

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кафедра *Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв*

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Сергій БЛАЖЕНКО

(ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

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 для сушіння аскорбінової кислоти
в псевдозрідженому шарі продуктивністю 100 кг/добу**

Виконав: здобувач ІV курсу, групи ОХ-4-2

Гарін Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

Керівник **Житнецький Ігор Володимирович** _____

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

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

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2025 р.

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

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Гарін Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **Модернізація апарату для сушіння аскорбінової кислоти в псевдозрідженому шарі продуктивністю 100 кг/добу.**

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» квітня 2025 р. № 218-кс

2. Строк подання здобувачем роботи червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. *Тип бісерного млина – горизонтальний, із відцентровим сепаратором бісеру.*

2. *Продукт – дріжджова суспензія.*

3. *Оглядові 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; вступ; аналіз існуючого обладнання аналогічного призначення; техніко-економічне та соціальне обґрунтування; характеристика вихідної сировини і готового продукту; опис запропонованого технічного рішення, будова та принцип дії модернізованого обладнання; підбір конструктивних матеріалів; розрахункова частина; розрахунок технології виготовлення фланця; вимоги щодо монтажу і технічного процесу; опис системи управління; заходи щодо охорони праці; висновки; список використаних літературних джерел; додатки*

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

Загальний вигляд обладнання – 1 лист; Складальне креслення – 4 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: «10» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого обладнання аналогічного призначення	12.04.2025р.	
2	Техніко-економічне, соціальне обґрунтування.	17.04.2025р.	
3	Характеристика вихідної сировини і готового продукту	27.04.2025р.	
4	Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип дії модернізованого обладнання.	28.04.2025р.	
5	Вибір конструкційних матеріалів	2.05.2025р.	
6	Розрахункова частина	05.05.2025р.	
7	Розрахунок технології виготовлення фланця	08.05.2025р.	
8	Вимоги щодо монтажу і технічного сервісу	10.05.2025р.	
9	Опис системи управління	13.05.2025р.	
10	Заходи щодо охорони праці, екології	17.05.2025р.	
11	Висновки,	20.05.2025р.	
12	Графічна частина: 6 аркушів формату А3	22.05.2025р.	
13	Список використаних літературних джерел	23.05.2025р.	
14	Анотація, зміст	28.05.2025р.	
	Подача ДП на кафедрі	10.06.2025р.	

Здобувач _____ Владислав Гарін

Керівник роботи _____ Ігор Житнецький

Анотація

У кваліфікаційні роботі розглянуто питання модернізації апарата для сушіння медичної аскорбінової кислоти (МАК) у псевдозрідженому шарі продуктивністю 100 кг/добу. Мета роботи полягала в удосконаленні існуючої технології сушіння з підвищенням ефективності процесу, покращенням якості кінцевого продукту та зменшенням витрат енергії і негативного впливу на довкілля.

Запропоноване технічне рішення передбачає розробку нової сушильної системи безперервної дії. Основними елементами модернізованої установки є автоматизований шнековий дозатор для стабільної подачі вологого продукту, протиральний пристрій для руйнування грудок, багатоступенева система очищення повітря та автоматизована система контролю температури й вологості сушильного агента. Завдяки впровадженню попереднього прогріву сухого шару аскорбінової кислоти та ретельному регулюванню газового потоку досягається рівномірність сушіння без утворення застійних зон і каналів.

Модернізація сушарки дозволяє зменшити втрати продукту з відпрацьованим повітрям до рівня меншого за 1%, забезпечити кінцеву вологість МАК не вище 0,1%, а також організувати ефективне конденсація парів етилового спирту для запобігання забрудненню атмосфери. Використання автоматизованого управління процесом сприяє підвищенню стабільності роботи апарата, полегшенню умов праці персоналу і зниженню аварійних ризиків.

У кваліфікаційні роботі також виконано аналіз існуючого обладнання аналогічного призначення, розрахунки основних параметрів процесу сушіння, обґрунтування вибору конструкційних матеріалів, розробку технології виготовлення деталей та підбір систем автоматики. Окрему увагу приділено питанням охорони праці, захисту довкілля та енергоефективності виробництва.

