\frac{D_{\phi}^2}{2} - \left(\frac{D_{\phi}}{2} - t\right)^2}, \text{ мм. - довжина фрезерування,}$$

$L_1 = 2 \text{ мм}$  – відстань підводу інструменту до заготовки з робочою подачею;

$L_2, L_3 = \frac{d_{\phi}}{2}$  – відстань врізання і перебіг у інструмента, яка залежить від типу фрези (табл. 13, 14 додаток Б).

10. Основний час на перехід 40.1 знаходимо за формулою:

$$t_{01} = L_p / S_{\text{хв}} = \frac{103}{63} = 1,6 \text{ хв}$$

11. Допоміжний час:

- на установлення і зняття деталі  $t_1 = 0,2 \text{ хв.};$

- на очищення місця установлення деталі від стружки  $t_2 = 0,8 \text{ хв.}$

Сумарний допоміжний час  $t_2 = 1 \text{ хв.}$

Тоді час на виконання всієї фрезерної операції становить:

$$T = \sum_1^i t_{oi} + \sum_1^i t_{oi} = 1,6 + 1,6 + 1,6 + 1 + 1 + 1 = 7,8 \text{ хв}$$

## **8.ВИМОГИ ЩОДО МОНТАЖУ , ЕКСПЛУАТАЦІЇ , РЕМОНТУ**

### **8.1 Монтаж**

Особливо важливим етапом перед монтажем обладнання є своєчасна організаційна та технічна підготовка, що забезпечує ефективну роботу монтажників, скорочення тривалості робіт і досягнення високої якості встановлення. У випадках великого обсягу монтажних заходів, розробка проекту організації монтажу (ПОМ) покладається на спеціалізовану проектну організацію. Тому перед початком будь-яких дій необхідно уважно ознайомитися з усіма проектними матеріалами: монтажною документацією, експлуатаційними інструкціями, кресленнями та схемами.

Монтаж обладнання, яке надходить у вигляді окремих блоків, модулів чи вузлів, виконується за наступною послідовністю: доставка зі складу на місце укрупненої збірки, зняття упаковки та консервації, проведення збірки відповідно до затвердженого ППР (плану виконання робіт), виконання такелажних операцій у межах монтажної зони, нанесення розмітки та встановлення елементів у відповідні проектні положення. Після цього здійснюється точне вирівнювання в горизонтальній і вертикальній площинах із перевіркою площинності, прямолінійності та співвісності. Завершальним етапом є кріплення до фундаменту та перевірка працездатності обладнання в холостому режимі.

Сушарка з псевдозрідженим шаром на інертних носіях поставляється на об'єкт окремими вузлами. Спочатку її компоненти попередньо збирають на монтажному майданчику, при цьому важливо забезпечити вільний доступ до всіх елементів апарата для зручного технічного обслуговування. Категорично заборонено підключати електроспоживачі безпосередньо до побутових розеток. Автоклав має розташовуватися на відстані не менш ніж 0,8 метра від стін приміщення.

Електроживлення автоклава підводиться через окремий електрощит, оснащений рубильником. При цьому обов'язково виконується заземлення

відповідно до вимог безпеки: заборонено використовувати для цього трубопровідну арматуру, елементи систем опалення, каналізації або блискавковідводи.

Монтаж сушарки розпочинають із нанесення монтажних позначок згідно з графічною специфікацією та розмітки основної повздовжньої осі. Після цього встановлюється перша секція з боку приводу. З'єднання фланців між окремими частинами корпусу виконують за допомогою болтів і ущільнювальних прокладок, після чого проводять вирівнювання: по горизонталі — за допомогою струни, по вертикалі — будівельним рівнем.

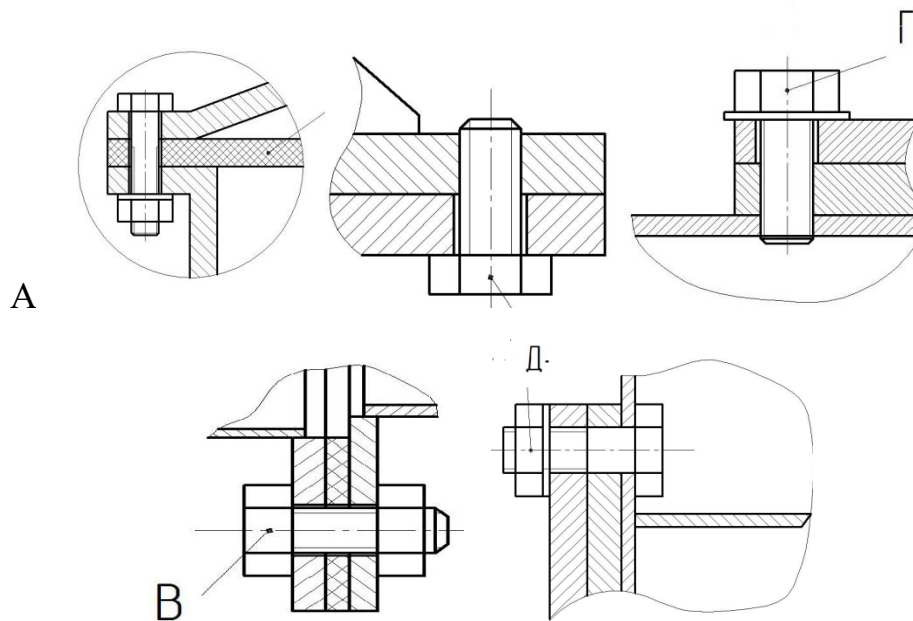
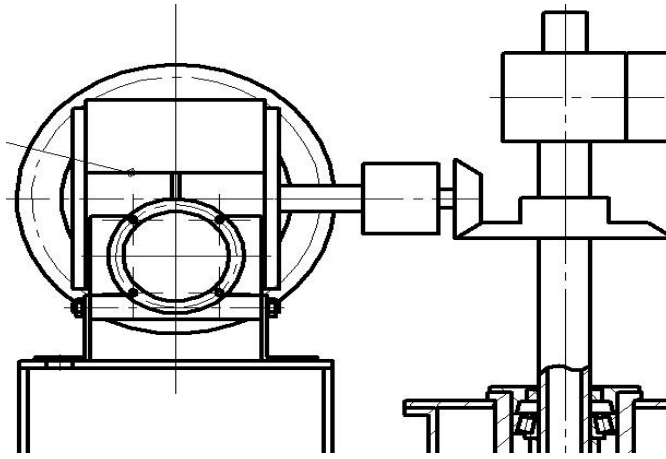


