

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)

(підпис)

Сергій БЛАЖЕНКО

(ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

Олександр ГАВВА

(ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності *133 «Галузеве машинобудування»*

(код та назва спеціальності)

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

на тему

Модернізація апарату сушіння порошкоподібних речовин для інгаляцій продуктивністю за випареною вологою 200 кг/год.

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

Кириченко Олександр Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

Керівник **Володін Сергій Олексійович** _____

(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) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кириченко Олександр Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Модернізація апарату сушіння порошкоподібних речовин для інгаляцій продуктивністю за випареною вологою 200 кг/год.**

керівник проекту (роботи) **Володін Сергій Олексійович**, доц., канд. тех. наук

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» квітня 2024 р. № 218-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 2 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. *Продуктивність сушарки 200кг/год.*

2. *Продукт – порошок для ін'єкцій.*

3 *Оглядів 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 _____ *Олександр Кириченко*

Керівник роботи _____ *Сергій Володін*

Зміст

Зміст	1
Анотація	2
Вступ.	4
Розділ 1. Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі	6
Розділ 2. Техніко-економічне, соціальне обґрунтування	12
Розділ 3. Характеристика вхідного матеріалу і готової продукції	20
Розділ 4. Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи обладнання	22
Розділ 5. Вибір конструкційних матеріалів	25
Розділ 6. Розрахункова частина	27
6.1 Технічний розрахунок	27
6.2 Кінематичний розрахунок	29
6.3 Теплотехнічний розрахунок	31
6.4 Енергетичний розрахунок	36
6.5. Розрахунок допоміжних пристроїв та їх вибір	36
Розділ 7. Монтаж, експлуатація, ремонт і наладка сушильної установки	42
7.1. Монтаж сушильної установки	42
7.2. Експлуатація і обслуговування сушильної установки	44
7.3. Робота установки та її зупинка	44
7.4. Ремонт сушильної установки	45
Розділ 8. Технологічний маршрут виготовлення деталі	47
8.1. Вибір заготовки і розрахунок припусків	47
8.2. Технологічний маршрут виготовлення деталі	49
8.3. Вибір обладнання та інструменту, поопераційний розрахунок режимів різання і норм часу	52
Розділ 9. Система управління	68
Розділ 10. Заходи з охорони праці	69
Розділ 11. Висновки	72
Розділ 12. Список використаної літератури	73

Анотація

У вдосконаленій версії робочого елемента сушильного апарата було оновлено конструкцію розпилювального диска. Він сформований з двох основних частин — верхньої та нижньої. Основна ідея модернізації полягала в доповненні внутрішньої частини нижнього сегмента чотирма вигнутими пластинами, які встановлено під прямими кутами одна до одної. Кожна з пластин має форму півкола, що дозволяє ефективніше захоплювати та утримувати масу під час сушіння.

На відміну від базового варіанту, оновлений диск забезпечує якісніше подрібнення і розпилення сировини. Це, своєю чергою, сприятиме зростанню загальної продуктивності сушильного обладнання.

У межах виконання проєкту були здійснені комплексні розрахунки сушарки: технічні, кінематичні, енергетичні та інші. Проведено порівняльний аналіз подібного за функціями обладнання, вивчено вимоги до монтажу, умов експлуатації та обслуговування установки. Особливу увагу приділено питанням безпеки праці при взаємодії з апаратом.

Також була розроблена технологічна схема виготовлення напівмуфти, яка є частиною приводу розпилювального механізму. Окремим розділом проєкту розглянуто екологічні стандарти, що регламентують використання подібного устаткування. На завершення — сформульовано висновки щодо ефективності та доцільності внесених змін.

Дипломний проєкт включає розрахунково-пояснювальну частину обсягом 73 сторінок формату А4, а також п'ять креслень формату А3.

Ключові слова: сушильний апарат, розпилювальний диск, напівмуфта, модернізація, ефективність.

Annotation

In the improved version of the working element of the drying apparatus, the design of the spray disk was updated. It is formed from two main parts - upper and lower. The main idea of the modernization was to supplement the inner part of the lower segment with four curved plates, which are installed at right angles to each other. Each of the plates has the shape of a semicircle, which allows for more effective capture and retention of the mass during drying.

Unlike the basic version, the updated disk provides better grinding and spraying of raw materials. This, in turn, will contribute to an increase in the overall productivity of the drying equipment.

As part of the project, comprehensive calculations of the dryer were carried out: technical, kinematic, energy and others. A comparative analysis of equipment similar in functions was carried out, the requirements for installation, operating conditions and maintenance of the installation were studied. Special attention was paid to occupational safety issues when interacting with the apparatus.

A technological scheme for the manufacture of a half-coupling, which is part of the spray mechanism drive, was also developed. A separate section of the project considered environmental standards that regulate the use of such equipment. Finally, conclusions were formulated regarding the effectiveness and feasibility of the changes made.

The diploma project includes a calculation and explanatory part of 73 pages of A4 format, as well as five A3 format drawings.

Keywords: dryer, spray disk, half coupling, modernization, efficiency.

Вступ

Процес видалення вологи з різноманітних матеріалів є одним із найпоширеніших методів обробки, зокрема у сфері харчової промисловості. Сушіння сприяє зменшенню маси продукції, покращує її збереження під час транспортування та подовжує термін зберігання. Через велику кількість продуктів, що підлягають сушінню, використовуються різні технології теплопередачі, що зумовлює застосування численних типів сушильних апаратів із різними конструктивними особливостями.

Залежно від методу подачі тепла до матеріалу, сушильні установки класифікують на такі типи: конвективні, контактні (з використанням гарячих поверхонь), термодинамічні, електромагнітні — з використанням струмів високої частоти, а також акустичні та механічні. Найпоширенішими серед них у промисловому середовищі є апарати розпилювального типу.

У фармацевтичному й хімічному виробництві розпилювальні сушарки застосовують тоді, коли необхідно забезпечити мінімальний час взаємодії між сушильним агентом і рідким продуктом. Такі установки особливо ефективні при роботі з розчинами речовин, чутливих до нагріву, зокрема з екстрактами лікарських трав, ферментними сполуками, розчинами моносахаридів, заміниками плазми (наприклад, білковими гідролізатами, поліглюкозою, ПВП) і певними синтетичними медикаментами.

Мета роботи:

- Дослідити конструкцію та принцип функціонування дискової розпилювальної сушарки;
- Провести необхідні інженерні розрахунки основних параметрів апарата;
- Розробити модернізацію обраного вузла сушильної установки;
- Ознайомитися з основними вимогами до встановлення розпилювальної сушарки, а також з правилами технічної безпеки при її експлуатації;
- Вивчити положення з охорони праці, що регламентують роботу з відповідним обладнанням;
- Виконати креслення загального виду сушарного апарата та вдосконаленого вузла;
- Сформулювати підсумкові висновки за результатами виконаної роботи.

1. Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі

Процес сушіння є важливою технологічною операцією, яка полягає у видаленні вологи з матеріалу через її випаровування з подальшим виведенням пари з робочої зони. У фармацевтичному виробництві сушіння займає ключове місце, оскільки впливає на стабільність, чистоту та якість кінцевого продукту, зокрема порошкових форм для інгаляцій.

У практиці промислового сушіння використовують різні типи обладнання, вибір яких залежить від властивостей вихідної сировини та вимог до готового продукту. Найпоширенішими є установки конвективного та контактного типу. Проте в умовах сучасного фармацевтичного виробництва особливу перевагу надають розпилювальним сушаркам, які дозволяють перетворювати рідкі або пастоподібні суміші у дрібнодисперсний порошок за короткий проміжок часу.

Розпилювальні сушарки забезпечують високу швидкість масо- та теплообміну завдяки формуванню великої площі контакту між сушильним агентом і матеріалом у вигляді крапель. При цьому, за рахунок миттєвого випаровування вологи з поверхні дрібних частинок, забезпечується рівномірність сушіння та висока якість порошку.

Порівняно з сушарками із псевдозрідженим шаром, розпилювальні апарати мають ряд переваг у фармацевтичному контексті:

- можливість швидкої обробки термочутливих речовин;
- менше механічне руйнування частинок;
- ефективна гомогенізація висушеного продукту;
- контрольована геометрія та дисперсність частинок.

Водночас, ключовим викликом у роботі розпилювальних сушарок є оптимізація траєкторії руху повітряного потоку та крапель, щоб забезпечити рівномірне і повне висушування. Саме на цьому базується розроблене у даному проєкті технічне вдосконалення: використання розпилюючого диска з тангенціальним напрямом розпилення, що подовжує шлях краплі до стінки камери та збільшує тривалість перебування у зоні сушіння.

Таке інженерне рішення дозволяє не лише підвищити ефективність процесу, але й зменшити ймовірність неповного сушіння або перегріву речовини, що критично важливо для інгаляційних препаратів.

Таким чином, у рамках порівняння сучасних технологій сушіння для фармацевтичного виробництва, розпилювальні сушарки з удосконаленими конструктивними рішеннями мають перевагу завдяки поєднанню швидкості процесу, гнучкості в налаштуваннях і високої якості готової продукції.

(12) Патент США

Брайт та ін.

Заявка US15/342,742 події

(22) 2016-11-03 Заявка подана компанією Spraying Systems Co

(45) 2019-09-03 Публікація US10399098B2

Посилання на патенти (56) : US3011543A, US3620776A, GB1350098A, US4170074A, US5624530A, US6766220B2 *, US20080155853A1, US8524279B2 *, US8939388B1, US3201924A *, US3675393A *, SE391458B *, DE2508266C3 *, GB1557549A *, CN1007319B, JPH0675641B2 *, GB8604328D0 *, GB8614566D0 *, US4784878A *, WO1989000070A1 *, US5044093A *, DK489688D0 *, GB9000893D0 *, JPH04247214A *, JPH05285301A *, JP3690752B2 *, US5358552A *, JPH07116570A *, JP2606042Y2 *, CA2147407C *, US5632102A *, JP3108639B2 *, EP1195191A4 *, WO2000074835A1 *, AU4770099A *, US6463675B1 *, KR100696053B1 *, WO2004009653A1 *, JP2005329291A, JP2007176869A *, FI20070521A7 *, WO2008110623A2 *, JP4811375B2 *, CN101756939B *, CN102985154B *, WO2012014923A1 *, BR112013002675B1 *, RU2013124813A *, AU2010363672A1 *, CN102793839A *, EP2626122A1 *, KR20130141926A *, CN202777837U *, GB201220765D0 *, JP6026978B2 *, ES2688468T3 *.

Автори: Адам К. Брайт, Джозеф П. Щап.

Власник: SPRAYING SYSTEMS CO., ILLINOIS

Розпилювальна сушарка

Об'єкти та суть технічного рішення

Цей технічний проєкт спрямований на розробку системи розпилювального сушильного обладнання, яке забезпечує підвищену ефективність та ширші можливості застосування у виробничих умовах.

Одним із пріоритетів є створення електростатичної розпилювальної сушарки компактного розміру з покращеними експлуатаційними характеристиками.

Ще одним завданням є впровадження керуючого модуля, який дозволяє оптимізувати роботу електростатичної форсунки, забезпечуючи її точне функціонування відповідно до специфіки технологічного процесу. Також розглядається можливість агломерації частинок у задану форму за допомогою вдосконаленої системи управління.

Наступною ціллю є зменшення габаритної висоти установки, що дає змогу її монтажу в умовах обмеженого простору без необхідності модифікації інфраструктури приміщення.

Розробка передбачає здатність системи до обробки різних видів сировини без ризику змішування або вторинного забруднення, що є важливою умовою для багаторазового використання в харчовій, фармацевтичній або хімічній галузях.

Конструкція установки повинна передбачати можливість швидкої модифікації як геометричних параметрів, так і способів керування відповідно до конкретних потреб користувача.

Особливу увагу приділено зниженню енергоспоживання, зокрема, завдяки можливості сушіння за понижених температур, що дозволяє працювати з термолабільними матеріалами без їх деградації.

Система має бути реалізована у модульному виконанні, що забезпечить можливість гнучкого налаштування під необхідну продуктивність, а також дасть змогу проводити технічне обслуговування та заміну окремих елементів без припинення загального функціонування установки.

Передбачено підвищений рівень електробезпеки, зокрема, зменшення ймовірності коротких замикань або займання пилової суміші в умовах теплового навантаження в сушильній камері. Система моніторингу повинна дозволяти раннє виявлення та запобігання подібним відмовам.

Також розглядається реалізація ефективної системи фільтрації повітряного потоку, що виходить із сушильної камери, з метою очищення від дрібнодисперсних частинок із мінімальними вимогами до ручного втручання та обслуговування.

Фільтрувальна система повинна включати автоматизовані засоби самоочищення від осаджених частинок, що забезпечує стабільність процесу фільтрації.

Остаточною метою є впровадження конструктивно простої та економічно доцільної у виробництві системи електростатичної розпилювальної сушарки.

Запропонований технічний винахід стосується системи електростатичного розпилювального сушіння, призначеної для перетворення рідкої фази у порошкоподібний продукт. Система містить наступні функціональні елементи:

1. **Камера сушіння** — герметичний об'єм, у якому відбувається основний процес видалення вологи шляхом випаровування з розпилених частинок рідини.
2. **Електростатична розпилювальна форсунка**, обладнана спеціалізованим розпилювальним наконечником, призначеним для введення рідинного середовища безпосередньо у внутрішній простір сушильної камери. Зазначена форсунка функціонує на основі електричного сигналу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), який визначає часові інтервали, протягом яких вона перебуває у відкритому стані для впорскування рідини.
3. **Контролер**, що виконує функції генерації, подачі та регулювання сигналів ШІМ до електростатичної форсунки. Він забезпечує точне керування подачею робочої рідини та налаштовується для виконання наступного алгоритму:
 - активація режиму широтно-імпульсної модуляції в модулі електростатичного розпилення;
 - ініціалізація початкового стану системи (включення або запуск робочої сесії);

- передача первинного ШІМ-сигналу з визначеною частотою активації до форсунки, який підтримується протягом заданого періоду, контрольованого **першим таймером**;
- після завершення дії першого таймера — запуск **другого таймера** та одночасна зміна частоти ШІМ-сигналу, який подається на ту ж форсунку протягом нового періоду імпульсу;
- завдяки використанню сигналів з різними частотами у двох фазах циклу забезпечується розпилення рідини з утворенням крапель різного діаметра.

Це, у свою чергу, призводить до отримання частинок, які мають різний ступінь агломерації в межах сушильної камери. Подібна технологія дозволяє оптимізувати процес формування порошку та підвищити якість кінцевого продукту шляхом регулювання дисперсності та форми частинок.