Ключові слова: аскорбінова кислота, сушарка псевдозрідженого шару, модернізація, автоматизація, контроль температури, очищення повітря, енергоефективність.

Abstract

This thesis explores the modernization of an apparatus for drying medical ascorbic acid (MAA) in a fluidized bed, with a capacity of 100 kg/day. The objective of the work was to improve the existing drying technology by enhancing process efficiency, product quality, reducing energy consumption, and minimizing the environmental impact.

The proposed technical solution involves the development of a new continuous drying system. Key elements of the upgraded unit include an automated screw feeder for stable delivery of the moist product, a screening device for breaking up clumps, a multi-stage air purification system, and an automated temperature and humidity control system for the drying agent. The implementation of preheating the dry ascorbic acid layer and careful regulation of the gas flow ensures uniform moisture removal without the formation of stagnant zones or channeling.

The modernization of the dryer significantly reduces product losses with the exhaust air to less than 1%, guarantees a final MAA moisture content not exceeding 0.1%, and enables effective condensation of ethanol vapors to prevent atmospheric emissions. Automation improves the operational stability of the apparatus, eases working conditions for personnel, and reduces accident risks.

The thesis also provides an analysis of existing similar equipment, calculations of key process parameters, justification for the selection of construction materials, development of manufacturing technology for individual parts, and selection of automation systems. Particular attention is given to occupational safety, environmental protection, and production energy efficiency.

Keywords: ascorbic acid, fluidized bed dryer, modernization, automation, temperature control, air purification, energy efficiency.

ЗМІСТ

стор

Анотація.....	
Вступ.....	
1. Аналіз існуючого обладнання аналогічного призначення	
2. Техніко – економічне та соціальне обґрунтування.....	
3. Характеристика вихідної сировини і готового продукту.....	
4. Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип дії модернізованого обладнання.....	
5. Підбір конструкційних матеріалів.....	
6. Розрахункова частина.....	
7. Розрахунок технології виготовлення фланця.....	
8. Вимоги щодо монтажу і технічного сервісу.....	
9. Опис системи управління.....	
10. Заходи щодо охорони праці.....	
Висновки.....	
Список використаних літературних джерел.....	
Додатки.....	

Вступ

Успішне впровадження технології псевдозрідженого (киплячого) шару як в Україні, так і за кордоном стало можливим завдяки сприятливим умовам взаємодії твердих частинок із газовим середовищем. Ці системи мають велику площу поверхні частинок, високу подібність до рідини за текучістю, забезпечують рівномірний розподіл температури та дозволяють створювати прості у конструкції апарати. Таке обладнання легко піддається механізації та автоматизації, що робить його зручним для промислового використання.

Найбільш широке застосування в промисловості технологія киплячого (псевдозрідженого) шару отримала у 1960-х роках у сфері сушіння матеріалів. Цей напрямок інженерної справи розвивався досить стрімко. Перші згадки про використання псевдозрідженого шару для сушіння з'явилися приблизно два десятиліття тому. Сьогодні в Україні, а також у багатьох країнах, зокрема у США, працює значна кількість сушильних установок. Потужність окремих апаратів коливається від кількох тонн до понад тисячі тонн на годину.

У промисловій практиці сушінню піддаються різноманітні матеріали з різними фізико-хімічними властивостями: за розміром частинок, структурою, здатністю до злипання, теплочутливістю та типом зв'язку вологи з речовиною. У хімічній галузі процеси сушіння часто ускладнюються паралельним протіканням хімічних реакцій, що впливає на масо- та теплоперенос.

Цей метод знайшов найбільше застосування у хімічній промисловості, збагаченні вугілля та кольоровій металургії. У псевдозрідженому шарі ефективно висушують як дрібнодисперсні порошки, так і великі частинки діаметром до 35–40 мм.

До сушіння придатні навіть вологі, злиплі чи горючі матеріали. Крім того, у сучасних розробках передбачено й сушіння розчинів — шляхом їх зневоднення в умовах киплячого шару.