Рис.8.1. З'єднання частин корпусу сушарки

Після встановлення першої секції переходять до монтування наступних елементів у напрямку від приводу. Далі здійснюють складання самого приводу та вручну обертають вал. У випадку, якщо при ручному обертанні не виявлено торкання валу до корпусу, його з'єднують із приводом і готують до проведення випробування від мотор-редуктора. Виконується перевірка та регулювання муфти, яка з'єднує вал редуктора з робочим валом апарата (див. рис. 5.2). Через прес-маслянку здійснюють заповнення підшипникових вузлів солідолом, а також проводиться змащення всіх необхідних точок обладнання.



Форсунки збирають, при цьому кінці продуктопроводів повинні виступати за торець на 1–1,5 мм, що досягається шляхом обертання гайки, закріпленої на продуктопроводі. Ємність піддають випробуванням на герметичність та міцність на осі. Після детального огляду обладнання здійснюють випробування у холостому режимі та під навантаженням. Після виконання гідравлічного або пневматичного тестування проводиться підготовка установки до запуску. Також виконуються контрольні вимірювання, а прилади налаштовують на коректну роботу. Рис.5.23'єднання двигуна з валом.

Перевірка правильності встановлення обладнання сушарки включає наступні етапи:

1. Перевірити герметичність з'єднань повітропроводів і камери сушіння, а також цілісність продуктопроводів при тиску 0,1 МПа.
2. Відрегулювати запобіжний клапан, встановлений після манометра на повітропроводі, виставивши його на спрацьовування при тиску 0,5 МПа.
3. Відкоригувати роботу циклонів шляхом регулювання тарілчастих шибєрів, розташованих у верхній частині циклону, з метою досягнення рівномірного осідання порошку. Початкове положення шибєрів має бути максимально відкритим (підняті вгору).
4. Провести перевірку герметичності пароконденсатопроводів, справності вентилів і контрольних-вимірювальних приладів.

5. Очистити повітропровід, а також форсунки. Для цього слід відкрити вентиль пневмомітли, щоб видалити з каналу залишки зварювальної окалини та інші сторонні частинки. Після продування вентиль закривають, а кінці продуктопроводів вивертають всередину форсунок на 5 мм. Газодувку залишають увімкненою протягом 5 хвилин.

Регулювання форсунок включає наступні дії:

– Вставити форсунки до упору в шар та зафіксувати їх фланцем, при цьому в камеру вони повинні виступати на 35–36 мм.

– Забезпечити рівномірне дозування продукту насосом-дозатором у кожен з форсунок. Для цього продуктопроводи викручують з форсунок, виймають із камери, розміщують горизонтально поруч, після чого вмикають насос.

– Провести тарування насоса-дозатора водою та продуктом у мірну ємність, фіксуючи покази шкали насоса та віддаленого індикатора положення на панелі керування.

– Домогтися однакового повітряного потоку через обидві форсунки.

– Відрегулювати запобіжний клапан газодувки на тиск 0,6 кг/см<sup>2</sup>.

– Перевірити герметичність повітряної магістралі, з особливою увагою до стиків фланців.

– Переконаватися у наявності мастила в газодувці.

– Провести налаштування трипозиційних контактних датчиків у кожному електронному мосту.

За допомогою ручки «установка завдання» необхідно встановити стрілку на потрібне значення параметра. Далі слід відрегулювати нерухомі контакти позиційного датчика таким чином, щоб рухомий контакт замикався з ними при температурі, що відрізняється від заданої на 1,5–2 °С.

У системі електронного моста, яка здійснює вимірювання та регулювання температури вхідного повітря, потрібно налаштувати сигнальний модуль таким чином, щоб клеми 4 та 5 замикаються на верхньому штепсельному з'єднанні, якщо температура досягає або перевищує 80 °С.

Щодо електронного моста, який контролює температуру вихідного (відпрацьованого) повітря, сигнальні модулі налаштовуються так, щоб замикання клем 4 і 5 відбувалося, коли температура перевищує встановлене значення на +6 °С, а розмикання клем 8 і 9 – при зниженні температури на 6 °С нижче встановленого рівня.

Процес налаштування реле часу, що відповідає за подачу першого та наступних імпульсів, включає визначення оптимального часу подачі керуючого сигналу та тривалості його дії. Ці параметри підбираються експериментально з урахуванням специфіки кожного виду продукту.