Спосіб регулювання розміру агломератів в електростатичній розпилювальній сушильній системі

Розроблено метод контролю дисперсного складу частинок, який базується на керованому електростатичному розпиленні рідкої фази в камері сушіння.

Суть способу полягає у наступному:

1. Електростатичний розпилювач, налаштований для подачі рідини в сушильну камеру, активується широтно-імпульсним сигналом (ШІМ), який визначає тривалість та частоту імпульсної подачі.
2. Реалізується чередування двох режимів подачі рідини:
 - Перший режим — сигнал із нижчою частотою та відповідним робочим циклом, що формує частинки меншого розміру;
 - Другий режим — сигнал з підвищеною частотою, який сприяє утворенню більших агломератів.
3. Перемикання між режимами дозволяє формувати аерозоль з частинками різного діаметра, що призводить до контрольованої агломерації та отримання порошку з бажаним розміром частинок.

4. Регулювання тривалості кожного режиму в процесі сушіння забезпечує можливість оперативного керування середнім розміром агломератів без зупинки обладнання.

Таким чином, система дозволяє ефективно контролювати ступінь агломерації, оптимізуючи властивості кінцевого порошкового продукту відповідно до технологічних вимог.

2. Техніко-економічне, соціальне обґрунтування

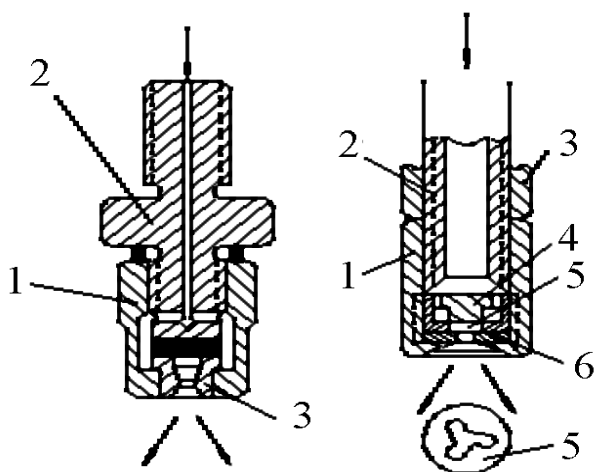
Розпилювальні сушарки використовуються для обробки рідких або пастоподібних речовин шляхом їхнього перетворення в дрібнодисперсний аерозоль у потоці гарячого газу (зазвичай повітря). У процесі сушки речовина розпилюється за допомогою спеціальних пристроїв – форсунок (механічних або пневматичних) або ж за рахунок дії відцентрових дисків.

У випадку застосування механічних форсунок, як, наприклад, при сушінні розчину кальцію ацетату, робоча рідина подається під високим тиском – від 30 до 200 атмосфер. Основні параметри крапель, що утворюються в процесі розпилювання, залежать від ряду факторів: тиску, діаметра сопла, в'язкості рідини тощо. Їх розміри варіюються в діапазоні від 20 до 100 мікрметрів. Найбільший вплив на диспергування має турбулентність рідинного потоку, що формується завдяки обертанню струменя всередині форсунки.

На рисунку 1 зображено два різновиди механічних форсунок. Варіант 1а демонструє конструкцію, призначену для роботи з висококонцентрованими розчинами, виготовлену з легованої сталі. Вона включає корпус (позиція 1), розпилювальну головку (позиція 2) та змінний диск (позиція 3). Завдяки змінній

насадці можна регулювати розмір отвору у межах від 0,8 до 1,5 мм.

На схемі 1б показана інша модифікація, що складається з корпусу (1), який накручується на подаючу головку (2) і фіксується контргайкою (4). Розчин



рухається крізь вісім отворів у диску (3), далі потрапляє в три тангенціальні канали диска (5), де створюється закручування. У центральній камері формується обертовий потік, що виходить назовні через отвір у диску (6).

Мал. 1 – Конструкція механічних форсунок

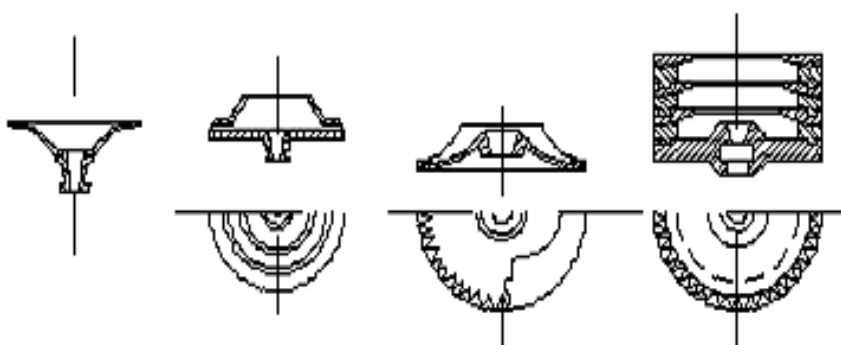
Позначення: 1–корпус;2–подаюча головка;4– стопорна гайка; 3,5,6 –диски.

Механічні форсунки характеризуються високою ефективністю розпилу, стабільною та тихою роботою, а також здатністю створювати дрібнодисперсний і однорідний аерозоль. За умови сушіння, їх продуктивність може сягати до 600 кг/год, хоча конструктивно форсунка здатна забезпечити розпилювання до 4,5 т/год продукту. Споживання енергії при цьому коливається в межах 2–10 кВт на тонну оброблюваного розчину.

До недоліків цього типу обладнання слід віднести обмеження в регулюванні продуктивності, а також схильність до швидкого засмічення вихідних отворів (особливо при їх діаметрі менш ніж 0,5 мм). Зазначені форсунки неефективні при роботі з суспензіями, пастами або розчинами, які утворюють осад.

На відміну від них, відцентрові розпилювачі забезпечують можливість плавного регулювання продуктивності сушарки, що спрощує процес автоматизації. Основним недоліком цієї системи є вища вартість у порівнянні з механічними форсунками.

Сьогодні застосовується значна кількість типів розпилюючих дисків, призначених для різних видів рідин: з гладкою поверхнею, з тангенціальними лопатками, багатоярусні конструкції, моделі з вбудованими соплами тощо (див. мал. 2). Наприклад, при сушінні порошкоподібного карбіду кремнію використовують розпилювальний вузол, який складається з двох дисків, покритих шаром карбіду бору.



Мал. 2 – Різновиди дискових розпилювачів:

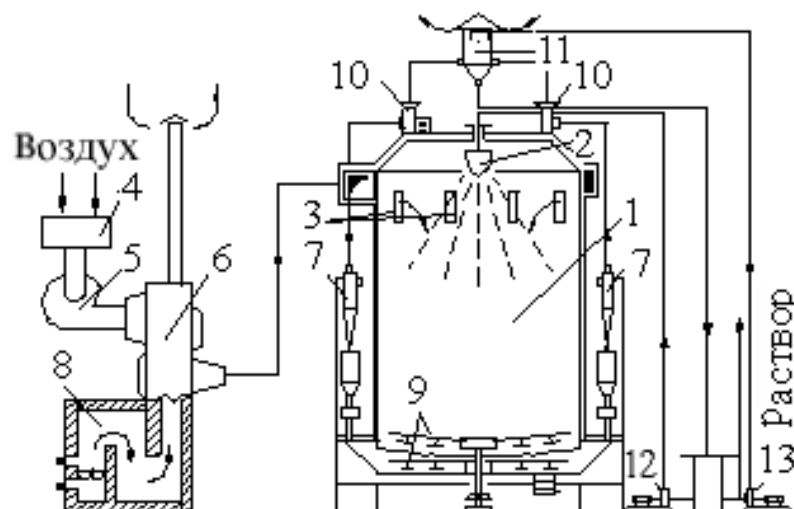
- а) – відкритий тарілчастий тип; б) – клапанна закрита конструкція;
 в) – плоский закритий диск із зубцями; г) – трьох'ярусна модель з перегородками та зубчастими елементами.

Середній діаметр крапель, що утворюються при розпилюванні, можна обчислити за емпіричними формулами, запропонованими Фрейзером, Айзенклямом та Домбровським:

$$d = 69 \cdot 10^5 \cdot \frac{G^{0.2} \cdot \nu_{\text{ж}}^{0.2} \cdot \sigma^{0.1}}{D_{\text{д}}^{0.2} \cdot x^{0.1} \cdot n^{0.6} \cdot \gamma_{\text{ж}}^{0.3}}$$

де: G – масова продуктивність, кг/год;

- ν – кінематична в'язкість рідини, м²/с;
- σ – коефіцієнт поверхневого натягу, кг/м;
- D – діаметр розпилювального диска, м;
- x – змочуваний периметр, що дорівнює добутку кількості лопаток на їхню висоту, м;
- n – кількість обертів за хвилину;
- γ – густина (питома вага) розчину, кг/м³.



Мал. 4 – Сушарка з механічною форсункою

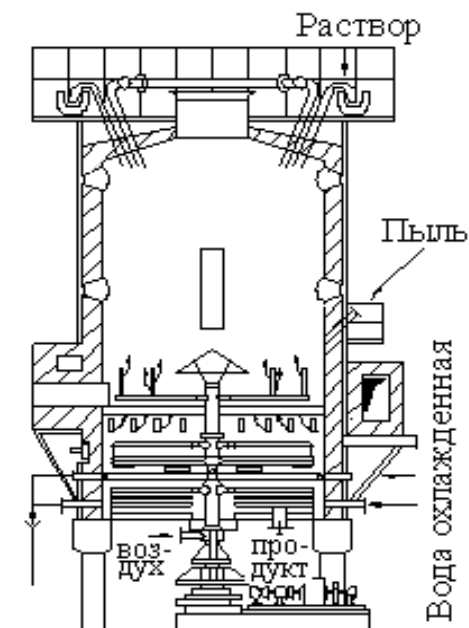
Позначення:

- 1 – сушильна камера;
- 2 – механічна форсунка;
- 3 – вхід повітря;
- 4 – фільтр;
- 5, 10 – вентилятори;
- 6 – повітрянагрівач;
- 7 – циклон; 8 – топка; 9 –

скребки; 11 – скрубери; 12, 13 – насоси.

Розпилювальні сушарки доцільно застосовувати у таких випадках:

1. **Чутливість матеріалу до нагрівання.** Через надзвичайно короткий час перебування в зоні високих температур (від часток секунди до кількох секунд) навіть термолабільні продукти, наприклад, молоко або яєчний порошок, не зазнають термічного руйнування.
2. **Необхідність запобігання окисленню.** Через миттєве висушування матеріал практично не встигає вступити в реакцію з киснем, що особливо важливо при сушінні металевих порошків.



Мал.5 –Особливості сушіння пастоподібних і злипливих матеріалів

3. Розпилювальна сушка ефективна при роботі з пастами або залипаючими рідинами, які складно сушити традиційними методами. Завдяки швидкому випаровуванню на «льоту» запобігається прилипання продукту до стінок камери. При застосуванні відцентрового диска розпил відбувається настільки рівномірно, що навіть при високих обертах (4000–20000 об/хв) матеріал або не досягає стінок камери, або встигає висохнути до контакту з ними.

Переваги розпилювальних сушарок

1. **Мінімальна тривалість процесу.** Повне висушування триває лише 15–30 секунд.

2. **Можливість регулювання параметрів.** Шляхом зміни режиму сушіння можна контролювати такі показники, як вологість, гранулометричний склад, насипна щільність та ін.
3. **Продукт готовий до використання.** Отриманий порошок не потребує додаткового подрібнення і має високу розчинність.
4. **Спрощення технологічного процесу.** Відпадає потреба у подальших етапах, таких як фільтрація, центрифугування або сушіння після грануляції.
5. **Висока продуктивність при мінімальному обслуговуванні.**
6. **Відсутність контакту частинок з поверхнею.** Це усуває проблему корозії обладнання та дозволяє використовувати широкий спектр конструкційних матеріалів.
7. **Широкий діапазон температур.** Температура повітря в зоні сушіння може становити від 60 до 1200 °С.
8. **Ідеальна технологія для липких продуктів.** Наприклад, аморфні речовини, які неможливо подрібнити традиційними методами.
9. **Зручність у виробництві складових сумішей.** Компоненти змішують ще до розпилення, або вводять одночасно в сушильну камеру.
10. **Зменшення запиленості робочих приміщень.** Пил не виходить за межі замкнутого простору сушарки.

Розпилюючі сушарки типу СРЦ

Модель	Робоча продуктивність	Розміри приміщення(ДхШхВ)
СРЦ - 5	5кг	1400x1600x2600
СРЦ - 10	10кг	2630x2500x3600
СРЦ - 50	50кг	6000x7000x7200
СРЦ - 100	100кг	10700x7700x13300
СРЦ - 200	200кг	12200x7700x13300
СРЦ - 300	300кг	14050x8300x14400

Застосування в фармацевтичному виробництві

Розпилювальні сушарки вважаються одним із найефективніших рішень для потреб фармацевтичного виробництва, оскільки дають змогу отримувати порошкові форми лікарських засобів із заданими характеристиками частинок відповідно до нормативних вимог. У багатьох випадках препарати у вигляді рідин або паст мають обмежений термін придатності, що ускладнює їх зберігання й обіг як для виробників, так і для споживачів. Застосування розпилювальної сушки дає змогу проводити контрольоване перетворення рідкої форми у порошкову з одночасним формуванням необхідних параметрів частинок.

У межах заданих технологічних умов можливо отримати різні види порошків — від сипучих і агломерованих до ультрадисперсних, які придатні для використання, зокрема, в інгаляційних пристроях. Завдяки високому коефіцієнту тепломасообміну між сушильним агентом і матеріалом, процес висушування в

таких установках є надзвичайно швидким. Час впливу високої температури суттєво скорочується, що дозволяє зберегти основні властивості термочутливих речовин.

Використання змінного струму для нагріву повітря дозволяє оптимізувати температуру сушіння без ризику перегріву або деградації активних компонентів. Це особливо важливо для тих лікарських речовин, які втрачають ефективність під час тривалого нагрівання. Саме тому такі сушарки є оптимальними для обробки не лише рослинних екстрактів чи ферментних препаратів, а й синтетичних лікарських засобів, антибіотиків, замінників крові тощо.

Окрім порошкових форм, розпилювальна сушка також дозволяє отримувати щільніші та гранульовані структури з рідких або пастоподібних речовин, що часто є зручнішими для фасування, транспортування і подальшого використання.