1. Аналіз існуючого обладнання аналогічного призначення

Сушіння та псевдозрідений шар

Сушіння — це складний фізичний процес, що полягає у видаленні вологи з матеріалу. Його швидкість здебільшого залежить від того, наскільки швидко волога здатна проникати з внутрішніх шарів матеріалу до його поверхні, а далі — в навколишнє середовище. Таким чином, суть сушіння зводиться до переносу тепла й вологи всередині тіла, а також до видалення цієї вологи в повітря або інше середовище. Це поєднання процесів теплопередачі та масообміну (або вологообміну).

Залежно від способу, яким тепло подається до матеріалу, що висушується, існують такі основні типи сушіння:

Конвективне сушіння — відбувається за рахунок прямого контакту матеріалу з гарячим повітрям або топковими газами, які й слугують джерелом тепла. Це найпоширеніший метод у промисловості.

Контактне сушіння — тепло передається через стінку, яка розділяє теплоносій і матеріал. При цьому прямого контакту між ними немає.

Інфрачервоне (радіаційне) сушіння — матеріал нагрівається за допомогою інфрачервоного випромінювання.

Діелектричне сушіння — використовується нагрівання в електромагнітному полі високої частоти, що особливо ефективно для матеріалів із високою діелектричною проникністю.

Сублімаційне сушіння — проводиться в умовах глибокого вакууму при замороженому стані матеріалу. Цей метод подібний до контактного, але має унікальні особливості, тому його зазвичай розглядають окремо.

Останні три методи сушіння вважаються спеціальними й застосовуються рідко — переважно в лабораторних умовах або для сушіння термочутливих матеріалів [1,2,3].

Незалежно від методу сушіння, практично завжди матеріал стикається з вологим газом — зазвичай це повітря. Особливо важливу роль він відіграє в процесі конвективного сушіння, де є основним сушильним агентом. Саме тому характеристики вологого повітря потрібно враховувати при розрахунках та виборі режимів сушіння.

Киплячий шар, або псевдозріджений шар — це особливий стан сипучого зернистого матеріалу, коли під дією потоку газу або рідини (зазвичай повітря чи пари) тверді частинки починають активно переміщуватися, ніби "кипіти". Зовні така система нагадує рідину — вона теж стає текучою, а її поведінка підпорядковується законам гідростатики.

У цьому стані досягається щільний і постійний контакт між частинками матеріалу та газом, що забезпечує інтенсивний обмін теплом і речовинами. Завдяки цьому псевдозріджений шар широко використовують у хімічній промисловості для процесів, де важливе ефективне взаємодіяння твердої та газової фаз — наприклад, при сушінні, каталізі чи хімічних реакціях, що залежать від масопереносу.

Вибір способу сушіння

Сушіння — це один із найпоширеніших технологічних процесів у промисловості, і він відіграє важливу роль у виробництві лікарських засобів, зокрема в хіміко-фармацевтичній галузі. У процесі обробки можуть підлягати сушінню різні матеріали: сировина, проміжні продукти та готові препарати. Через чутливість та специфіку фармацевтичних речовин, їх переважно висушують у спеціальних сушильних апаратах. Це дає змогу скоротити тривалість процесу та забезпечити контрольовану якість продукції.

Штучне сушіння є важливою стадією, яка часто визначає кінцеві властивості препарату. Її ефективність безпосередньо впливає на фармакологічну чистоту, стабільність та безпечність продукції. Сушильне обладнання має відповідати суворим вимогам, зокрема унеможливити бактеріальне забруднення.

Процес сушіння в фармацевтичному виробництві є багатокomпонентним і включає теплові, дифузійні, хімічні, а іноді навіть біологічні явища. Особливо складним є інтенсивне сушіння термочутливих препаратів [3].

Фармацевтичні речовини, які піддаються сушінню, характеризуються низкою властивостей:

- початкова та кінцева вологість;
- рівноважна вологість;
- теплотехнічні та масообмінні характеристики;
- електрофізичні та структурно-механічні параметри.