## **8.2 Експлуатація**

Щоб забезпечити безпечне використання парової сушарки, як і будь-якого обладнання, що функціонує під надлишковим тиском, необхідно суворо дотримуватися чинних інструкцій та правил, а також мати відповідну підготовку у сфері експлуатації таких апаратів. У зв'язку з цим до обслуговування парових стерилізаторів допускаються тільки особи, які досягли 18 років, пройшли медичне обстеження, спеціальне навчання, атестацію перед кваліфікаційною комісією та інструктаж з безпечної експлуатації сушарок з псевдозрідженим шаром на інертних матеріалах.

Приміщення, де встановлена сушарка, повинне відповідати встановленим будівельним нормам і правилам. У сушильній зоні необхідне природне освітлення та наявність примусової витяжної вентиляції. Підлогове покриття має бути виготовлене з діелектричних матеріалів або викладене плиткою за умови використання діелектричних килимків у робочій зоні. Вікна та двері повинні відкриватися назовні; встановлення скляних дверей, а також їх замикання під час роботи обладнання категорично заборонено.

У разі виникнення несанкціонованого витоку пари в каналізацію під час монтажу, необхідно передбачити в зовнішній стіні або рамі спеціальний отвір для встановлення металевої труби з підключеним гумовим шлангом, який буде виводити пару за межі приміщення після сушіння.

Приміщення, у якому розміщена сушарка, повинно використовуватися виключно за цільовим призначенням. Кожне джерело живлення має бути обладнане індивідуальним гумовим килимком. Проведення сторонніх робіт у зоні роботи обладнання заборонено. Доступ до приміщення дозволено лише обслуговуючому персоналу та відповідальним особам, які здійснюють контроль за дотриманням правил експлуатації та санітарних норм. Споживання їжі у виробничій зоні заборонено.

Працівники мають бути забезпечені спеціальним санітарно-гігієнічним одягом, захисним взуттям та засобами індивідуального й колективного захисту згідно з чинними нормативними документами.

Обов'язки щодо забезпечення безпечної експлуатації обладнання покладаються на працівника, який пройшов відповідне навчання та має офіційне посвідчення. Це посвідчення повинно знаходитися безпосередньо на робочому місці. Підготовка таких працівників здійснюється щорічно.

Порядок запуску установки:

Перед початком роботи необхідно впевнитися у наявності чистого інертного матеріалу в сушильній камері, а також перевірити герметичність і надійність закриття дверцят камери та отворів, призначених для виведення гранул інертного середовища й промивання внутрішнього простору.

Подача пари до калорифера виконується у наступній послідовності:

- Спершу злити конденсат із парової гребінки, відкривши на 30 секунд вентиль, що з'єднує гребінку з конденсаційною лінією.
- Далі послідовно відкрити вентиля: перед дросельним клапаном, потім після нього.
- Відкрити спускний кран, розташований за конденсаційним горщиком на трубопроводі калорифера.
- Після появи суміші пари і води, що виходить зі спускного крана, — закрити його.
- Відкрити запірний вентиль на трубопроводі, що сполучає калорифер із лінією відведення конденсату.

На щиті керування:

- Встановити вимикач 1 у положення “Увімкнено” для подачі живлення.
- За допомогою кнопок 2 активувати роботу нагнітального вентилятора, відсмоктувального вентилятора, віброприводу та газодувки.
- Перемикачі 3 та 4 перевести у режим “Ручне”.
- Використовуючи тумблер 5 і орієнтуючись на показання приладу 6, відкрийте регулюючий клапан на 30–50%.
- За допомогою тумблера 7 налаштувати стрілку приладу 8 на задану позначку.

Залежно від тиску пари, що подається на вхід калорифера, регулюючий клапан у ручному режимі встановлюється на відповідну ступінь відкриття, яка дозволяє досягти необхідного нагріву повітря під решіткою до температури 112 °С. Щоб підтримувати задану температуру повітря на вході в сушильну камеру на рівні 112 °С, ступінь відкриття клапана має відповідати наступним значенням тиску пари:

- при 0,25 МПа (2,5 атм) — 70% відкриття;
- при 0,3 МПа (3 атм) — 30%;
- при 0,35 МПа (3,3 атм) — 20%;
- при 0,4 МПа (4 атм) — 11%.

Необхідно дати можливість установці повністю прогрітись. Якщо при цьому температура подаваного повітря не підвищується, слід за допомогою тумблера 5 додатково збільшити відкриття клапана на 5–10%. Коли температура повітря досягне необхідного значення, перемикач 3 переводиться в положення “Автомат”. Варто забезпечити, щоб тиск пари перед калорифером не опускався нижче 0,25 МПа (2,5 атм).

У цей момент температура відпрацьованого повітря також повинна зростати. Коли її збільшення припиняється, необхідно увімкнути насос-дозатор. У процесі подачі води в сушильну камеру температура вихідного повітря починає знижуватись. Коли вона досягає встановленого значення, перемикач 4 слід перевести в положення «Автомат».

Після цього активується насос фільтра, а витратна ємність заповнюється продуктом. По досягненні необхідного рівня в ємності насос вимикається. Керування насосом здійснюється за допомогою кнопки, розташованої на пульті управління установки.

Далі на задавачі температури виставляється потрібне значення — 112 °С, яке відповідає температурі повітря, що подається в сушильну камеру. Як тільки вхідна температура наближається до заданої, керування регулювальним клапаном переводять у режим автоматичної роботи.

У процесі експлуатації обов'язки оператора включають періодичне дозаповнення витратної ємності рідким продуктом, своєчасну заміну ємностей із готовою продукцією по мірі їх заповнення, а також періодичне вмикання мішалки.