Таким чином, здатність забезпечити контрольований розмір частинок, відповідну вологість кінцевого продукту та стабільність властивостей робить розпилювальну сушарку незамінним інструментом у виробництві сучасних лікарських форм. Її застосування сприяє не лише підвищенню якості, а й полегшує технологічні процеси.

3. Характеристика вхідного матеріалу і готової продукції

Специфіка умов експлуатації обладнання у фармацевтичному виробництві — зокрема вплив агресивних середовищ (органічні речовини, миючі та дезінфікуючі розчини), високих температур, значних перепадів тиску та швидкісного потоку робочих середовищ — зумовлює підвищені вимоги до вибору конструкційних матеріалів для технологічного устаткування.

Однією з ключових вимог до таких матеріалів є висока корозійна стійкість, зважаючи на те, що значна частина середовищ у фармацевтичному виробництві є хімічно активними. Також важливим фактором є стабільність матеріалів під дією органічних речовин, а також їх біологічна інертність.

Під час вибору матеріалів, що безпосередньо контактують із технологічним середовищем, обов'язковим є врахування таких параметрів:

- токсикологічна безпечність;
- наявність дозволів на контакт із фармацевтичними продуктами;
- стійкість до мікробіологічної корозії;
- здатність витримувати високі температури, тиск та дію миючих засобів;
- механічна міцність і зносостійкість;
- економічна ефективність у контексті масового виробництва.

Таким чином, довговічність та надійність роботи обладнання напряму залежить від правильно підібраних матеріалів, особливо в частині зносостійкості та стабільності характеристик в умовах експлуатації.

Для виготовлення розпилювального диска обґрунтовано обрано нержавіючу сталь. Оскільки цей елемент є робочим органом і безпосередньо контактує з продуктом, важливо забезпечити інертність до діючого середовища та збереження властивостей кінцевого продукту. Нержавіюча сталь відповідає цим критеріям, а також має високу корозійну стійкість і гігієнічність.

Корпус сушильної камери доцільно виготовляти зі сталі марки 20. Цей матеріал характеризується достатньою термостійкістю, добрими механічними властивостями, простотою обробки та помірною вартістю, що робить його

економічно доцільним для використання у несучих конструкціях, які не контактують із продуктом.

Загалом, правильний вибір конструкційних матеріалів дозволяє не лише забезпечити стабільну та ефективну роботу апарата, але й продовжити термін його експлуатації та знизити витрати на технічне обслуговування.

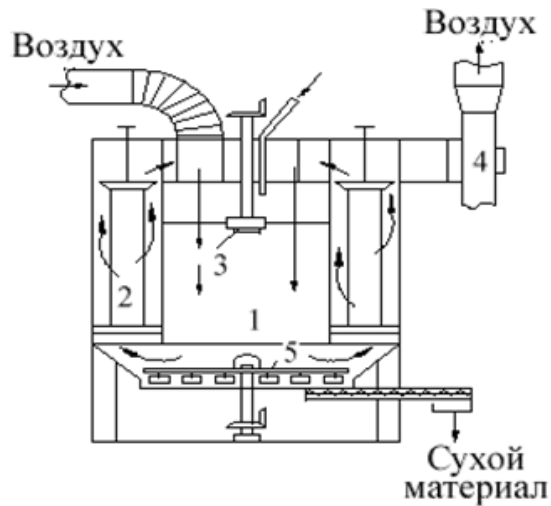
4. Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи обладнання

Розпилювальні сушарки призначені для сушіння рідких і пастоподібних матеріалів шляхом розпилювання їх у потоці гарячого повітря або іншого газу. У розробленому варіанті сушарки процес розпилення здійснюється за допомогою обертового диска. Відомо, що існує багато конструкцій розпилювальних дисків, однак у межах даної роботи запропоновано вдосконалення конструкції з метою підвищення ефективності сушіння.

Оскільки продуктивність сушарки значною мірою залежить від ефективності функціонування розпилювального елемента, запропоновано конструктивну модифікацію тарілчастого диска. Зокрема, передбачено встановлення чотирьох додаткових пластин певної висоти на внутрішню поверхню диска. Ці пластини розташовуються під прямим кутом одна до одної, проте замість прямолінійної форми їм надається плавно заокруглена конфігурація, подібна до символу «П».

Важливою особливістю є орієнтація западини пластин у напрямку, протилежному до обертання диска. Це рішення дозволяє пластинам ефективніше захоплювати поданий на диск матеріал та сприяти його рівномірному розподілу по сушильній камері. Таким чином, реалізація запропонованої конструкції сприятиме покращенню якості розпилення, підвищенню однорідності кінцевого продукту та загальній продуктивності сушильного процесу.

Принцип дії відцентрового розпилювання полягає в тому, що розчин подається на диск, який обертається з високою частотою. Під впливом відцентрової сили рідина переміщується до країв диска, звідки через спеціальні лопатки або сопла розпилюється у сушильну камеру. Частота обертання диска зазвичай становить від 4000 до 20000 обертів на хвилину, а периферійна швидкість може сягати до 200 м/с. Обертання забезпечується за допомогою електричного двигуна або парової турбіни.



Мал. 3 – Сушарка з відцентровим диском

Позначення:

- 1 – сушильна камера;
- 2 – рукавні фільтри;
- 3 – розпилюючий диск;
- 4 – витяжний вентилятор;
- 5 – скребки.

На рисунку 3 представлено схему найпоширенішої розпилювальної сушарки, що працює за принципом паралельного руху газу та частинок продукту. Нагріте повітря подається у верхню частину камери (1), де зустрічається з краплями або частинками речовини, розпиленими за допомогою диска (3), що обертається, або іншого розпилювального пристрою.

Завдяки високому ступеню взаємодії поверхонь між продуктом та гарячим газом, процес сушіння відбувається миттєво – практично «на льоту». Висушений матеріал осідає на дно камери та за допомогою скребків (5) транспортується до розвантажувального пристрою. Витяжний вентилятор (4) видаляє повітря, насичене паром, через рукавні фільтри (2) або іншу систему пиловидалення.

Паралельний рух газового потоку дозволяє використовувати високі температури без ризику перегріву продукту, що сприяє ефективному випаровуванню вологи. Водночас, інтенсивність сушіння (тобто кількість

випареної вологи на одиницю об'єму апарата) є обмеженою через малу масу продукту, що одночасно перебуває в камері.

Однак варто зазначити, що під час експлуатації сушарок цього типу часто спостерігається значне винесення дрібнодисперсного продукту з потоком газу. Для уловлювання таких частинок застосовують циклони, рукавні фільтри або електрофільтри.

5. Вибір конструкційних матеріалів

Фармацевтичне виробництво висуває підвищені вимоги до матеріалів, що застосовуються в конструкції технологічного обладнання. Це обумовлено специфікою експлуатаційних умов, до яких належать агресивне середовище (включно з кислотами, лугами та органічними сполуками), вплив миючих і дезінфікуючих речовин, високі температури, швидкісний рух робочих потоків, різкі перепади тиску та температури. За таких умов вибір матеріалу має вирішальне значення для забезпечення надійності, довговічності та безпечної експлуатації обладнання.

Однією з головних вимог є висока корозійна стійкість, особливо в умовах постійного контакту з агресивними середовищами. Крім того, необхідно враховувати сумісність матеріалу з речовинами, що переробляються, відсутність токсичності, а також дозвіл на застосування в середовищах, пов'язаних із виробництвом лікарських засобів. Значну увагу приділяють і стійкості матеріалів до мікробіологічної корозії, впливу температурних навантажень, тиску та частого миття чи стерилізації.

Не менш важливими залишаються показники міцності та зносостійкості — матеріал повинен витримувати багатократні цикли навантаження без деформацій чи руйнування. Також враховується економічна ефективність його використання та технологічність обробки.

Таким чином, термін експлуатації обладнання безпосередньо залежить від правильно обраних конструкційних матеріалів. Надійність, зносостійкість та стійкість до корозії визначають ресурс машини й ефективність її роботи.

У цьому проекті для виготовлення розпилювального диска, який є основним робочим елементом та контактує з матеріалом, що висушується, обрано нержавіючу сталь. Цей матеріал є інертним до харчових продуктів і не змінює їх хімічних властивостей при контакті, що є критично важливим у фармацевтичному виробництві.

Для виготовлення корпусу сушильної камери доцільно використовувати сталь марки 20. Вона має невисоку собівартість, добре обробляється механічно та витримує підвищені температури. Крім того, деталі з цієї сталі мають низьку чутливість до концентрацій напружень під час динамічних навантажень, що забезпечує додаткову міцність та стійкість під час експлуатації.

6. Розрахункова частина

6.1. Технічний розрахунок

Визначення продуктивності сушильної установки, а також об'єму вологи, що видаляється в процесі, здійснюється шляхом розв'язання рівняння матеріального балансу.

Для розрахунків встановлюються відповідні технологічні параметри сушильного процесу:

Продукт: порошок для інгаляцій

$W=200$ кг/год – продуктивність за випарованою водою;

$\omega_1=85\%$ – Початкова вологість продукту;

$\omega_2=3\%$ – Кінцева вологість продукту;

$t_1=180$ °C – Температура теплоносія на вході;

$t_2=60$ °C – Температура теплоносія на виході;

$n= 20000$ об/хв. – частота обертання диска;

$d= 250$ мм – діаметр розпилювального диска;

$A=2,79$ кг/м² · год - напруга сушарки;

$v =0,5$ м/с – швидкість повітря в камері;

$X=100$ г/л – концентрація початкової суміші;

$\sigma=607 \cdot 10^{-4}$ — Поверхневий натяг розчину;

$\rho_p=1010$ кг/м³ — Щільність суспензії;

$\rho_m=815$ кг/м³ — Щільність висушеного продукту.

$t=95$ °C – температура початкової суміші.

Визначення об'єму сушильної камери

Об'єм сушильної камери розраховується за формулою:

$$V_k = \frac{W}{A} = \frac{200}{2,79} = 71,6 \text{ м}^3$$

Дальність польоту краплі визначається за формулою Гука — Андрєєва:

$$S = \frac{18,7 \cdot r \cdot \rho_m}{c \cdot \rho_B} \ln \frac{\omega_n}{\omega_k}$$

де:

- $r = \frac{d}{2} = 17,25 \cdot 10^{-6}$
- $\omega_k = 0,5$ м/с — гранична швидкість падіння частинок

$$S = \frac{18,7 \cdot 17,25 \cdot 10^{-6} \cdot 815}{0,779} \cdot \ln \frac{368,9}{0,5} = 1,81 \text{ м}$$

Визначення діаметра краплі

Діаметр краплі, яка утворюється внаслідок дії відцентрового розпилювача, визначається за формулою:

$$d = 98,5 \cdot \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\sigma}{R \cdot \rho_p \cdot g}} = 98,5 \cdot \frac{1}{20000} \sqrt{\frac{607 \cdot 10^{-4}}{0,125 \cdot 1010 \cdot 9,81}} = 34,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

де:

$$R = \frac{D}{2} = 0,125 \text{ — радіус диска}$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2 \text{ — прискорення вільного падіння}$$

Початкова швидкість зриву краплі з обода диска визначається з виразу:

$$\omega_n = 1,41 \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = 1,41 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,25 \cdot 20000}{60} = 368,9 \text{ м/с}$$

Щільність повітря при температурі $t_1 = 180^\circ\text{C}$

$$\rho_B = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 180} = 0,779 \text{ кг/м}^3$$

Кінематична в'язкість повітря при температурі $t = 180^\circ$

$$\nu_B = 28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{\omega_n \cdot d}{\nu_B} = \frac{368,95 \cdot 35 \cdot 10^{-6}}{28 \cdot 10^{-6}} = 460$$

За значенням $\text{Re} \approx 460$, приймаємо коефіцієнт опору середовища: $c = 1$

6.2 Кінематичний розрахунок

Після розрахунку ключових параметрів сушіння та довжини струменя крапель у сушильній камері виконуємо кінематичний розрахунок конструктивних розмірів сушильної башти.

1. Діаметр сушильної камери

Для забезпечення ефективного сушіння та достатнього часу перебування частинок у камері, діаметр сушарки визначаємо як:

$$D=2,5 \cdot S=2,5 \cdot 2=5\text{ м} ; \text{ Приймаємо } D = 5 \text{ м.}$$

Попередній розрахунок геометричних параметрів камери

Висоту циліндричної частини сушарки попередньо приймаємо $H_1 = 1$ м. Тоді її

$$\text{об'єм: } V_{ц} = \pi \cdot r^2 \cdot H = 3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 1 = 19,6\text{ м}^3$$

Об'єм, який припадає на конічну частину сушарки:

$$V_{\text{кон}}=V_k-V_{ц}=71,6-19,6=52,0\text{ м}^3$$

Висоту конуса знаходимо з рівняння об'єму конічної частини:

$$V_{\text{кон}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{12} = h_{\text{кон}} = \frac{12 \cdot V_{\text{кон}}}{\pi \cdot D} = \frac{52 \cdot 12}{3,14 \cdot 25} = 7,94\text{ м}$$

Загальна висота башти у цьому варіанті складе:

$$H=H_1+h_{\text{кон}}=1+7,94=8,94\text{ м}$$

3. Уточнення висоти башти за емпіричним співвідношенням

Щоб гарантувати належне розширення та розподіл повітряного потоку,

застосовуємо емпіричне співвідношення:

$$H_0=1,25 \cdot D=1,25 \cdot 5=6,25\text{ м};$$

Виконаємо перерахунок для отримання висот з урахуванням цієї загальної висоти. Вважаючи:

$$V_k = V_{ц} + V_{\text{кон}} = 3,14 \cdot 2,5^2 (6,25 - h) + \frac{3,14 \cdot 5^2 \cdot h}{12}$$

Підставимо відомі значення:

$$71,6=3,14 \cdot 6,25(6,25-h_{\text{кон}})+6,54 \cdot h_{\text{кон}} \Rightarrow 71,6=122,65-19,625 \cdot h_{\text{кон}}+6,54 \cdot h_{\text{кон}}$$

$$\Rightarrow 71,6=122,65-13,085 \cdot h_{\text{кон}} \Rightarrow h_{\text{кон}} = \frac{122,65-71,6}{13,085} = 3,9\text{ м}$$

Тоді висота циліндричної частини:

$$h_{ц} = 6,25 - 3,9 = 2,35 \text{ м}$$

Потужність на обертання розпилювального диска

Потужність обертання диска без урахування ККД приводу визначаємо за формулою Кука:

$$N = \frac{(1,5 \cdot U_2)^2 \cdot G_0}{2 \cdot g \cdot 75 \cdot 3600} = \frac{(1,5 \cdot 125,5)^2 \cdot 427}{2 \cdot 9,81 \cdot 75 \cdot 3600} = 2,86 \text{ к. с.} = 2,1 \text{ кВт.}$$

де:

$U_2 = 125,5 \text{ м/с}$ — колова швидкість диска,

$G_0 = 427 \text{ кг/год}$ — продуктивність по суспензії.