Одним із головних факторів, що впливає на вибір способу сушіння, є зв'язок вологи з матеріалом. Залежно від сили зв'язування води з твердою фазою, матеріал розглядають як об'єкт сушіння певного типу.

Для вологих дисперсних речовин особливо важливими є:

- гранулометричний склад (розмір частинок),
- насипна, істинна й умовна густина,
- пористість шару,
- ступінь ущільнення під час обробки,
- коефіцієнт динамічного стиснення.

Розуміння цих характеристик необхідне для:

- правильного вибору типу сушильного обладнання,
- визначення режимів сушіння,
- проектування аеродинамічних і теплових схем,
- розрахунку процесів, що передують сушінню або йдуть після неї, наприклад — таблетування порошків.

На підставі вихідних параметрів:

- початкова вологість матеріалу: 6%,
- кінцева вологість: 0,1%,
- пористість шару: 75%,
- температура сушіння: 60 °C,

- та згідно з рекомендаціями, для таких матеріалів доцільно використовувати сушарки з киплячим (псевдозрідженим) шаром.

Зокрема:

Аскорбінова кислота має вміст адсорбційно зв'язаної вологи на рівні 1–8%, рекомендована кінцева вологість — до 0,15%. Рекомендовані апарати: сушарки з псевдозрідженим шаром, пневмотрубки, аерофонтанні установки, модифікації із закрученими потоками.

Гідрат діацетон-2-кетон-*L*-гулонової кислоти також сушать до вологості 0,1–0,5%, застосовуючи аналогічні гідродинамічні системи.

Таким чином, для більшості фармацевтичних речовин із початковою вологістю в межах 1–8% найбільш ефективним і доцільним є використання сушильних апаратів із псевдозрідженим (киплячим) шаром [3].

Переваги та недоліки сушарок з псевдозрідженим шаром

Переваги:

1. Висока ефективність сушіння завдяки інтенсивному перемішуванню частинок.
2. Можливість використовувати високі температури навіть для термочутливих речовин — через короткий контакт із гарячим повітрям матеріал не встигає перегрітись.
3. Раціональне використання тепла, що зменшує енергоспоживання.
4. Можливість повної автоматизації та стабільного контролю параметрів.
5. Рівномірна температура у всьому об'ємі шару, що забезпечує однорідність процесу.
6. Гнучке регулювання часу перебування матеріалу в апараті — від кількох хвилин до півгодини і більше.

Недоліки:

1. Обмежене застосування для матеріалів, які важко псевдозріджуються (з високою вологістю або великими частинками).
2. Високий опір газового потоку, що потребує потужних вентиляторів.
3. Зношування частинок і винесення пилу — можуть погіршити якість продукту і створити потребу в системах очистки.
4. Чутливість до порушень режиму: надмірне зволоження або зниження температури призводить до злипання частинок, утворення застійних зон і порушення подачі повітря.
5. Масштабування установок є складним — великі апарати потребують поділу на секції для рівномірного розподілу матеріалу на решітці.

Застосування сушарок з псевдозрідженим шаром

Апарат із псевдозрідженим шаром є сучасним і ефективним рішенням для видалення вологи з твердих, пастоподібних або гранульованих речовин. Завдяки активному перемішуванню матеріалу та щільному контакту з гарячим агентом забезпечується швидке й рівномірне випаровування вологи [1,2,3].

Ці установки активно застосовують у таких галузях:

Хімічна промисловість — для сушіння мінеральних солей, добрив, органічних сполук, каталізаторів.

Полімерна промисловість — підходять для обробки полівінілхлориду, поліетилену, поліпропілену тощо.

Фармацевтика — сушіння порошків, гранулятів, субстанцій і чутливих біоактивних речовин.

Виробництво барвників і пігментів — ефективне сушіння пастоподібних і тонкодисперсних матеріалів.

Обробка розчинів і суспензій — у спеціальних модифікаціях можливе зневоднення навіть розчинів і розплавів.

Таким чином, сушарки з псевдорозрідженим шаром — це універсальні апарати, здатні забезпечити якісне та швидке сушіння широкого спектру матеріалів.