#### Виведення установки в робочий тепловий режим

Підготовка сушильної установки до стабільного теплового режиму здійснюється шляхом розпилення води у псевдозрідженому шарі інертного носія. Одночасно з цим запускаються процеси перемішування, фільтрації та перекачування продукту. Ці дії виконуються після повного завершення передпускової санітарної обробки обладнання.

Для запуску сушарки на робочий режим і підготовки до процесу сушіння необхідно виконати наступні дії:

- Заповнити резервуар, призначений для води та миючих засобів.
- Під'єднати його до насоса-дозатора.
- Увімкнути насос-дозатор у режимі ручного керування, встановивши хід поршня на 56%.
- Завантажити рідкий продукт у приймальний резервуар.
- Розпочати процес перемішування продукту в приймальній ємності.
- Через п'ять хвилин перемішування з'єднати фільтр із витратним баком за допомогою шланга, увімкнути насос для перекачування, продовжуючи

перемішування і слідкуючи, щоб струмінь рідини рівномірно стікав по стінках ємності.

Початок роботи з продуктом:

- Коли температура відпрацьованого повітря досягне  $72\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), вимкнути насос-дозатор, від'єднати його від бака з водою та приєднати до витратної ємності.

- Повторно запустити насос-дозатор у ручному режимі з ходом поршня 78%.

- Зафіксувати початок роботи з продуктом на самописцях діаграм.

- Відкрити заслінки на циклонах.

- Після повної перекачки яєчної маси з приймального в витратний резервуар припинити перемішування та вимкнути насос перекачування.

- Перевести насос-дозатор у режим автоматичного керування, щойно температура відпрацьованого повітря знову сягне  $72\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Рекомендовані параметри температурного режиму

Для ефективної роботи сушильної установки слід забезпечувати такі температурні умови: температура повітря на вході в сушильну камеру повинна бути  $112\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на виході –  $72\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому дозволяються короткочасні коливання температури: до  $\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  на вході (не більше 1,5 хвилин) і до  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$  на виході.

Інші експлуатаційні параметри повинні залишатися в межах таких значень:

- тиск повітря на форсунках – у діапазоні 0,05–0,055 МПа (0,5–0,55 атм);

- тиск продукту у трубопроводі – від 0,045 до 0,05 МПа (0,45–0,5 атм);

- хід поршня дозуючого насоса – у межах 76–80%.

Особливості експлуатації у стабільному режимі

Під час роботи в сталому режимі необхідно:

- Постійно контролювати відповідність параметрів встановленим межам.
- Після закриття заслінок на циклонах, видалити накопичений порошок, пересипавши його у відповідну тару, потім знову встановити бачки й відкрити заслінки.

- Операцію з розвантаження проводити кожну годину. Безперервна робота з закритими заслінками понад 80 хвилин без нової порції продукту суворо заборонена.

- Слідкувати за тим, щоб у баках постійно була достатня кількість сировини для обробки.

- Забезпечувати своєчасне перемішування та фільтрацію яєчної маси, оскільки фільтрація без паралельного перемішування неприпустима.

- Завчасно готувати тару для збору готового порошку.

Завершення технологічного процесу та підготовка установки до санітарної обробки

Після завершення роботи з продуктом необхідно виконати наступні дії:

- Вимкнути насос-дозатор.
- Від'єднати насос-дозатор від витратного бачка та підключити його шлангом до резервуара з водою.

- Перевести насос-дозатор у режим ручного керування.

- Увімкнути насос-дозатор і встановити хід поршня на рівні 60%.

- Після трьох хвилин прокачування води знову вимкнути насос-дозатор.

- Закрити обидва парові вентилі на гребінці та вентиль на конденсатопроводі.

- Закрити заслінки на циклонах, зняти бачки з готовим порошком та провести вивантаження продукту у відповідну тару.

- Протягом усієї зміни необхідно підтримувати належну санітарну чистоту на робочому місці.

Після виконання зазначених процедур можна переходити до остаточного етапу санітарної очистки обладнання.

Для повного закриття парорегулюючого клапана необхідно:

- Перевести перемикач №3 у режим “Ручне управління”.
- За допомогою тумблера №5 поступово зменшувати подачу пари, доки індикатор на приладі №6 не покаже нульове значення.
- Після цього слід закрити вентиль на паровій магістралі.

Завершальний етап – відключення електроприводів у такій черговості: спочатку зупиняється газодувка, потім вібратор, далі – витяжний вентилятор, а після нього – вентилятор подачі повітря.

Найменування обладнання	Тип Марка	Змінність роботи	Категорія складності	Тривалість (міс)		
				Ремонтного циклу (роки)	Міжремонтного періоду (міс)	Міжоглядовий період (міс)
1	2	3	4	5	6	7
Сушарка на інертних носіях	сушарка	1	21	6	14	2,5

Тривалість ремонту (зміни)		Трудомісткість ремонтного циклу (люд·го)	Кількість			Витрати праці						
Місячні плани	Річні плани		Оглядів на рік	поточних ремонтів на рік	середніх ремонтів в на рік	год				Год/рік		
						О	П	С	К	О	П	С
8		9	10			11						
46	50	1772	6	1	0,25	17	18	49	735	102	123,5	128

Трудомісткість робіт (норма·год)								Кількість слюсарів	Кількість станочників в	Кількість інших робітників в
слюсарні			Станочні			інші				
О	П	С	О	П	С	П	С			
12								13	14	15
94,5	84	84	13	42	52,5	2,1	2,6	0,13	0,054	0,0024

## 9.ОПИС СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Сучасні технології сушіння матеріалів значною мірою ґрунтуються на використанні високотемпературних режимів. Однак ефективне управління інтенсивними процесами сушіння потребує впровадження автоматизованих систем контролю та керування. У разі використання ручного регулювання неможливо забезпечити стабільне підтримання температури сушильного агента в межах заданих параметрів, що часто призводить до її короточасного перевищення. Таке відхилення може негативно вплинути на якість оброблюваного матеріалу, спричиняючи його пошкодження.