З урахуванням ККД передаточного механізму:

$$\eta_{заг} = \eta_{муфти} \cdot \eta_{підшипників}^6 \cdot \eta_{кос. \text{ передачі}} = 0,995 \cdot 0,994^6 \cdot 0,93 \approx 0,89$$

Тоді потужність на валу двигуна:

$$N_1 = \frac{2,1}{0,89} = 2,36 \text{ кВт.}$$

Приймаємо електродвигун із запасом:

- Тип двигуна: 4А100А2У3
- Потужність: 3 кВтЗ
- Частота обертання: $n = 2850 \text{ об/хв}$
- ККД: $\approx 82\%$

Оцінка питомої поверхні частинок

Для перевірки достатності площі випаровування у камері визначаємо поверхню частинок на виході:

$\rho_2 = 620 \text{ кг/м}^3$ — щільність висушеного порошку;

$$d = 35 \mu\text{м} = 35 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Для визначення продуктивності сушарки за масою висушеного продукту використовується розрахунок балансу вологи.

$$(1010 - X) + \frac{X(100 - \omega_2)}{(100 - \omega_1)} = (1010 - 100) + \frac{100(100 - 85)}{(100 - 3)} = 910 + 15,46 = 925,46$$

кг

/год

Визначення продуктивності сушарки за початковою масою суспензії на основі

пропорційного співвідношення.

1010-925,46кг/год

$$G_1 - W \text{ кг/год, звідси: } G_1 = \frac{1010 \cdot W}{925,46} = \frac{1010 \cdot 200}{925,46} = 218,26 \text{ кг/год.}$$

Масова витрата сухого продукту:

$$G_2 = G_1 - W = 218,26 - 200 = 18,26 \text{ кг/год}$$

Тоді загальна поверхня частинок:

$$F_k = \frac{6 \cdot G_2}{\rho_2 \cdot d} = \frac{6 \cdot 18,26}{620 \cdot 35 \cdot 10^{-6}} = \frac{109,56}{0,0217} = 0,05 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{год}$$

6.3.Теплотехнічний розрахунок

Розрахунок почнемо з визначення теплотехнічної напруги об'єму сушильної камери за кількістю випареної вологи. Вона задається виразом:

$$A = 3600 \frac{\alpha_v \cdot \Delta t_{cp}}{r}, \text{де:}$$

α_v — об'ємний коефіцієнт теплообміну, Вт/(м³·°С),

Δt_{cp} — середня температурна різниця між повітрям і матеріалом, що висушується, °С,

r — питома теплота випаровування вологи, кДж/кг.

Коефіцієнт α_v – визначається як:

$$\alpha_v = \alpha \frac{F_k}{V_k},$$

де α_v – коефіцієнт тепловіддачі від гарячого повітря до поверхні рідких частинок. Його розрахунок здійснюється за формулою Вирубова:

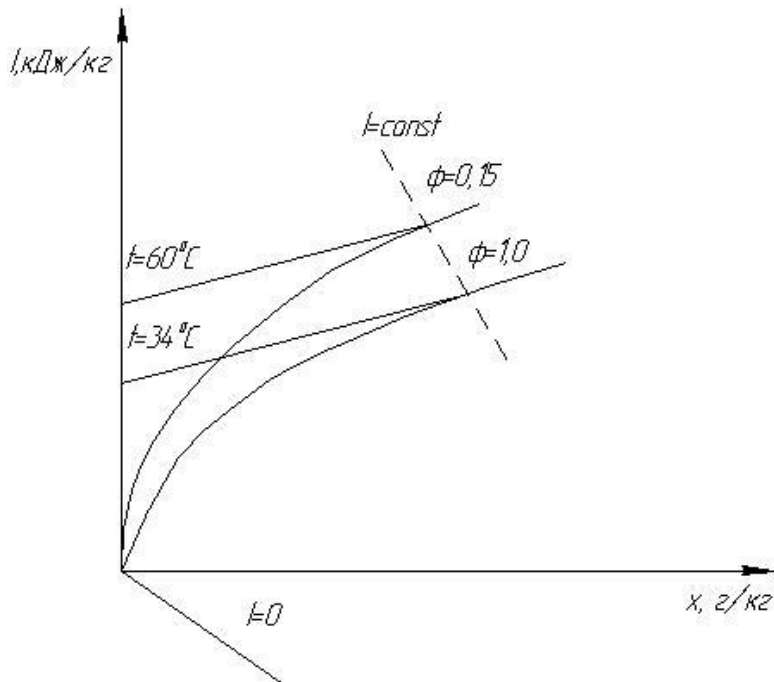
$$Nu = 0,54 \cdot Re^{0,5} = 0,54 \cdot 460^{0,5} = 11,6$$

$\lambda_{180} = 0,01357$ Вт/(м·град); та діаметра краплі $d=35 \cdot 10^{-6}$ м, отримаємо:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{180}}{d} = \frac{11,6 \cdot 0,01357}{35 \cdot 10^{-6}} = 4497 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{град);}$$

З урахуванням нових значень площі та об'єму:

$$\alpha_v = \alpha \frac{F_k}{V_k} = 4497 \frac{0,05 \cdot 10^5}{71,6} = 3139 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{град);}$$



Графік визначення температури мокрого термометра

Середню різницю температур визначимо за логарифмічною формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_n - t_k}{2,3 \cdot \lg \frac{t_n - t_M}{t_k - t_M}} = \frac{180 - 60}{2,3 \lg \frac{146}{26}} = \frac{120}{1,7204} = 69,75^\circ\text{C}$$

Температура мокрого термометра (і відповідно матеріалу) приймається рівною $t_M = 34^\circ\text{C}$.

Питома теплота випаровування при цій температурі: $r = 2332 \text{ кДж/кг}$

Тоді:

$$A = 3600 \frac{\alpha_v \cdot \Delta t_{cp}}{r} = 3600 \frac{4079 \cdot 69,75}{2332 \cdot 10^3} = 439 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{год)}.$$

Отримане значення $A = 439 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{год)}$ не можна вважати достовірним, тому в подальших розрахунках необхідно врахувати усереднений коефіцієнт тепловіддачі, який є істотно меншим за первинно визначене значення. Таке зниження пояснюється утворенням твердої плівки на поверхні крапель, що ізолює внутрішню рідку частину від навколишнього середовища. Додатково впливають зменшення температури в зоні розпилення та інші теплотехнічні чинники.

Розрахунок середнього коефіцієнта тепловіддачі проводимо, виходячи з аналітичного виразу, що характеризує швидкість випаровування в умовах сушіння.

$$\frac{W}{F_\tau} = \frac{\alpha_{cp}}{r} (t_B - t_a).$$

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{12} \cdot \rho$$

За узагальненими даними численних досліджень, тривалість сушильного процесу знаходиться у межах 2–4 секунд. Для практичних цілей приймаємо час контакту частинок з гарячим повітрям рівним 2 секундам. У розрахунковій зоні факела температура повітря становить $t_{II}=100^\circ\text{C}$, а температура рідкого середовища — $t_p=60^\circ\text{C}$. Питома теплота пароутворення при таких умовах дорівнює $r_{100}=2262,6$ кДж/кг

$$\frac{\pi \cdot d^3 \cdot 1010 \cdot 2}{12 \pi \cdot d^2} = \frac{\alpha_{cp}}{2262,6 \cdot 10^3} (100 - 60); \quad \frac{d \cdot 1010}{6} = \frac{40 \cdot \alpha_{cp}}{2262,6 \cdot 10^3}$$

$$\alpha_{cp} = \frac{35 \cdot 10^{-6} \cdot 1010 \cdot 2262,6 \cdot 10^3}{6 \cdot 40} = 333 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{град}).$$

З використанням цих параметрів обчислюємо уточнений коефіцієнт тепловіддачі.

$$\alpha_v = \alpha_{cp} \frac{F_k}{V_k} = 333 \frac{0,48 \cdot 10^5}{29,4 \frac{3600}{2}} = \frac{15984000}{52920} = 302 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{град}).$$

Прийнявши $\Delta t_{cp} = 69,75^\circ\text{C}$ розрахуємо:

$$A = 3600 \frac{\alpha_v \cdot \Delta t_{cp}}{r} = 3600 \frac{302 \cdot 69,75}{2332 \cdot 10^3} = \frac{75832200}{2332000} = 32,5 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}).$$

$A=32,5$ кг/(м³·год), що більше прийнято заданому $A=8,5$ кг/(м³·год).

Далі перевіримо коректність прийнятого часу сушіння, застосувавши рівняння, запропоноване Г.К. Філоненком та П.Д. Лебедєвим.

$$\tau = \frac{600 \cdot Q \cdot \rho_p \cdot d}{\alpha \cdot \Delta t_{cp} G_1} = \frac{600 \cdot 619296 \cdot 1010 \cdot 35 \cdot 10^{-6}}{333 \cdot 69,75 \cdot 427} = \frac{13125268}{9917822,25} = 1,32c \approx 2c.$$

Кількість теплоти, яка передається від сушильного агента до висушуваного матеріалу, визначається за формулою теплового балансу і є ключовою величиною для подальших розрахунків енергоспоживання установки.

$$Q = \alpha_v \cdot \Delta t_{cp} \cdot V_k = 302 \cdot 69,75 \cdot 29,4 = 619296 \text{ ккал/год.}$$

Для визначення питомих витрат пари, необхідної на процес сушіння, приймається робочий тиск пари на рівні 8 атмосфер. За таких умов ентальпія пари становить $i=662$ ккал, а температура конденсату дорівнює $\Theta=100^\circ\text{C}$. Виходячи з цього, розрахункові витрати пари, необхідні для випаровування 1000 кг вологи на годину, становлять:

$$D = \frac{Q}{i - \Theta} = \frac{619296}{662 - 100} = 1186 \text{ кг/год.}$$

Звідки:

$$D_{\text{витрат}} = \frac{D}{W} = \frac{1186}{250} = 4,7 \text{ кг/кг.}$$

З огляду на конструктивні особливості сушильної башти, яка характеризується значними габаритами, припускається, що теплові втрати у навколишнє середовище досягають 25% від загальної кількості тепла. Таким чином, скоригована мінімальна витрата пари з урахуванням додаткових втрат становить:

$$D_{\text{ннт}} = 4,7 + 4,7 \cdot 0,25 = 5,87 \text{ кг/кг.}$$

Розрахунок теплоізоляції

Теплоізоляція є важливою складовою системи енергозбереження, яка дозволяє значно знизити тепловтрати обладнання та скоротити витрати палива. З позиції охорони праці та техніки безпеки, ефективна теплоізоляція забезпечує зменшення температури поверхонь до безпечного рівня, що запобігає ризику опіків у персоналу та знижує загальне теплове навантаження на виробничі приміщення.

Товщина теплоізоляційного покриття підбирається так, щоб температура зовнішньої поверхні не перевищувала нормативне значення 50°C .

Для апаратів із діаметром понад 3 метри товщину ізолюючого шару доцільно визначати за формулою, що враховує допустимі теплові втрати:

$$\delta = \frac{\lambda(t_1 - t)}{q_B}, \text{ де}$$

t_1 – температура під ізоляцією (звичайно приймають рівною температурі теплоносія), $t_1=180^{\circ}\text{C}$;

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

q_B — гранична величина теплових втрат з 1 м^2 поверхні, $q_B=162 \text{ Вт/м}$ при $t=180^{\circ}\text{C}$;

λ – коефіцієнт теплопровідності азбесту, $\lambda=0,151 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Тоді:

$$\delta = \frac{0,151(180 - 20)}{162} = 0,149 \text{ м} = 149 \text{ мм.}$$

6.4. Енергетичний розрахунок

Розрахунок енергоспоживання, необхідного для обертання диска у дисковій сушарці, виконується за формулою:

$$N = \frac{(k_0 \cdot D^2 \cdot \omega_k + 0,37 \cdot G_{\text{вих}}) \cdot 10^{-4} \cdot \omega_k}{\eta_M},$$

k_0 — дослідно встановлений коефіцієнт, який залежить від типу сушарки та режиму роботи (в межах 35...55);

D — діаметр розпилювального диска, м;

ω_k — колова швидкість обертання диска, м/с;

$$\omega_k = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,25 \cdot 20000}{60} = 262 \text{ м/с.}$$

$G_{\text{вих}}$ — продуктивність сушарки за вихідним матеріалом, кг/год.

$\eta_i = 0,89$

Тоді:

$$N = \frac{(35 \cdot 0,25^2 \cdot 262 + 0,37 \cdot 427) \cdot 10^{-4} \cdot 262}{0,89} = 21,5 \text{ кВт.}$$

6.5. Розрахунок допоміжних пристроїв та їх вибір

Визначення витрат повітря та підбір вентилятора

Для забезпечення ефективного процесу сушіння необхідно визначити кількість повітря, яке слід подати в сушильну башту. Розрахунок об'єму повітря виконується за формулою:

$$L = W \cdot l$$

l – питомі витрати повітря, які дорівнюють:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1}.$$

x_2 і x_1 – вологовміст повітря на вході в башту(після калорифера) і на виході з башти, кг/кг.

Для літнього періоду за кліматичними умовами м. Київ беруться наступні параметри: $t_0=17,5^{\circ}\text{C}$; $\varphi_0 = 78\%$; на вході в башту $t_1=180^{\circ}\text{C}$; $x_1=0,008$ кг/кг; на виході з башти $t_2=60^{\circ}\text{C}$; $\varphi_0 = 15\%$; $x_2=0,037$ кг/кг

$$x_2 = 0,622 \frac{\varphi \cdot p_{\text{нас}}}{P - \varphi \cdot p_{\text{нас}}} = 0,622 \frac{0,15 \cdot 289,1}{760 - 0,15 \cdot 289,1} = 0,037$$

0,622 – відношення молярних мас водяної пари і повітря;

φ – відносна вологість, в долях одиниці;

P – загальний тиск суміші, мм.рт.ст;

$p_{\text{нас}}$ – тиск насиченої водяної пари при заданих P і t .