Будова і загальний принцип роботи

За останні роки сушильні установки з псевдорозрідженим шаром стали широко застосовуватись у галузі мікробіологічного виробництва. Такі апарати використовують для сушіння продуктів мікробного синтезу, зокрема кормових дріжджів, антибіотиків, концентратів лізину, ферментних препаратів та інших біопродуктів. Принцип роботи полягає в тому, що сировина у формі порошку або кристалів висушується за допомогою швидкого потоку нагрітого повітря, в якому вона перебуває у зваженому стані [1,2,3,5].

Основна ідея роботи цих сушарок ґрунтується на протитечійній, стислому взаємодії дисперсної твердої фази з висхідним потоком теплоносія. У процесі взаємодії частинки, розділені газовим прошарком, швидко набувають температури теплоносія, що спричиняє інтенсивне випаровування вологи як з поверхні, так і з внутрішньої структури продукту. За рахунок цього підхід до сушіння у встановлених апаратах забезпечує порядкове підвищення інтенсивності випаровування порівняно з іншими типами сушарок.

Серед переваг використання сушарок з псевдорозрідженим шаром можна виділити можливість формування великої питомої поверхні контакту між продуктом і сушильним повітрям. Це забезпечує високу швидкість сушіння завдяки короткому перебуванню матеріалу в апараті, що дає змогу використовувати теплоносій з високою температурою. Крім того, конструкція таких установок є простішою та компактнішою. Водночас існують недоліки: регулювання процесу може бути складним, існує ризик вибуху при сушінні горючих запилених речовин, а також спостерігається високий енергоспоживання та значний гідравлічний опір.

Нова конструктивна концепція сушарки спрямована на удосконалення псевдорозрідженого шару за рахунок зниження гідравлічного опору та уникнення утворення застійних зон. Зокрема, патрубок для подачі сушильного

агента розташовано в нижній частині конусоподібного днища апарату, що дозволяє зменшити кут обдуву газорозподільної решітки цим агентом. Завдяки цьому поступає зниження гідравлічного опору в системі. Додатково, в самому днищі встановлено жалюзійні заслінки, які дозволяють регулювати напрямок потоку сушильного агента. Це сприяє рівномірному розподілу повітря і запобігає виникненню застійних зон, що позитивно впливає на якість готового продукту.

За схемою апарату, сировина надходить через патрубок 10, тоді як зріджуючий агент вводиться через патрубок 6. Регулювання заслінками в системі дозволяє формувати псевдорозріджений шар 8 усередині корпусу 12, завдяки якому матеріал рівномірно оброблюється. Подавання зріджуючого агента в канал 9 забезпечує точне розподілення вологого продукту в апараті, а спеціально розташована газорозподільна решітка 3 отримує сушильний агент саме в тих ділянках, де це потрібно для запобігання застою. Використаний агент виводиться через патрубок 6, а готовий висушений продукт – через розвантажувальний патрубок 4.

Новітні розробки в даній галузі дозволяють не тільки покращувати технічні характеристики сушарок, але й впроваджувати додаткові заходи безпеки. Наприклад, сучасні системи автоматичного контролю температури і тиску допомагають запобігти аварійним ситуаціям, а оптимізація енергоспоживання сприяє зниженню витрат. Такі інновації відкривають перспективи для подальшого підвищення ефективності виробничих процесів у мікробіологічному секторі та дозволяють розширити спектр застосування сушарок з псевдорозрідженим шаром [3,4,5].