Автоматизоване керування сприяє покращенню якості готової продукції, знижує ризик псування висушеного матеріалу, забезпечує більш стабільну роботу обладнання, полегшує умови праці операторів і дає можливість скоротити чисельність обслуговуючого персоналу.

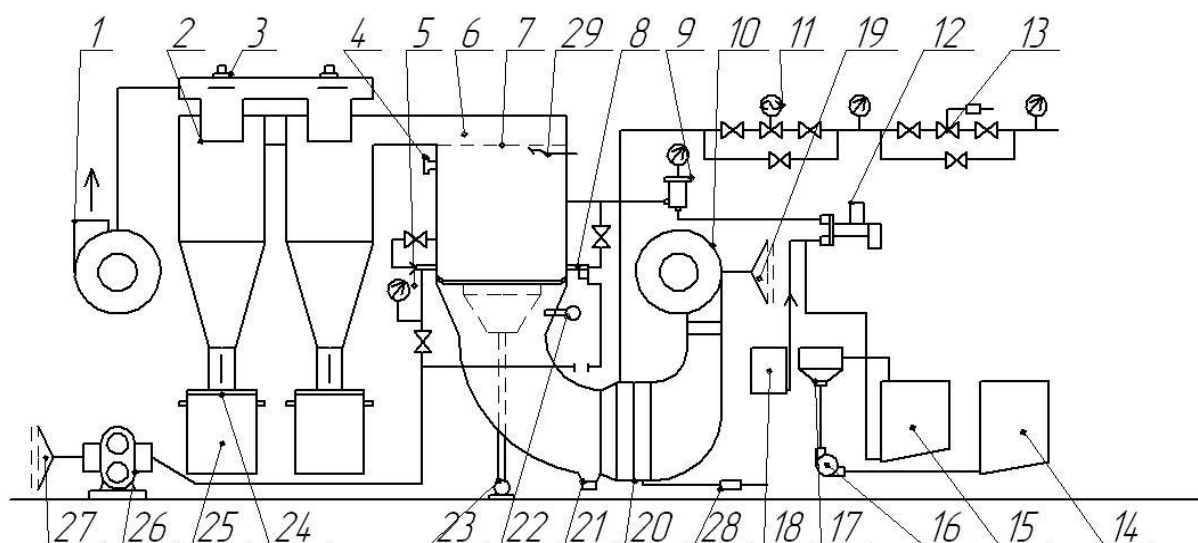
Одним із ключових критеріїв ефективності сушильного процесу є рівень вологості матеріалу на виході з установки, а основне завдання системи керування полягає в забезпеченні стабільного утримання цього показника на заданому значенні.

Рівень вологості висушеного матеріалу залежить, з одного боку, від початкового вмісту води у вхідному сирому матеріалі, а з іншого — від обсягу води, що видаляється під час сушіння. Обсяг води, який поглинається сушильним агентом, переважно визначається площею контакту інертних тіл із продуктом, а також середнім значенням рушійної сили сушильного процесу.

Вологість сушильного агента визначається його витратою: що інтенсивніше витрата, то нижчим буде рівень вологості. Зміна об'єму сушильного агента призводить до суттєвого регулюючого впливу на об'єкт.

Рушійна сила процесу зумовлюється температурним режимом сушіння та активністю псевдозрідженого шару. Її можна ефективно регулювати, змінюючи витрату сушильного агента, що виводиться з апарата. Температура в зоні сушіння залежить як від вихідних умов, так і від інтенсивності

випаровування вологи з вологого матеріалу. Для стабілізації температури можливе коригування витрати сушильного агента або зміна його температури.



1 – вентилятор відсмоктуючий

2 – циклони;

3 – регулюючий шибер;

4 – патрубок для води;

5 – решітка;

6 – сушильна камера;

7 – відбійна сітка;

8 – пневмо форсунки;

9 – повітряний клапан;

10 – нагнітальний вентилятор;

11 – регулюючий клапан;

12 – насос-дозатор;

13 – редукційний клапан;

14 – приймальний бак

15 – бак витратний;

16 – насос;

17 – фільтр;

18 – бачок для води;

19 – фільтр;

20 – паровий калорифер;

21 – злив;

22 – термометр;

23 – вібропривід;

24 – шибер;

25 – бачки для продукту;

26 – газодувка;

27 – фільтр;