Отже:

$$l = \frac{1}{0,037 - 0,008} = 34,5 \text{ кг/кг.}$$

Звідси

$$L = W \cdot l = 250 \cdot 34,5 = 8625 \text{ кг/год.}$$

Об'єм витрачаємого вологого повітря:

$$V_{нов} = L \cdot V_{пит} = \frac{29,27 \cdot (273 + t_0)}{10000 - \varphi_0 p_{нас}} = 8625 \frac{29,27(273 + 17,5)}{10000 - 0,78 \cdot \frac{15 \cdot 10000}{735}} = 7452 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$V_{пит}$ – питомий об'єм повітря, м³/кг;

t_0 – температура навколишнього повітря, °С;

φ_0 – відносна вологість навколишнього повітря;

Параметри вентилятора визначаються на основі об'єму переміщуваного повітря $V_{пов}$ та потрібного тиску. Для розрахунку останнього враховується довжина траси повітропроводу: від фільтра до сушильної камери – 5 м, від башти до вентилятора – 25 м. Висота підйому – 7 м.

Повітропровід прямокутного перерізу (800×800 мм) має площу:

$$f = 0,64 \text{ м}^2;$$

Швидкість повітря визначається з рівняння витрат:

$$V_{нов} = 3600 \cdot \omega \cdot f \text{ м}^3/\text{год.}$$

Звідси

$$\omega = \frac{V_{нов}}{3600 \cdot f} = \frac{7452}{3600 \cdot 0,64} = 3,2 \text{ м/с.}$$

Масова частка матеріалу у потоці визначається співвідношенням витрат повітря до подачі речовини.

$$\mu = \frac{G_{mat}}{Q_{нов}} = \frac{177}{8625} = 0,021$$

Приймаємо наступні місцеві опори:

Фільтраційної батареї 120мм.вод.ст.;

Калорифера 200мм.вод.ст.;

На вході в трубу $\Sigma \xi = 0,5 \cdot 2 = 1$;

На виході з труби $\Sigma \xi = 0,5 \cdot 2 = 1$;

При повороті (6 шт.) $\Sigma \xi = 0,15 \cdot 6 = 0,9$;

В циклонах (4 шт.) $60 \cdot 4 = 240$ мм.вод.ст.;

$$\text{При різкому розширенні } \xi = \left(1 - \frac{f_1}{f_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,64}{0,785 \cdot 5^2}\right)^2 = 0,98.$$

Повна втрата тиску розраховується за формулою, яка прийнята для систем пневмотранспорту:

$$H_{\text{тр.см}} = H_{\text{ч.в.}}(1 + k\mu) + L_{\text{п}}\mu \cdot \gamma_B = 571(1 + 0,75 \cdot 0,021) + 7 \cdot 0,021 \cdot 1 = 580 \text{ мм.вод.ст.}$$

Де

$$H_{\text{ч.в.}} = R \cdot l + \sum \xi \frac{\omega^2 \gamma_B}{2g} = 0,3 \cdot 30 + (1 + 1 + 0,9 + 0,98) \frac{3,2^2 \cdot 1}{2 \cdot 9,81} = 11 + 120 + 200 + 240 = 571 \text{ мм.вод.ст}$$

k – коефіцієнт, що залежить від μ , 0,75;

l – довжина повітропроводу, 30м;

$L_{\text{п}}$ – висота підйому продукту, 7м;

μ – масова концентрація продукту, 0,021;

γ_B – питома вага повітря, 1 кгс/м³;

ω – швидкість повітря в повітропроводі, 3,2м/с.

З урахуванням додаткових втрат у розмірі 20%, загальний необхідний тиск визначається з відповідним коефіцієнтом запасу.

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{тр.см.}} \cdot 1,2 = 580 \cdot 1,2 = 696 \text{ мм.вод.ст.}$$

Для забезпечення зазначених характеристик обирається відцентровий вентилятор ВМ–40/750, що виробляється Подільським заводом. Параметри: витрата повітря – 40000 м³/год, тиск Н – 772 мм вод. ст., потужність N – 140 кВт, ККД $\eta = 69\%$. Рекомендовано використання електродвигуна типу ДАМ6-144-4 потужністю 155 кВт. Необхідна витрата досягається регулюванням мережевого опору.

Розрахунок калорифера

Повітря нагрівається за допомогою групи калориферів типу ГСТМ, які мають високий живий переріз та значну теплопередавальну площу.

Калориферна установка підбирається з урахуванням зимових температур. За умов температури зовнішнього повітря -6,8°С та кінцевої температури 180°С необхідно нагріти 8625 кг/год повітря.

Теплоносієм виступає водяна пара при температурі $t_p=199,9^\circ\text{C}$. Приймається схема: 4 калорифери в ряду, 2 ряди послідовно. Необхідна характеристика калорифера визначається:

$$C_n = \frac{G^{1-M}(t_k - t_H)}{\left(t_n - \frac{t_k + t_n}{2}\right) \cdot x^{1-M} y} = \frac{8625^{1-0,297}(180 - 6,8)}{\left(199,6 - \frac{180 + 6,8}{2}\right) \cdot 4^{1-0,297} 2} = 180$$

де $M=0,297$ — коефіцієнт калорифера ГСТМ.

За отриманими параметрами підходить калорифер типу ГСТМ 7Б7. Живий переріз одного елемента — $0,2 \text{ м}^2$. Сумарний опір системи встановлено дослідним шляхом.

$$h = 0,825(\omega \cdot \gamma)^{1,975} y = 0,825 \left(\frac{8625 \cdot 1}{3600 \cdot 0,2 \cdot 4} \right)^{1,975} \cdot 2 = 14 \text{ кгс} / \text{м}^2.$$

Розміри ГСТМ 7Б7:

висота×ширина×товщина $776 \times 772 \times 160 \text{ мм}$.

Розрахунок габаритів усієї батареї виконується з урахуванням конструктивних зазорів і монтажних вимог.

Висота $776 \times 2 = 1,552 \text{ м}$;

Ширина $772 \times 2 = 1,554 \text{ м}$;

Товщина $160 \times 2 = 0,32 \text{ м}$.

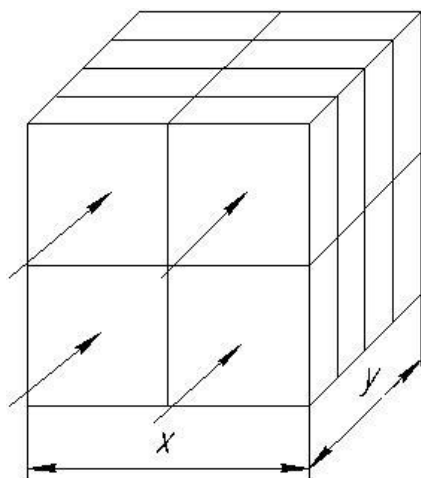


Схема батареї калорифера

Вибір циклонів

Для виділення порошкоподібної фази з повітряного потоку передбачено встановлення 4 циклонів. Продуктивність одного циклона визначається виходячи з загального потоку та кратності поділу.

$$V_{\text{пов}}/4=7452/4=1863\text{м}^3/\text{год.}$$

Об'єм бункера для збирання висушеного порошку оцінюється на основі емпіричного співвідношення: на кожні 100 м³ об'єму сушильної камери приходить 5 м³ об'єму бункера. За цими даними знайдемо:

$$V_{\text{бунк}} = \frac{V_k \cdot 5}{100} = \frac{29,4 \cdot 5}{100} = 1,5 \text{ м}^3.$$

Бункер має форму зрізаного конуса, що полегшує вивантаження порошку.

Економічний розрахунок калорифера

Погодинна потреба у парі визначається з теплового балансу:

$$D = 1186 \cdot 1,25 = 1482,5 \text{ кг/год.}$$

У перерахунку на умовне паливо ($i_{\text{ум}}=7000 \cdot 4190 \text{Дж/кг}$):

$$\frac{1482,5 \cdot 662 \cdot 4190}{7000 \cdot 4190} = 140 \text{ кг/год умовного палива або } \frac{140}{1,63} = 86 \text{ кг/год}$$

При густині газу $\rho_{\text{газу}} = 0,75 \text{ кг/м}^3$ та тарифі 1 грн/м³ отримуємо вартість витрат газу для випаровування 1000 кг/год вологи:

$$1 \frac{86}{0,75} = 115 \text{ грн.}$$

Таким чином, орієнтовна експлуатаційна вартість становить 115 грн за годину роботи сушильної установки.3

7.Монтаж, експлуатація, ремонт і наладка сушильної установки

7.1 Монтаж сушильної установки

Перед початком монтажу сушарки проводять розмітку монтажних осей. Визначають розташування контрольної точки О–вертикальної осі сушильної башти, до якої прив'язують стовпчики фундаментів під опори каркаса башти та циклонів.

Монтаж сушарки ключає такелажні, зварювальні та монтажно-збірні роботи, що здійснюються на різних рівнях висоти. Під час встановлення розпилювача, з частотою обертання диска 20000 об/хв, необхідна висока точність, що ускладнює процес і вимагає участі кваліфікованих монтажників. Тому монтажні та налагоджувальні роботи виконуються під контролем шеф персоналу.

Згідно з розміткою споруджують стовпчастий фундамент для каркасу сушильної башти і циклону. Спершу на встановлені стовпчики монтують вертикальні стійки каркасу, після чого встановлюють обслуговуючий майданчик і сіддці з перилами.

Сушильно башту збирають з окремих елементів, з'єднуючи їх болтами. Стики листів з нержавіючої сталі зварюють, після чого шви шліфують наждачними кругами, полірують войлочними та натирають натерчатими кругами з використанням пасти ГОИ. Завершальне доведення здійснюють за допомогою спеціального крейдяного порошку. На перекритті башти монтують спіральний повітророзподільвач.

На окремому майданчика, що встановлений на стійках, закріплюють батарею циклонів і розвантажальний циклон, який приєднують до повітряного трубопроводу. До дна сушильної башти кріплять шнек для вивантаження готової продукції та скребковий механізм. До нижньої кінчної частини циклонів встановлюють шлюзові затвори, до яких під'єднують трійників для відсмоктувального повітря. Повітряний фільтр підключають до всоктувальної магістралі.

Транспортний вентилятор розміщують на підлозі цеху під сушильною баштою та з'єднують його з циклонами через повітропроводи. Витяжний вентилятор встановлюють на перекритті башти—його всмоктувальний патрубок з'єднують з вхідними патрубками циклонів, а нагнітаючий—з повітропроводом, що веде назовні.

На підлозі виробничого приміщення монтують повітряний фільтр, нагнітальний вентилятор та повітрянагрівач. До нагрівача підводять парову лінію з відводом конденсату, використовуючи конденсатовідвідник і обвідну лінію. Забезпечується необхідний ухил для конденсатопроводу та вільний доступ до конденсатовідвідника для обслуговування. Між нагрівачем і повітродозподільною спіраллю монтується теплоізолюваний повітропровід для гарячого повітря. Вентилятор закріплюють на рамі через гумові амортизатори, а нагрівач— на підкладках.

Ущільнення з'єднань виконують прокладками: паронітовими—для трубопроводів пари та конденсату, а також з негорючого картону або синтетичного волокна—для гарячого повітря.

На перекритті башти встановлюють монорельс з талью для демонтажу та очищення розпилювача при потребі.

На підлозі цеху монтують зрівняльний бак для порошків для інгаляції і насос з регульованою подачею продукту до сушарки. Потім за допомогою талі через перекриття башти монтують трубопровід для транспортування порошків для інгаляції від насоса до розпилювального диска.

На завершальному етапі на нульовій відмітці встановлюють пульт управління та монтують контрольно-вимірювальні прилади.

7.2 Експлуатація і обслуговування сушильної установки

Перед початком роботи апаратчик має переконатися в наявності парової магістралі з необхідним тиском, справності всіх компонентів сушарки,

герметичності порошка трубопроводів, а також у наявності мастила в зонах тертя.

Перед запуском необхідно продути повітряні трубопроводи та прогріти сушильну башту. Для цього головний витяжний вентилятор вмикають на 2-3 хвилин. Після його зупинки очищають дно башти від підгорілих залишків порошка, що могли потрапити з повітропроводів.

Далі здійснюється підігрів башти до температури 170-180 °С

Гарячим повітрям. Для цього зачиняють двурі сушильної башти, забезпечуючи її герметичність, відкривають вентилялі на обвідній лінії конденсатовідвідників для продувки та поступово подають пару в повітронагрівач. Після нагріву повітря вентилялі на обвідній лінії закривають, запускають нагнітальний вентилятор і здійснюють прогрів башти.

Після досягнення потрібної температури вмикають привід розпилювального диска і насос, що подає порошок на диск. Під час експлуатації сушарки контролюють ступінь висушування порошка. Наявність крапель на внутрішніх стінках башти свідчить про недостатній рівень сушіння продукту.

7.3 Робота установки та її зупинка

Хід процесу контролюється за допомогою приладів, розміщених на пульті керування, а також через оглядове вікно, встановлене в дверях сушильної башти. Під час нормальної роботи розпиленні порошок не повинні торкатися стінок башти. При стабільному факелі розпилу та направленні частинок на дно башти вмикають турнікети, витяжний і транспортний вентилятори.

Під час функціонування установки здійснюється постійний контроль за:

- Тиском пари у калорифері,
- Роботою розпилювального механізму,
- Температурою повітря на виході з калорифера та сушильної башти,
- Вологістю повітря,
- Температурою порошкової маси, яка надходить на сушіння,
- Якістю готового сухого порошка

Згідно з нормативами, ефективна тривалість роботи розпилювальної сушарки протягом доби встановить 20 годин, що відповідає щонайменше 2,5 змін. Після цього установку зупиняють.

Зупинка сушарки починається з подачі сигналу до котельні для припинення подачі пари. Потім припиняється подача порошка для інгаляції на розпилювальний диск шляхом вимкнення насоса та приводу диска. Далі перекривають подачу пари до калорифера, відчиняють двері сушильної камери та охолоджують її, подаючи за допомогою витяжного вентилятора.

Після охолодження внутрішні стінки башти очищують за допомогою щіток, обгорнутих стерилізованою марлею. Особливу увагу приділяють повітродозподільчій головці, оскільки на ній накопичується значна кількість порошка.

Трубопровід для порошка для інгаляцій, а також насос подачі порошка у танк промивають. Розпилювальний диск періодично знімають, очищають від залишків порошку, промивають і ретельно висушують.

7.4 Ремонт сушильної установки

Під час ремонту сушильної установки для виготовлення порошку для інгаляцій розпилювальний блок з приводом, шнековий, скребковий та просіювальний механізми, а також пневмотранспортер, циклони, шлюзові затвори та інше обладнання демонтуються і обслуговуються відповідно до інструкцій виробників обладнання.