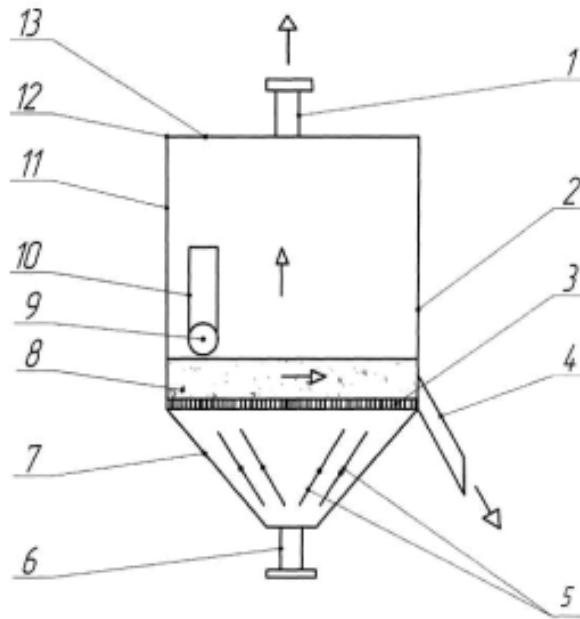


Рис. 1.1. Сушарка: 1,6 – газові патрубки; 2,11 – стінки; 3 – газорозподільний пристрій; 4 – розвантажувальний патрубок; 5 – змонтовані заслінки; 7 – днище; 8 – псевдо-розріджений шар; 9 – газовий канал; 10 – завантажувальний патрубок; 12 – корпус; 13 – кришка

Сушарки з псевдозрідженим шаром SPX Anhydro

Сушарки з псевдозрідженим шаром (ПЗШ) SPX Anhydro призначені для ефективного сушіння, охолодження та обробки порошкових матеріалів у різних галузях промисловості. Основна конструкція включає:

Корпус сушарки: циліндричної або конусоподібної форми, виготовлений з високоякісної нержавіючої сталі, що забезпечує довговічність та гігієнічність обладнання.

Газорозподільна решітка: розташована в нижній частині апарата, через яку подається нагріте повітря або інший теплоносій.

Система подачі продукту: забезпечує рівномірне надходження матеріалу до зони сушіння.

Витяжна система: видаляє відпрацьоване повітря та вологу з апарата.

Принцип роботи полягає в тому, що нагріте повітря подається через газорозподільну решітку, створюючи псевдозріджений стан частинок продукту. У цьому стані частинки перебувають у зваженому стані, що забезпечує інтенсивний тепло- та масообмін, сприяючи ефективному

сушінню. Такий підхід дозволяє досягти високої якості сушіння навіть для термочутливих матеріалів.

Переваги

- висока ефективність теплопередачі: забезпечує швидке та рівномірне сушіння продукту.
- м'яке оброблення матеріалу: зменшує ризик пошкодження частинок, що особливо важливо для крихких або термочутливих продуктів.
- гнучкість у налаштуванні процесу: можливість точної регуляції параметрів сушіння для досягнення бажаних характеристик продукту.
- універсальність застосування: підходить для сушіння, агломерації, охолодження, наплення покриттів та інших процесів.
- відповідність стандартам GMP та 3A: забезпечує високу якість та безпеку продукції, що особливо важливо у фармацевтичній та харчовій промисловості.
- широкий діапазон продуктивності: від кількох кілограмів до 20 тонн на годину, що дозволяє використовувати сушарки як у лабораторних умовах, так і в промисловому виробництві.

Недоліки

- складність регулювання процесу: потребує точного контролю параметрів для уникнення утворення застійних зон або нерівномірного сушіння.
- високе енергоспоживання: особливо при сушінні матеріалів з високою вологістю або при використанні високотемпературного теплоносія.
- ризик вибуху: при сушінні горючих або пилових матеріалів необхідно вживати додаткових заходів безпеки.
- необхідність рівномірного розміру частинок: для ефективного псевдозрідження бажано, щоб частинки мали схожі розміри та щільність.

Сушарки з псевдозрідженим шаром SPX Anhydro є сучасним та ефективним рішенням для обробки порошкових матеріалів у різних галузях

промисловості. Їх конструкція та принцип роботи забезпечують високу якість сушіння, зберігаючи при цьому властивості продукту. Завдяки гнучкості налаштувань та універсальності застосування, ці сушарки можуть бути адаптовані до специфічних вимог виробництва. Проте, для досягнення оптимальних результатів необхідно враховувати особливості матеріалу та забезпечити належний контроль процесу сушіння.