28- конденсатовідвідник

29- встряхувач

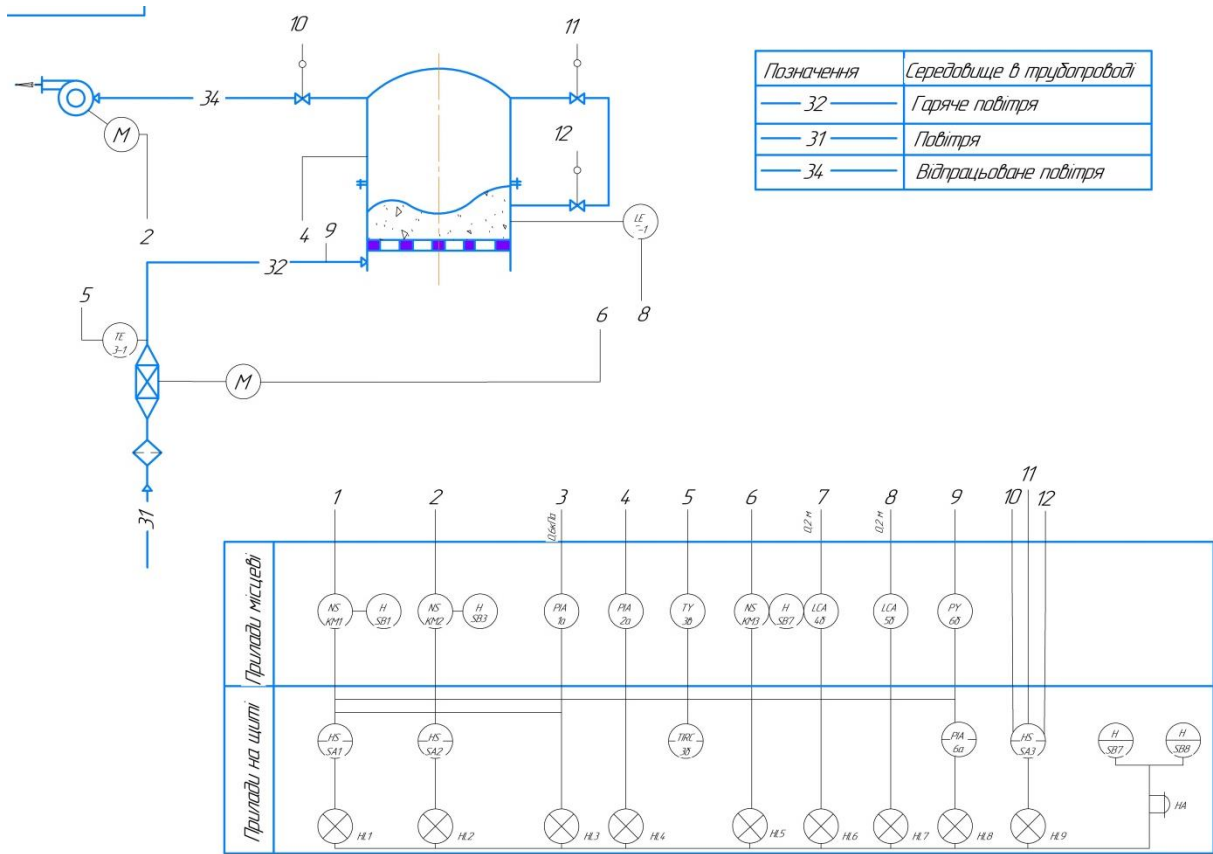


Схема технологічного контролю процесу сушіння в апараті псевдозрідженого шару на інертних носіях.

Прилади контролю: 2ступінь фільтрації; 4 тиск в сушильній камері; 5 температура гарячого повітря; 6 температура калорифера; 8 ступінь заповнення сушильної камери; 9 тиск гарячого повітря; 10 витрати відпрацьованого повітря; 11 температура сухої пари; 12 тиск сухої пари

## **10. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ**

Сушарка з псевдозрідженим шаром – це важливе обладнання, яке використовується в різних галузях промисловості, таких як фармацевтична, харчова та хімічна. Вона забезпечує ефективне сушіння шляхом суспендування твердих частинок у контрольованому потоці повітря. Однак, як і будь-яке промислове обладнання, вона становить певні ризики, якщо з нею неправильно поводитися. Для забезпечення безпечної експлуатації вкрай важливо дотримуватися певних запобіжних заходів. У цій статті описано основні заходи безпеки, яких слід дотримуватися під час використання сушарки з псевдозрідженим шаром.

### **1. Належне навчання та обізнаність оператора**

Перед початком роботи сушарки з псевдозрідженим шаром переконайтеся, що весь персонал пройшов комплексне навчання. Оператори повинні розуміти функціональність, потенційні небезпеки та порядок дій у надзвичайних ситуаціях, пов'язані з обладнанням. Регулярні курси підвищення кваліфікації також можуть допомогти посилити методи безпеки та інформувати операторів про нові протоколи безпеки.

### **2. Проведення передексплуатаційних перевірок безпеки**

Перед запуском сушарки з псевдозрідженим шаром проведіть ретельні передексплуатаційні перевірки, щоб переконатися, що всі компоненти знаходяться у належному робочому стані. Це включає:

- Перевірка електричних з'єднань на наявність ослаблених проводів або пошкоджень.
- Перевірка налаштувань потоку повітря та фільтрів на наявність засмічень.
- Переконайтеся, що в сушильній камері немає сторонніх предметів.
- Перевірка справності всіх запобіжних блокувань.

### **3. Використовуйте засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)**

Оператори повинні носити відповідні ЗІЗ під час використання сушарки з псевдозрідженим шаром. Необхідне захисне спорядження може включати:

- Захисні окуляри для запобігання потраплянню пилу та твердих частинок в очі.
- Термостійкі рукавички для роботи з матеріалами, що піддаються впливу високих температур.
- Респіраторні маски під час роботи з дрібними порошками або небезпечними хімічними речовинами.
- Антистатичний одяг для мінімізації ризику статичного розряду.

#### **4. Підтримуйте належну вентиляцію та потік повітря**

Належна вентиляція є критично важливою для забезпечення ефективності та безпеки процесу сушіння. Поганий потік повітря може призвести до перегріву, накопичення пилу та потенційної небезпеки займання. Переконайтеся, що:

- Випускні отвори не засмічені.
- Повітряні фільтри чисті та функціонують належним чином.
- Навколишнє робоче середовище має належну циркуляцію повітря, щоб запобігти надмірному перегріванню.