Підшипники валів головного вентилятора та вентилятора охолоджувального повітря замінюються. Після повторного монтажу обов'язково проводиться центрування валів вентилятора з електродвигуном. У разі ремонту повітропроводів їх розбирають по секціях, виправляють геометрію, змінюють ущільнення, відновлюють теплоізоляцію і здійснюють повторну збірку.

Для обслуговування повітрянагрівача (калорифера) його від'єднують від паропроводу та лінії відведення конденсату, демонтують. Зовнішні частини трубок та пластин очищують стисненим повітрям, а при значному забрудненні — промивають розчином кальцинованої соди. Всі секції перевіряються

гідралічним методом. Трубки з пошкодженнями в трубних решітках видаляються, а отвори герметизуються зварюванням. Внутрішні поверхні очищаються залежно від типу відкладень: концентрованими лужними розчинами, соляною кислотою або сироватковими сумішами. Після складання нагрівальну систему випробовують парою під робочим тиском. У випадку повної заміни нагрівача, новий агрегат має відповідати за площею теплопередачі.

Під час ремонту парового колектора його від'єднують від магістралі пари, закривають заглушками, демонтують усі вентиля. У разі потреби виконують обробку клапанів і сідел вентилів – проточування та притирку. Конденсатовідвідник демонтується, ремонтується і встановлюється повторно; за потреби обслуговуються вентиля обвідної лінії.

Після ремонту всі вузли та агрегати сушарки підлягають випробуванням відповідно до норм і рекомендацій, наведених у технічній документації виробника.

8. Технологічний маршрут виготовлення деталі

В даному розділі я розробив технологічний маршрут виготовлення запропонованої мені деталі – напівмуфти приводу розпилювального диска, підібрав та необхідний інструмент, обладнання і режими різання для її виготовлення

8.1 Вибір заготовки і розрахунок припусків

В якості заготовки обираємо виліток виготовлений литтям в кокіль. Розрахунок загального припуску заготовки ведемо за найточнішим розміром $\varnothing 30H7$.

Припуск на чистове точіння:

$$2Z_{2\max} = 2(Rz_1 + D_1 + \sqrt{T_{np_1}^2 + \varepsilon_{y_2}})$$

де Rz_1 , D_1 , T_{np_1} – відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та сумарне значення просторових похибок при чорновому точінні; ε_{y_2} – похибка установлення деталі при чистовому точінні. З таблиці вибираємо :

$$Rz_1 = 50 \text{ мкм}, D_1 = 50 \text{ мкм}$$

При установленні деталі у патрон з центром $T_{np_1} = 100 \text{ мкм}$.

Під час оброблення деталі в центрах $\varepsilon_{y_2} = 0$.

Тоді:

$$2Z_{2\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{100^2 + 0}) = 200 \text{ мкм}$$

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

де T_2 – допуск при чистовому точінні; $T_2 = IT11 = 160 \text{ мкм}$; T_1 – допуск при чорновому точінні, $T_1 = IT13 = 390 \text{ мкм}$.

$$2Z_{2\max} = 200 + 390 - 160 = 430 \text{ мкм}$$

$$2Z_{2\text{ном}} = \frac{2Z_{2\max} + 2Z_{2\min}}{2} = \frac{430 + 200}{2} = 315 \text{ мкм}$$

Припуск на чорнове точіння:

$$2Z_{1\max} = 2(Rz_0 + D_0 + \sqrt{T_{np_0}^2 + \varepsilon_{y_1}^2})$$

де Rz_0 , D_0 , $T_{пр0}$ – відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та сумарна просторова похибка поковки; ϵ_{y1} – похибка установлення деталі при чорновому точінні.

Для заготовок масою до 4 кг (табл.6) $Rz_0=160$ мкм, $D_0=200$ мкм; $T_{пр0}=1,2$ (табл.7)

Під час установлення деталі в патрон з центром $\epsilon_{y1} = 100$ мкм

Тоді:

$$2Z_{1\max} = 2(160 + 200 + \sqrt{1200^2 + 100^2}) = 3128 \text{ мкм}$$

Загальний припуск матеріалу

$$2Z_{\text{сум}} = \sum_1^x 2Z_{\text{ном}} = 315 + 3128 = 3443 \text{ мкм}$$

Приймаємо $2Z_{\text{сум}} = 4\text{мм}$

Коефіцієнт використання матеріалу.

$$K_M = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{заг}}} = \frac{2,7}{3,1} = 0,87$$

де $M_{\text{дет}}$, $M_{\text{заг}}$ – маса відповідно деталі та заготовки.

8.2 Технологічний маршрут виготовлення деталі

Номер операції, переходу	Назва операції, переходу	Технологічне обладнання, пристрої, інструментоброблювальний, контрольний
1	2	3
10	Заготівельна (УЗЗ)	Сталь 45Л ГОСТ 977-75
10.1	Відлити заготовку	Виливок
20	Токарна (УЗЗ)	Токарно-гвинторізний верстат 16К20, 3-х кулачковий патрон
20.1	Торцювати пов.1 $z=1\text{мм}$	Різець прохідний відігнутий правий Т15К6, $\varphi = 45^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; В х Н х L = 16 х 25 х 140 мм, ШЦ-1
20.2	Точити пов.2 $\varnothing 146\text{мм}$, на довжину $l=34\text{мм}$ начорно	Різець прохідний відігнутий правий Т15К6, $\varphi = 45^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; В х Н х L = 16 х 25 х 140 мм, ШЦ-1
30	Токарна (УЗЗ)	Токарно-гвинторізний верстат 16К20, 3-х кулачковий патрон
30.1	Торцювати пов.1 $z=1\text{мм}$	Різець прохідний відігнутий правий Т15К6, $\varphi = 45^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; В х Н х L = 16 х 25 х 140 мм, ШЦ-1
30.2	Точити пов.2 $\varnothing 60\text{мм}$, на довжину $l=32\text{мм}$ начорно	Різець прохідний упорний правий Т15К6, $\varphi = 90^\circ$; $\gamma = 12^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; В х Н х L = 16 х 25 х 140 мм, ШЦ-1

30.3	Торцювати пов.3 $z=1\text{мм}$	Різець прохідний упорний правий Т15К6, $\varphi = 90^\circ$; $\gamma = 12^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; В х Н х L = 16 х 25 х 140 мм, ШЦ-1
30.4	Точити пов.4 $\varnothing 138\text{мм}$, на довжину $l=3\text{мм}$ начорно	Різець розточувальний для глухих отворів Р6М5

30.5	Зняти фаску $1,6 \times 45^0$ пов.5	Різець прохідний відігнутий правий Т15К6, $\varphi = 45^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; В х Н х L = 16 х 25 х 140 мм, ШЦ-1
30.6	Розсвердлилити отвір до $\varnothing 30\text{ H7}$ пов.6	Свердло $\varnothing 28$, Р6М5
30.7	Зняти фаску $1,6 \times 45^0$ пов.7	Різець прохідний відігнутий правий Т15К6, $\varphi = 45^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; В х Н х L = 16 х 25 х 140 мм, ШЦ-1
30.8	Зенкерувати отвір під $\varnothing 30\text{ H7}$ пов.6	Зенкер $\varnothing 29,5$ Р6М5
30.9	Розвернути отвір під $\varnothing 30\text{ H7}$ пов.6	Розвертка $\varnothing 30\text{H7}$, калібр-пробка $\varnothing 30\text{H7}$
40	Довбальна (УЗЗ)	Довбальний верстат, 3-х кулачковий патрон
40.1	Довбати шпоночний паз завширшки 12 Js9	Довбач 12 Js9 Р6V5, ШЦ-1
50.	Свердлильна (УЗЗ)	Свердлильний верстат 2А125 Кондуктор
50.1	Розсвердлилити отвір під $\varnothing 26$ пов.1	Свердло $\varnothing 26$, Р6М5

60	Свердлильна (УЗЗ)	Свердлильний верстат 2А125 Затискач, упор
60.1	Свердлити отвір під М12 l=9мм.пов.1	Свердло Ø11, Р6М5
60.2	Нарізати різьбу М12, пов.1	Мітчик маш.
70.	Слюсарна (УЗЗ)	Лещата
70.1	Пов.1 Зняти фаску 1x45°	Зенківка

8.3 Вибір обладнання та інструменту, поопераційний розрахунок режимів різання і норм часу

Токарна операція

Для токарної обробки приймаємо універсальний токарно-гвинторізний верстат 16К20, затискаємо деталь в трьохкулачковий патрон.

Перехід 20.1 (підрізати торець поверхні 1)

1. Вибираємо різець і визначаємо його геометричні параметри.

На токарно-гвинторізному верстаті 16К20 підрізаємо торець пов.1 заготовки Ø146мм. Припуск на обробку (на сторону) $z=1$ мм. Матеріал заготовки сталь 45Л.

Приймаємо токарний прохідний відігнутий правий різець. Матеріал пластини – твердий сплав Т15К6; з геометричними параметрами ріжучої частини: $\varphi = 45^\circ$;

$\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $r = 1$ мм; розміри -В x Н x L = 16 x 25 x 140 мм.

2. Призначаємо глибину різання. Припуск при торцюванні точимо за один прохід. Глибина різання $t = z = 1$ мм.

При діаметрі деталі 146мм з глибиною різання до 3мм подача повинна бути в інтервалі $S=0,8...1,3$ мм/об (табл.1 додаток 1)

Корегуючи за паспортними даними токарно-гвинторізного верстата 16К20 (табл. 5, додаток 1), приймаємо подачу $S=1$ мм/об.

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S_s^y};$$

де $T = 120$ хв – середнє значення періоду стійкості різця;

$C_v = 153$ – постійний коефіцієнт швидкості різання для зовнішнього торцевого точіння сталі 45Л при $S \geq 0,7$ мм/об різцем з пластинкою із твердого сплаву Т15К6 (табл. 4, додаток 1).

$$V = \frac{153}{120^{0,2} 1^{0,15} 1^{0,35}} = 58,8 \text{ м/хв.}$$

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D_{заг}} = \frac{1000 \cdot 58,8}{\pi \cdot 146} = 128 \text{ об/хв.}$$

де $D_{заг}$ – діаметр заготовки, мм;

Розрахункова кількість обертів n_p корегується за паспортними даними верстата. Із ряду обертів шпинделя верстата (табл. 5, додаток 1) вибираємо ближче менше значення $n_s = 125$ об/хв

5. За прийнятим значенням n_s визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi D_{заг} n_s}{1000} = \frac{\pi \cdot 146 \cdot 125}{1000} = 57,3 \text{ м/хв.}$$

6. Визначаємо розрахункову довжину обробки:

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

$$L_d = \frac{D_{заг}}{2} = \frac{146}{2} = 73 \text{ мм – довжина оброблюваної поверхні заготовки;}$$

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

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

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

$$L_p = 73 + 2 + 1 + 2 = 78 \text{ мм.}$$

$$7. \text{ Основний час на виконання переходу } t_{01} = \frac{L_p}{n_s S_s} = \frac{78}{125 \cdot 1} = 0,62 \text{ хв.}$$

Перехід 20.2 (точити поверхню 2 начорно $\varnothing 146$, $l = 34$ мм)

1. Вибираємо різець і визначаємо його геометричні параметри.

Приймаємо токарний прохідний відігнутий правий різець. Матеріал пластини – твердий сплав Т15К6; з геометричними параметрами ріжучої частини: $\varphi = 45^{\circ}$; $\gamma = 10^{\circ}$; $\alpha = 8^{\circ}$; $r = 1$ мм; розміри $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм.

2. Загальна глибина різання при обробці заданої поверхні

$$t = \frac{D_{заг} - d}{2} = \frac{150 - 146}{2} = 2 \text{ мм}$$

де t - глибина різання, мм; $D_{заг}$ - діаметр заготовки, мм; d - діаметр обробленої поверхні, мм.

3. Вибираємо подачу (табл. 1, додаток 1). Приймаємо $S_g = 1$ мм/об.

4. Визначаємо розрахункову швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{120}{120^{0,2} 2^{0,15} 1^{0,35}} = 41,5 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D_{заг}} = \frac{1000 \cdot 41,5}{\pi \cdot 146} = 90,5 \text{ об/хв.}$$

де $D_{заг}$ – діаметр заготовки, м;

Із ряду обертів шпинделя верстата (табл. 5, додаток 1) вибираємо ближче менше значення $n_g = 80$ об/хв

6. За прийнятим значенням n_g визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V_{\partial} = \frac{\pi D_{заг} n_g}{1000} = \frac{\pi \cdot 146 \cdot 80}{1000} = 36,7 \text{ м/хв.}$$

7. Визначаємо розрахункову довжину обробки:

$$L_p = L_{\partial} + L_1 + L_2 + L_3;$$

де $L_{\partial} = 34$ мм – довжина оброблюваної поверхні; $L_1 = 2$ мм – відстань для підводу різця до заготовки з робочою подачею; $L_2 = t \operatorname{ctg} \varphi = 2 \operatorname{ctg} 45^{\circ} = 2$ мм – величина врізання прохідного відігнутого правого різця у заготовку; $L_3 = 0$ – величина перебігу різця для завершення обробки поверхні.

$$L_p = 34 + 2 + 2 = 38 \text{ мм}$$

$$t_{02} = \frac{L_p}{n_s S_s} = \frac{38}{80 \cdot 1} = 0,47 \text{ хв.}$$

8. Основний час на виконання переходу

Допоміжний час, (табл. 26, [1]) для переходу 2 складається зі складових:

Час зв'язаний з переходом – 0,36 хв;

Час на поворот різцетримача - 0,05 хв;

Час на включення / вимикання подачі – 0,08 хв;

Час на контрольні виміри – 0,12 хв.

Усього $t_{доп.2} = 0,61$ хв.

Перехід 30.1 (підрізати торець поверхні 1)

1. Вибираємо різець і визначаємо його геометричні параметри.

На токарно-гвинторізному верстаті 16К20 підрізаємо торець пов.1 заготовки $\varnothing 60$ мм. Припуск на обробку (на сторону) $z=1$ мм. Матеріал заготовки сталь 45Л.

Приймаємо токарний прохідний відігнутий правий різець. Матеріал пластини – твердий сплав Т15К6; з геометричними параметрами ріжучої частини: $\varphi = 45^0$;

$\gamma = 10^0$; $\alpha = 8^0$; $r = 1$ мм; розміри -В х Н х L = 16 х 25 х 140 мм.

2. Призначаємо глибину різання. Припуск при торцюванні точимо за один прохід. Глибина різання $t = z = 1$ мм.

При діаметрі деталі 60мм з глибиною різання до 3мм подача повинна бути в інтервалі $S=0,5...0,9$ мм/об (табл.1 додаток 1)

Корегуючи за паспортними даними токарно-гвинторізного верстата 16К20 (табл. 5, додаток 1), приймаємо подачу $S=0,7$ мм/об.

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S_s^y};$$

де $T = 120$ хв– середнє значення періоду стійкості різця;

$C_v=175$ – постійний коефіцієнт швидкості різання для зовнішнього торцевого точіння сталі 45Л при $S_{0,3} \dots 0,7$ мм/об різцем з пластинкою із твердого сплаву Т15К6 (табл. 4, додаток 1).

$$V = \frac{175}{120^{0,2} 1^{0,15} 0,7^{0,35}} = 76 \text{ м/хв.}$$

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D_{заг}} = \frac{1000 \cdot 76}{\pi \cdot 60} = 403,4 \text{ об/хв.}$$

де $D_{заг}$ – діаметр заготовки, мм;

Розрахункова кількість обертів n_p корегується за паспортними даними верстата. Із ряду обертів шпинделя верстата (табл. 5, додаток 1) вибираємо ближче менше значення $n_g=400$ об/хв

5. За прийнятим значенням n_g визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi D_{заг} n_g}{1000} = \frac{\pi \cdot 60 \cdot 400}{1000} = 75,4 \text{ м/хв.}$$

6. Визначаємо розрахункову довжину обробки:

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

$$L_d = \frac{D_{заг}}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ мм – довжина оброблюваної поверхні заготовки;}$$

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

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

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

$$L_p = 30 + 2 + 1 + 2 = 35 \text{ мм.}$$

$$7. \text{ Основний час на виконання переходу } t_{03} = \frac{L_p}{n_g S_g} = \frac{35}{400 \cdot 0,7} = 0,125 \text{ хв.}$$

Перехід 30.2 (точити поверхню 2 начорно $\varnothing 60$, $l=32$ мм)

1. Вибираємо різець і визначаємо його геометричні параметри.

Для обробки всіх ступеней заготовки приймаємо токарний упорний прохідний різець із пластиною з твердого сплаву Т15К6, з геометричними параметрами ріжучої частини: $\varphi = 90^\circ$; $\gamma = 12^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $r = 0,8$ мм; розміри -

$B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм.

2. Загальна глибина різання при обробці заданої поверхні

$$t = \frac{D_{заг} - d}{2} = \frac{64 - 60}{2} = 2 \text{ мм}$$

де t - глибина різання, мм; $D_{заг}$ - діаметр заготовки, мм; d - діаметр обробленої поверхні, мм.

3. Вибираємо подачу (табл. 1, додаток 1). Приймаємо $S_g = 0,7$ мм/об.

4. Визначаємо розрахункову швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{105}{120^{0,2} 2^{0,15} 0,7^{0,35}} = 41,3 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D_{заг}} = \frac{1000 \cdot 41,3}{\pi \cdot 60} = 219 \text{ об/хв.}$$

де $D_{заг}$ - діаметр заготовки, м;

Із ряду обертів шпинделя верстата (табл. 5, додаток 1) вибираємо ближче менше значення $n_g = 200$ об/хв

6. За прийнятним значенням n_g визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi D_{заг} n_g}{1000} = \frac{\pi \cdot 60 \cdot 200}{1000} = 37,7 \text{ м/хв.}$$

7. Визначаємо розрахункову довжину обробки:

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

де $L_d = 32$ мм - довжина оброблюваної поверхні; $L_1 = 2$ мм - відстань для підводу різця до заготовки з робочою подачею; $L_2 = t \operatorname{ctg} \varphi = 2 \operatorname{ctg} 45^\circ = 2$ мм - величина врізання прохідного відігнутого правого різця у заготовку; $L_3 = 0$ - величина перебігу різця для завершення обробки поверхні.

$$L_p = 32 + 2 + 2 = 36 \text{ мм}$$

$$t_{04} = \frac{L_p}{n_s S_s} = \frac{36}{200 \cdot 0,7} = 0,26 \text{ хв.}$$

8. Основний час на виконання переходу

Допоміжний час, (табл. 26, [1]) для переходу 2 складається зі складових:

Час зв'язаний з переходом – 0,36 хв;

Час на поворот різцетримача - 0,05 хв;

Час на включення / вимикання подачі – 0,08 хв;

Час на контрольні виміри – 0,12 хв.

Усього тдоп. = 0,61 хв.

Перехід 30.3 (підрізати торець поверхні 3)

1. Вибираємо різець і визначаємо його геометричні параметри.

Для обробки всіх ступеней заготовки приймаємо токарний упорний прохідний різець із пластиною з твердого сплаву Т15К6, з геометричними параметрами

ріжучої частини: $\varphi = 90^0$; $\gamma = 12^0$; $\alpha = 8^0$; $r = 0,8$ мм; розміри -

$B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм.

2. Призначаємо глибину різання. Припуск при торцюванні точимо за один прохід.

Глибина різання $t = z = 1$ мм.

При діаметрі деталі 146мм з глибиною різання до 3мм подача повинна бути в інтервалі $S=0,8 \dots 1,3$ мм/об (табл.1 додаток 1)

Корегуючи за паспортними даними токарно-гвинторізного верстата 16К20 (табл. 5, додаток 1), приймаємо подачу $S=1$ мм/об.

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S_s^y};$$

де $T = 120$ хв – середнє значення періоду стійкості різця;

$C_v=124$ – постійний коефіцієнт швидкості різання для зовнішнього торцевого точіння сталі 45Л при $S \geq 0,7$ мм/об різцем з пластинкою із твердого сплаву Т15К6 (табл. 4, додаток 1).

$$V = \frac{124}{120^{0,2} 1^{0,15} 1^{0,35}} = 47,7 \text{ м/хв.}$$

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D_{заг}} = \frac{1000 \cdot 47,7}{\pi \cdot 146} = 104 \text{ об/хв.}$$

де $D_{заг}$ – діаметр заготовки, мм;

Розрахункова кількість обертів n_p корегується за паспортними даними верстата. Із ряду обертів шпинделя верстата (табл. 5, додаток 1) вибираємо ближче менше значення $n_s=100$ об/хв

5. За прийнятим значенням n_s визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V_\rho = \frac{\pi D_{заг} n_s}{1000} = \frac{\pi \cdot 146 \cdot 100}{1000} = 45,8 \text{ м/хв.}$$

6. Визначаємо розрахункову довжину обробки:

$$L_p = L_\rho + L_1 + L_2 + L_3;$$

$$L_\rho = \frac{D_{заг}}{2} = \frac{146 - 60}{2} = 43 \text{ мм – довжина оброблюваної поверхні заготовки;}$$

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

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

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

$$L_p = 43 + 2 + 1 + 2 = 48 \text{ мм.}$$

$$7. \text{ Основний час на виконання переходу } t_{05} = \frac{L_p}{n_s S_s} = \frac{48}{100 \cdot 1} = 0,48 \text{ хв.}$$

Перехід 30.4 (точити поверхню 4 начорно $\varnothing 138$, $l=3$ мм)

1. Вибираємо різець і визначаємо його геометричні параметри.

Для обробки ступеней заготовки приймаємо токарний розточувальний різець для глухих отворів із пластиною з твердого сплаву Р6М5, з геометричними параметрами ріжучої частини: $\varphi = 60^\circ$; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 15^\circ$; $r = 0,8$ мм; розміри - В х Н х L = 20 х 16 х 150 мм.

2. Загальна глибина різання при обробці заданої поверхні

$$t = 3 \text{ мм.}$$

де t - глибина різання, мм; $D_{заг}$ - діаметр заготовки, мм; d - діаметр обробленої поверхні, мм.

3. Вибираємо подачу (табл. 1, додаток 1). Приймаємо $S_g=0,8$ мм/об.

4. Визначаємо розрахункову швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V = \frac{120}{120^{0,2} 3^{0,15} 0,8^{0,35}} = 42,2 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D_{заг}} = \frac{1000 \cdot 42,2}{\pi \cdot 138} = 97 \text{ об/хв.}$$

де $D_{заг}$ – діаметр заготовки, м;

Із ряду обертів шпинделя верстата (табл. 5, додаток 1) вибираємо ближче менше значення $n_g=80$ об/хв

6. За прийнятним значенням n_g визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi D_{заг} n_g}{1000} = \frac{\pi \cdot 138 \cdot 80}{1000} = 34,7 \text{ м/хв.}$$

7. Визначаємо розрахункову довжину обробки:

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

де $L_d = \frac{138-60}{2} = 39$ мм – довжина оброблюваної поверхні; $L_1 = 2$ мм – відстань для підводу різця до заготовки з робочою подачею; $L_2 = t \operatorname{ctg} \varphi = 2 \operatorname{ctg} 45^\circ = 2$ мм – величина врізання прохідного відігнутого правого різця у заготовку; $L_3 = 0$ – величина перебігу різця для завершення обробки поверхні.

$$L_p = 39 + 2 + 2 = 43 \text{ мм}$$

8. Основний час на виконання переходу $t_{06} = \frac{L_p}{n_g S_g} = \frac{43}{80 \cdot 0,8} = 0,67$ хв.

Допоміжний час, (табл. 26, [1]) для переходу 2 складається зі складових:

Час зв'язаний з переходом – 0,36 хв;

Час на поворот різцетримача - 0,05 хв;

Час на включення / вимикання подачі – 0,08 хв;

Час на контрольні виміри – 0,12 хв.

Усього тдоп. = 0,61 хв.

Перехід 30.5 (зняти фаску $1,6 \times 45^\circ$ поверхні 5)

Оберти шпинделя залишаються такі ж, як і підчас зовнішнього точіння з тим, щоб не витратити час на перемикання швидкості. Затрачений час на точіння галтелей, зняття фасок визначається за табл. 6, додаток 1 і приймається як основний час $t_{07} = 0,18$ хв.

Перехід 30.6 (Розсвердлити отвір до діаметру 30 пов.6)

Приймаємо свердло діаметром $d_{св} = 28$ мм з нормальною заточкою, матеріал ріжучої кромки – швидкорізальна сталь Р6М5.

1. Глибина різання при свердлінні дорівнює половині діаметра оброблюваного

отвору:

$$t = \frac{d_{св} - D_{заг}}{2} = \frac{28 - 26}{2} = 1 \text{ мм}$$

2. Приймаємо подачу $S = 0,2$ мм/об. (табл. 3.3, [1])

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання, яка залежить від діаметра свердла та його матеріалу, інтервалу подач та характеристик оброблюваного матеріалу (табл. 8, додатка В[6]), за емпіричною формулою:

$$V = \frac{8,4 d_{св}^{0,4}}{T^{0,2} t^{0,2} S^{0,5}} = \frac{8,4 \cdot 28^{0,4}}{55^{0,2} \cdot 1^{0,2} \cdot 0,2^{0,7}} = 44 \text{ м/хв};$$

де $T = 55$ хв – середнє значення періоду стійкості свердла $d_{св} = 28$ мм (табл. 6, додатку В).

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d_{св}} = \frac{1000 \cdot 44}{\pi \cdot 28} = 500 \text{ об/хв.}$$

5. Розрахункову кількість обертів n_p корегуємо з паспортними даними прийнятого верстата і приймаємо ближче менше значення – $n_8 = 500$ об/хв.

6. За прийнятим значенням n_8 визначається фактична швидкість різання:

$$V_\delta = \frac{\pi \cdot d_{св} \cdot n_8}{1000} = \frac{\pi \cdot 28 \cdot 500}{1000} = 43,96 \text{ м/хв.}$$

7. Розрахункова довжина обробки:

$$L_p = L_d + L_1 + L_2 + L_3 = 66 + 2 + 2 = 70 \text{ мм};$$

де $L_d = 66 \text{ мм}$ – глибина свердління;

$L_1 = 2 \dots 3 \text{ мм}$ – відстань підводу інструменту до деталі з робочою подачею; L_2, L_3

– величина врізання і перебігу свердла: $L_2 + L_3 = 2 \text{ мм}$

8. Основний час на свердлення отвору:

$$t_{08} = \frac{L_p}{S_g \cdot n_g} = \frac{70}{0,2 \cdot 500} = 0,7 \text{ хв.}$$

Допоміжний час: (табл. 51, [1])

1. На установку (і зняття) свердла - 0,2 хв.
2. Час, зв'язаний з переходом - 0,13 хв.
3. Час на вихід свердла і знищення стружки - 0,06 хв.

Допоміжний час $t_{доп.} = 0,39 \text{ хв.}$

Перехід 30.7 (зняти фаску $1,6 \times 45^\circ$ поверхні 7)

Оберти шпинделя залишаються такі ж, як і під час зовнішнього точіння з тим, щоб не витратити час на перемикання швидкості. Затрачений час на точіння галтелей, зняття фасок визначається за табл. 6, додаток 1 і приймається як основний час $t_{09} = 0,18 \text{ хв.}$

Перехід 30.8 (Зенкерувати отвір діаметром 30 пов.6)

Приймаємо зенкер діаметром $d_{ce} = 29,5 \text{ мм}$ з нормальною заточкою, матеріал ріжучої кромки – швидкорізальна сталь Р6М5.

1. Глибина різання при свердлінні дорівнює половині діаметра

оброблюваного отвору:

$$t = \frac{d_{ce} - D_{заг}}{2} = \frac{29,5 - 28}{2} = 0,75 \text{ мм} .$$

2. Приймаємо подачу $S = 0,5 \text{ мм/об.}$ (табл. 3.3, [1])

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання, яка залежить від діаметра зенкера та його матеріалу, інтервалу подач та характеристик оброблюваного матеріалу (табл. 8, додатка В[6]), за емпіричною формулою:

$$V = \frac{12,6 d_{ce}^{0.3}}{T^{0.3} t^{0.2} S^{0.5}} = \frac{12,6 \cdot 29,5^{0.3}}{40^{0.3} \cdot 0,75^{0.2} \cdot 0,5^{0.5}} = 17,4 \text{ м/хв};$$

де $T = 40$ хв – середнє значення періоду стійкості зенкера $d_{ce} = 28$ мм (табл. 6, додатку В).

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d_{ce}} = \frac{1000 \cdot 17,4}{\pi \cdot 29,5} = 183 \text{ об/хв.}$$

5. Розрахункову кількість обертів n_p корегуємо з паспортними даними прийнятого верстата і приймаємо ближче менше значення – $n_e = 160$ об/хв.