#### **5. Уникайте перевантаження сушарки**

Перевантаження сушарки з псевдозрідженим шаром може поставити під загрозу її ефективність і створювати серйозні ризики для безпеки, такі як надмірне підвищення тиску або нерівномірне сушіння. Завжди дотримуйтесь рекомендованої виробником вантажопідйомності та рівномірно розподіляйте матеріали всередині сушильної камери, щоб підтримувати рівномірний потік повітря.

#### **6. Контролюйте рівень температури та тиску**

Підтримка оптимального рівня температури та тиску є критично важливою для безпечної роботи. Екстремальні температури можуть призвести до перегріву та займання, а надмірний тиск може спричинити вихід з ладу системи. Використовуйте вбудовані датчики та сигналізацію для відстеження коливань температури та тиску. Якщо виникають невідповідності, негайно зупиніть роботу та розслідуйте проблему.

## **7. Поводьтеся з легкозаймистими матеріалами обережно.**

Деякі матеріали, що обробляються в сушарці з псевдозрідженим шаром, можуть бути легкозаймистими або реакційноздатними. Щоб мінімізувати ризики:

- Визначати та класифікувати матеріали на основі їхньої горючості та хімічних властивостей.
- Уникайте впливу високих температур на леткі сполуки.
- Впроваджуйте вибухобезпечні конструкції, такі як полум'язапірники та запобіжні клапани.
- Регулярно перевіряйте системи заземлення, щоб запобігти електростатичному розряду.

## **8. Впроваджуйте заходи запобігання пожежам та вибухам**

Вибухи та пожежі пилу є основними небезпеками, пов'язаними з сушарками з псевдозрідженим шаром. Щоб зменшити ці ризики:

- Зведіть до мінімуму накопичення пилу, регулярно очищаючи обладнання та робочу зону.
- Встановіть вибухозахисні вентиляційні отвори та системи вибухогасіння.
- Переконайтеся, що електричні компоненти відповідають нормам пожежної безпеки.
- Використовуйте продувку інертним газом при роботі з горючими порошками.

## **9. Регулярне технічне обслуговування та огляд**

Регулярне технічне обслуговування є важливим для забезпечення безпечної та ефективної роботи сушарки з псевдозрідженим шаром. Основні завдання технічного обслуговування включають:

- Очищення фільтрів, повітропроводів та сушильних камер для видалення накопичення пилу.
- Змащування рухомих частин для запобігання механічним поломкам.
- Перевірка на знос ущільнень, прокладок та електропроводки.

- Своєчасне проведення планових оглядів та заміна несправних компонентів.

## **10. Встановіть процедури аварійного вимкнення**

У разі несправності або надзвичайної ситуації оператори повинні бути ознайомлені з процедурами аварійного вимкнення. Ці процедури повинні включати:

- Протоколи негайного вимкнення живлення.
- Активація систем пожежогасіння.
- Плани евакуації та координація дій аварійно-рятувальних груп.
- Документування інцидентів для подальшого аналізу та вжиття превентивних заходів.

## **11. Правильно зберігайте та поведіться з матеріалами**

Неправильне зберігання та поводження із сировиною може призвести до забруднення, перехресної реактивності або загрози безпеці. Завжди дотримуйтесь цих рекомендацій:

- Зберігайте сировину в сухих, добре провітрюваних приміщеннях.
- Чітко маркуйте небезпечні речовини.
- Використовуйте відповідні контейнери, щоб запобігти поглинанню вологи та розкладанню.
- Дотримуйтесь належних методів поводження з матеріалами, щоб уникнути розливів та потрапляння речовин.

## **12. Забезпечення дотримання нормативних стандартів**

Дотримання галузевих та нормативних стандартів безпеки є обов'язковим. Дотримання рекомендацій таких організацій, як OSHA (Управління з охорони праці та здоров'я), FDA (Управління з контролю за харчовими продуктами та лікарськими засобами) та GMP (Належна виробнича практика), допомагає забезпечити безпеку на робочому місці та якість продукції. Для підтримки відповідності рекомендуються регулярні аудити та документування протоколів безпеки.

## **Висновок**

Безпека є надзвичайно важливою під час використання сушарки з псевдозрідженим шаром. Завдяки належному навчанню, обслуговуванню обладнання та дотриманню суворих правил безпеки, оператори можуть значно зменшити ризики нещасних випадків, пожеж або поломок обладнання. Дотримання цих запобіжних заходів не лише захищає персонал, але й забезпечує ефективні та високоякісні процеси сушіння. Інвестування в регулярне технічне обслуговування, використання правильних ЗІЗ та пильність щодо потенційних небезпек допоможуть створити безпечне та продуктивне робоче середовище.