6. За прийнятим значенням n_e визначається фактична швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d_{ce} \cdot n_e}{1000} = \frac{\pi \cdot 29,5 \cdot 160}{1000} = 14,8 \text{ м/хв.}$$

7. Розрахункова довжина обробки:

$$L_p = L_d + L_1 + L_2 + L_3 = 66 + 2 + 2 = 70 \text{ мм};$$

де $L_d = 66$ мм – глибина свердління;

$L_1 = 2 \dots 3$ мм – відстань підводу інструменту до деталі з робочою подачею; L_2, L_3

– величина врізання і перебігу свердла: $L_2 + L_3 = 2$ мм

8. Основний час на свердлення отвору:

$$t_{10} = \frac{L_p}{S_e \cdot n_e} = \frac{70}{0,5 \cdot 160} = 0,87 \text{ хв.}$$

Допоміжний час: (табл. 51, [1])

1. На установку (і зняття) свердла - 0,2 хв.
2. Час, зв'язаний з переходом - 0,13 хв.
3. Час на вихід свердла і знищення стружки - 0,06 хв.

Допоміжний час $t_{доп.} = 0,39$ хв.

Перехід 30.9 (Розвернути отвір діаметром 30Н7 пов.6)

Приймаємо розвертку діаметром $d_{ce} = 30$ Н7 мм з нормальною заточкою, матеріал ріжучої кромки – швидкорізальна сталь Р6М5.

1. Глибина різання при свердлінні дорівнює половині діаметра оброблюваного

$$t = \frac{d_{ce} - D_{заг}}{2} = \frac{30 - 29,5}{2} = 0,25 \text{ мм}$$

отвору:

2. Приймаємо подачу $S = 0,8$ мм/об. (табл. 3.3, [1])

3. Визначаємо розрахункову швидкість різання, яка залежить від діаметра свердла та його матеріалу, інтервалу подач та характеристик оброблюваного матеріалу (табл. 8, додатка В[6]), за емпіричною формулою:

$$V = \frac{8,1 d_{ce}^{0,3}}{T^{0,4} t^{0,2} S^{0,65}} = \frac{8,1 \cdot 30^{0,3}}{60^{0,4} \cdot 0,25^{0,2} \cdot 0,8^{0,65}} = 6,7 \text{ м/хв};$$

де $T = 60$ хв – середнє значення періоду стійкості розвертки $d_{ce} = 30$ мм (табл. 6, додатку В).

4. Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d_{ce}} = \frac{1000 \cdot 6,7}{\pi \cdot 30} = 71 \text{ об/хв.}$$

5. Розрахункову кількість обертів n_p корегуємо з паспортними даними прийнятого верстата і приймаємо ближче менше значення – $n_e = 63$ об/хв.

6. За прийнятим значенням n_e визначається фактична швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d_{ce} \cdot n_e}{1000} = \frac{\pi \cdot 30 \cdot 63}{1000} = 5,93 \text{ м/хв.}$$

7. Розрахункова довжина обробки:

$$L_p = L_d + L_1 + L_2 + L_3 = 66 + 2 + 2 = 70 \text{ мм};$$

де $L_d = 66$ мм – глибина свердління;

$L_1 = 2 \dots 3$ мм – відстань підводу інструменту до деталі з робочою подачею; L_2, L_3

– величина врізання і перебігу свердла: $L_2 + L_3 = 2$ мм

8. Основний час на свердлення отвору:

$$t_{11} = \frac{L_p}{S_e \cdot n_e} = \frac{70}{0,8 \cdot 63} = 1,4 \text{ хв.}$$

Допоміжний час: (табл. 51, [1])

1. На установку (і зняття) свердла - 0,2 хв.

2. Час, зв'язаний з переходом - 0,13 хв.

3. Час на вихід свердла і знищення стружки - 0,06 хв.

Допоміжний час $t_{\text{доп.}} = 0,39$ хв.

Сумарний основний час на виконання операції

$$T_o = \sum_1^i t_{ox} = 0,62 + 0,47 + 0,125 + 0,26 + 0,48 + 0,67 + 0,18 + 0,7 + 0,18 + 0,87 + 1,4 = 6 \text{ хв.}$$

Допоміжний час:

$$T_d = t_y + t_d$$

$$t_y = t_{y1} + t_{y2},$$

$t_{y1} = 0,41$ хв (табл.37) час на установлення деталі масою до 3 кг з кріпленням гайкою за допомогою ключа

$t_{y2} = 0,10$ хв (табл. 37) час на очищення місця установки деталі від стружки

$$t_y = 0,41 + 0,10 = 0,51 \text{ хв.}$$

Допоміжний час, пов'язаний з переходом, для верстатів з довжиною стола 1250мм, автоматичним переміщенням, установленою на розмір, $t_d = 0,09$ хв (табл.38). Тоді

$$T_d = 0,51 + 0,09 = 0,6 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d$$

$$T_{\text{оп}} = 6 + 0,6 = 6,6 \text{ хв}$$

Штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{об}} + T_{\text{пер}},$$

$T_{\text{об}} = 0,045 T_{\text{оп}}$ і $T_{\text{пер}} = 0,06 T_{\text{оп}}$ – відповідно, допоміжний час на обслуговування робочого місця і на відпочинок та природні потреби, що беруться у відсотках оперативного часу (табл. 36)

$$T_{\text{шт}} = 6,6 + 0,045 \cdot 6,6 + 0,06 \cdot 6,6 = 7,3 \text{ хв}$$

Калькуляційний час:

$$T_k = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{n}$$

$T_{пз}$ – підготовчо-завершувальний час, що згідно з табл. 36 визначається як сума часу налагодження верстата (при кріпленні в лещатах з двома болтами кріплення – 14,7хв) та на одержання наряду, інструментів, пристроїв - 7хв

$$T_{пз}=14,7+7=21,7\text{хв}$$

Тоді

$$T_{к}=7,3+21,7/1000=7,32\text{хв}$$

Норма виробітку (кількість деталей за год.):

$$N = \frac{60}{T_{к.}}$$

За формулою визначаємо

$$N=60/7,32=8 \text{ деталей.}$$

9. Система управління

Управління здійснюється через пульт керування, на якому розміщені контрольно-вимірвальні прилади, а також візуально – через оглядове вікно в сушильній башті.

Регулювання режимів сушіння включає також контроль тривалості безперервної роботи обладнання. Згідно з чинними технологічними нормативами, експлуатація розпилувальної сушарки допускається протягом максимум 20 годин на добу, що еквівалентно приблизно 2,5 виробничим змінам. Після відпрацьованого циклу розпочинається послідовна процедура зупинки агрегату.

Процес зупинки здійснюється в кілька етапів:

1. Передається керуючий сигнал до котельного обладнання з метою припинення подачі пари.
2. Зупиняється подача сировинної суміші до диска розпилення шляхом відключення насоса та приводу.
3. Перекривається подача пари до теплообмінника (калорифера).
4. Відкриваються двері сушильної камери, після чого внутрішній об'єм установки охолоджується за допомогою витяжного вентиляційного пристрою.

Після завершення технологічного процесу виконується санітарна обробка основних елементів системи. Внутрішні поверхні сушильної башти очищуються вручну спеціальними щітками, на які попередньо накладається стерильна марлева тканина.

10. Заходи з охорони праці

Залежно від призначення та умов експлуатації, в сушильних установках має бути передбачено захист обслуговуючого персоналу від впливу таких небезпечних та шкідливих виробничих чинників:

- забрудненого повітря, яке відводиться із сушильної установки;
- можливих загорянь речовин і матеріалів, що використовуються у виробничому процесі;
- підвищеної концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- дії електричного струму небезпечної сили та високих потенціалів статичної електрики;
- контакту персоналу з нагрітими поверхнями обладнання;
- надмірного рівня шуму та вібрацій.

Вимоги до безпеки та охорона праці при експлуатації розпилювальних сушарок.

1) Розпилювальні сушарки повинні експлуатуватися у відповідності до вимог стандартів ДСТУ 12.2.003, ДСТУ 12.2.007, а також конструкційної документації на конкретний тип обладнання. Для забезпечення безпечної роботи необхідно дотримуватись таких вимог.

2) Сушарки мають бути герметичними щодо навколишнього середовища. Ступінь герметичності та методи випробування визначаються згідно з ГОСТ 26-11-14.

3) У випадку роботи з вибухонебезпечними або токсичними речовинами (1–3 клас небезпеки за ДСТУ 12.1.007) передбачається використання подвійних торцевих ущільнень. Для менш небезпечних середовищ (4 клас) допускається застосування одинарних ущільнень або гідрозатворів.

4) Корпуси сушарок та їх елементи, які працюють під надлишковим тиском, повинні оснащуватися запобіжними пристроями: пружинними клапанами прямої дії або мембранами.

5) Конструкція повинна забезпечувати повне спорожнення перед розбиранням обладнання.

6) Сушарки оснащуються штуцерами для промивання, продувки, встановлення запобіжної та вимірювальної арматури. Арматура монтується безпосередньо на штуцерах або трубопроводах, що під'єднуються до апарата.

7) Технологічні порожнисті вали повинні мати отвори для гідравлічного випробування, які після перевірки заварюються.

8) Електрообладнання повинне відповідати вимогам ДСТУ 12.1.019, ДСТУ 12.2.007.0, ДСТУ 12.2.007.1, ДСТУ 14254 і ДСТУ 17494.

9) Електродвигуни мають відключатися як із робочого місця, так і з щита керування.

10) Усі елементи сушарки повинні бути заземлені згідно з вимогами ДСТУ 12.1.030 та ДСТУ 12.1.038, а опір заземлення не повинен перевищувати 0,1 Ом.

11) Пристрої заземлення також використовуються для захисту від накопичення статичної електрики.

12) Передачу руху до вентилятора слід реалізовувати таким чином, щоб уникнути накопичення електростатичних зарядів.

13) Усі обертові частини, розташовані на висоті менше 2 м від рівня підлоги, повинні бути огорожені захисними кожухами.

14) Такі огороження виготовляються з листового матеріалу або металеві сітки (з розміром комірок не більше 10 мм), та повинні зніматися лише за допомогою інструмента.

15) Захисні кожухи не повинні обмежувати доступ до вузлів обслуговування, мають мати гладку зовнішню поверхню і бути пофарбовані відповідно до ДСТУ 12.4.026.

16) Огороження обслуговуючих площадок, що розташовані вище 0,6 м, повинні відповідати ДСТУ 23120.

17) Температура зовнішніх поверхонь, до яких може торкатися персонал, не повинна перевищувати 45°C у виробничих приміщеннях та 60°C при

11. Висновки

У результаті виконання проєкту була спроєктована розпилювальна сушильна установка, яка забезпечує продуктивність 18,26 кг/год порошку для інгаляційного застосування.

Розроблено технічне рішення, що сприяє підвищенню ефективності сушіння та збільшенню тривалості процесу у розпилювальній сушарці. Оптимізація досягнута за рахунок зміни напрямку розпилу: диск, що обертається, формує факел по дотичній, внаслідок чого траєкторія руху повітря до стінок сушильної камери подовжується.

Це дозволяє збільшити час перебування частинок у зоні сушіння, що позитивно впливає на повноту випаровування вологи й, відповідно, покращує якість готового порошку.

Список використаної літератури

1. Perry, R. H., Green, D. W. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 9th ed. McGraw-Hill Education, 2018.
2. Mujumdar, A. S. *Handbook of Industrial Drying*. 4th ed. CRC Press, 2014.
3. Masters, K. *Spray Drying Handbook*. 5th ed. Longman Scientific & Technical, 1991.
4. Harms, H., Luck, F. *Fluid Bed Technology in Materials Processing*. Marcel Dekker, 1997.
5. Filkova, I., Mujumdar, A. S. *Industrial Spray Drying Systems*. Springer, 2020.
6. Barone, F., Amanullah, A. *Fluidized Bed Bioreactors*. CRC Press, 2021.
7. Wankat, P. C. *Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis*. 4th ed. Pearson, 2021.
8. Geankoplis, C. J. *Transport Processes and Separation Process Principles*. 4th ed. Prentice Hall, 2003.
9. Жежерин, Ю. М., Лобода, Ю. І. Технічна термодинаміка. – К.: НУХТ, 2019.
10. Теличкун, В. І., Гавва, О. М., Губеня, О. О. Технологічні комплекси харчових виробництв. – К.: НУХТ, 2017.
11. Березовська, М. А. Процеси та апарати харчових виробництв. – К.: НУХТ, 2020.
12. Сидоренко, В. І. Пневмотранспорт і пневматичні системи харчової промисловості. – К.: НУХТ, 2015.
13. Гладкий, Є. В., Яровий, В. М. Основи автоматизації технологічних процесів. – К.: НУХТ, 2020.
14. Назаренко, О. П. Процеси та апарати переробки харчової сировини. – К.: Центр учбової літератури, 2018.
15. ДСТУ 3135.0-95. Системи вентиляційні та кондиціювання повітря. Терміни та визначення.
16. ДСТУ EN ISO 12100:2014. Безпечність машин. Загальні принципи проектування.
17. Кодекс України з охорони праці. – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua>
18. Стечишин, І. А., Киричок, О. В. Основи гідравліки і гідроприводу. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019.
19. Heine, M., & Krewer, U. *Process Analytical Technology*. Wiley-VCH, 2020.
20. Paterson, A. H. J. *Principles of Fluidization Technology*. Butterworth-Heinemann, 2012.

21. Mujumdar, A. S., Huang, L. X. *Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications*. Wiley, 2022.
22. Tiwari, G. N. *Greenhouse Technology for Controlled Environment*. Narosa Publishing House, 2020.
23. Hoang, M. *Membrane Engineering for the Treatment of Gases*. Elsevier, 2017.
24. Belosevic, S. *Filters and Filtration Handbook*. 6th ed. Elsevier, 2015.
25. Lydersen, B. K. *Fluidization and Fluid-Particle Systems*. Reinhold Publishing Corp., 1993.
26. Мельниченко, С. О. Енергозберігаючі технології у харчовій промисловості. – К.: НУХТ, 2016.
27. Герасимчук, О. О. Теорія механізмів і машин. – К.: НУХТ, 2014.
28. Пиріг, П. І., Ільченко, І. О. Вентиляція та повітряне кондиціонування. – К.: Ліра-К, 2021.
29. Хомутова, Н. М., Мельничук, Т. М. Технічне оснащення підприємств харчової промисловості. – К.: НУХТ, 2018.
30. Ткаченко, С. І. Вимірювання і контроль параметрів технологічних процесів. – К.: НУХТ, 2015.