## **Висновок**

- Пропонується використати інноваційні розробки сушильного апарату, у якому висушування дріжджів відбувається на поверхні легких кульок із інертного матеріалу.
- Кульки під дією напору теплого повітря перебувають у псевдозрідженому (киплячому) шарі, інтенсивно рухаються у об'ємі робочої камери. Коли дріжджі на поверхні кульок висихають, внаслідок ударів кульок вони відділяються з їх поверхні, і виносяться потоком повітря.
- Було модернізовано конструкцію сушарки з псевдозрідженим шаром та інертними насадками, призначену для сушіння дріжджової суспензії з продуктивністю 17 кг/год.
- У вдосконаленому варіанті передбачено монтаж двох решіток, між якими розміщені інертні насадки, що служать поверхнею для висихання продукту, а також впроваджено використання шнекового механізму. Подавання суспензії здійснюється через порожнистий обертовий вал з подальшим розпиленням у шар насадок. Крім того, через тангенціально орієнтовані патрубки подається нагріте відпрацьоване повітря.
- Висушені дріжджі разом із потоком повітря розділяються у циклонах. Це дозволяє швидко відділяти дріжджі від повітря, без значних витрат фільтрувального матеріалу і його постійного очищення.
- Запропоновані зміни сприяють підвищенню ефективності сушильного процесу завдяки тангенціальній подачі повітря, рівномірному розпиленню суспензії та активному перемішуванню шару за допомогою шнека.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Batt C.A. Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition) / C.A. Batt. – Elsevier, 2017. – 110 p.
2. Brennan J. G.. Food Processing Handbook, 2nd Edition / James G.B., Alistair S.G. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2011. – 826 p.
3. Fellows P. Food processing technology. Principles and Practice. Second Edition / P. Fellows. – CRC Press, 2000. – 591 p.
4. Kunze W. Technology Brewing And Malting. 5th English Edition / W. Kunze. – VLB Berlin. – 935 pages
5. Lelieveld H. Handbook of Hygiene Control in the Food Industry (Second Edition) / H. Lelieveld, J. Holah, D. Gabrić. – Elsevier, 2016. – 736 p.
6. Naumenko N. History of Food Science / N. Naumenko N. – Kyiv, NUFT. – 2014. – 199 с.
7. Ralko O. The restructuring and organisational development in the food industry in Ukraine // Restructuring: theory and practice : [monograph] / [Tetyana Mostenska, Iryna Fedulova, Virginija Jurėnienė (scientific editors)]. – Kyiv – Kaunas – Szczecin: National University of Food Technologies, Institute of World Economy and International Relations, University of Szczecin, Vilnius University. – Kyiv: Kondor, 2012. – P. 171–195.
8. Toledo R.T. Fundamentals of Food Process Engineering. Third Edition / R.T. Toledo. – Springer, 2007. – 585 p.
9. Yiu H. Hui. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. / H. Hui Yiu. – CRC Press, 2006. – 928 p.
10. Бабанов Г.І. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств – Бабанов І.Г., Гавва О.М., Бабанова О.І., Чепелюк О.М., Беседа С.Д. – К.: Сталь, 2015 – 600 с.
11. Безпека життєдіяльності [Електронний ресурс] : конспект лекцій для студентів усіх напрямів підготовки бакалаврів денної та заочної форм навчання / уклад. О. П. Слободян, В. А. Заєць, С. О. Авдієнко, Л. П. Нещадим. - К. : НУХТ, 2013. – 51 с.

12. Біотехнологія: Підручник / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.; Під общ. ред. В.Г. Герасименка. — К.: Фірма «ІНКОС», 2006
13. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. — Київ: НУХТ, 2014. — 530 с.
14. Домарецький В.А. Технологія солода та пива: Підруч. / В.А. Домарецький. — Київ: Інкос, 2004. — 426 с.
15. Заплетніков І. М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посіб. / І. М. Заплетніков, В. Г. Мирончук, В. М. Кудрявцев ; Нац. ун-т харч. технол., Донец. нац. ун-т екон. і торг. — К. : ЦУЛ, 2012. — 344 с.
16. Мостенська Т. Збалансування продовольчого ринку в контексті забезпечення продовольчої безпеки: монографія / Т. Мостенська. — Київ: Кондор-Видавництво, 2015. — 283 с.
17. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] : підручник / В. Г. Мирончук, І. С. Гулий, М. М. Пушанко та ін. ; за ред. В. Г. Мирончука. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Вінниця : Нова книга, 2007. — 648 с.
18. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / Мирончук В. Г., Гулий І. С., Пушанко М. М. та ін.; за ред. В.Г. Мирончука. — Вінниця: Нова книга, 2007. — 648 с.
19. Основи охорони праці [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання / В. С. Гуць, С. Д. Коваленко, О. В. Євтушенко та ін. — К. : НУХТ, 2016. — 97 с.
20. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин [Текст] : Підруч. / В. Т. Павлище. — К. : Вища шк., 1993. — 556 с. — рекомендовано кафедрою. — ISBN 5-11-004099-1.
21. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. — Київ: Упаковка, 2010. — 744 с.

22. Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : Підруч. / І. Ф. Малежик, П. С. Циганков, П. М. Немирович, О. С. Марценюк ; Ред. І.Ф. Малежик. — К. : НУХТ, 2003. — 400 с.
23. Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : приклади і задачі : навч. посіб. / І. Ф. Малежик, П. М. Немирович, В. Л. Зав'ялов та ін. ; за ред. І. Ф. Малежика ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2015. — 386 с.
24. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник/За ред. проф.І. Ф. Малежика. Підручник. – К.: НУХТ, 2003. – 400с.
25. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець та ін. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 288 с.
26. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості [Текст] : навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков. — Вінниця : Нова книга, 2009. — 816 с.
27. Ситник І.О., Климнюк С.І., Творко М.С. Мікробіологія, вірусологія, імунологія. -Тернопіль: Укрмедкнига, 2009. - 295 с.
28. Скопенко Н.С. Інтеграційні процеси в харчовій промисловості України: сучасна концепція розвитку: монографія / Н.С. Скопенко, Т.Л. Мостенська. – Київ: Кондор, 2015. – 392 с.
29. Сухенко Ю. Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підручник / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко. – Київ: НУХТ, 2010. – 547 с
30. Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник / В.І. Теличкун, О.М. Гавва, Ю.С. Теличкун, О.О. Губеня, М.Г. Десик, О.М. Чепелюк. – Київ: Видавництво «Сталь», 2017. – 456 с.