Рис. 1.2. Сушарки з псевдозрідженим шаром SPX Anhydro
Сушарки серії GFG

Сушарки серії GFG складаються з таких основних компонентів:

Система підготовки повітря: очищення, осушення та нагрівання повітря для забезпечення оптимальних умов сушіння.

Основний корпус: включає контейнер для матеріалу, дифузійну камеру, фільтраційну камеру та опорну колону.

Система розпилення: однонапірна, односоплова форсунка напірного типу з двоступеневою конструкцією розпилення для рівномірного розподілу матеріалу.

Витяжна система: вибухозахищений та амортизуючий відцентровий вентилятор високого тиску для ефективного видалення відпрацьованого повітря.

Система управління: автоматизоване регулювання температури та інших параметрів процесу сушіння.

Принцип роботи базується на створенні псевдозрідженого шару, де частинки матеріалу перебувають у зваженому стані завдяки потоку нагрітого повітря. Це забезпечує інтенсивний тепло- та масообмін, що сприяє ефективному сушінню.

Переваги:

- Висока ефективність сушіння: інтенсивний теплообмін забезпечує швидке та рівномірне видалення вологи.
- Універсальність: підходить для обробки різноманітних матеріалів, включаючи гранули, порошки та пастоподібні речовини.
- Гнучкість у налаштуваннях: можливість точного регулювання параметрів процесу для досягнення бажаних характеристик продукту.
- Висока якість продукції: забезпечує однорідність та стабільність властивостей готового продукту.
- Енергоефективність: оптимізоване споживання енергії завдяки ефективному теплообміну та автоматизованому управлінню.

Недоліки

- Складність регулювання процесу: потребує точного контролю параметрів для уникнення утворення застійних зон або нерівномірного сушіння.
- Високе енергоспоживання: особливо при сушінні матеріалів з високою вологістю або при використанні високотемпературного теплоносія.

- Ризик вибуху: при сушінні горючих або пилових матеріалів необхідно вживати додаткових заходів безпеки.
- Необхідність рівномірного розміру частинок: для ефективного псевдозрідження бажано, щоб частинки мали схожі розміри та щільність.

Сушарки з псевдозрідженим шаром серії GFG від Griffin Machinery є високоефективним рішенням для обробки різноманітних матеріалів у промислових умовах. Їх конструкція та принцип роботи забезпечують інтенсивне та рівномірне сушіння, що дозволяє зберігати якість та властивості продукту. Завдяки широкому діапазону моделей, ці сушарки можуть бути адаптовані до специфічних вимог виробництва, забезпечуючи гнучкість та ефективність процесу. Проте, для досягнення оптимальних результатів необхідно враховувати особливості матеріалу та забезпечити належний контроль параметрів сушіння.

Таблиця 1.1. Сушарки серії GFG

Модель	Обсяг контейнера (л)	Потужність (кг/партія)	Витрата пари (кг/год)	Потужність вентилятора (кВт)	Температура повітря на вході (°C)	Вміст кінцевої вологи (%)	Рівень шуму (дБ)
GFG-30	100	30	70	5.5	До 120 (автоматичне регулювання)	До 0.2	<75
GFG-60	220	60	140	11	До 120 (автоматичне регулювання)	До 0.2	<75
GFG-90	300	90	169	15	До 120 (автоматичне регулювання)	До 0.2	<75
GFG-120	420	120	211	18.5	До 120 (автоматичне регулювання)	До 0.2	<75
GFG-150	500	150	241	22	До 120 (автоматичне регулювання)	До 0.2	<75
GFG-200	670	200	282	22	До 120 (автоматичне регулювання)	До 0.2	<75

Модель	Обсяг контейнера (л)	Потужність (кг/партія)	Витрата пари (кг/год)	Потужність вентилятора (кВт)	Температура повітря на вході (°С)	Вміст кінцевої вологи (%)	Рівень шуму (дБ)
GFG-300	1000	300	366	30	До 120 (автоматичне регулювання)	До 0.2	<75
GFG-500	1500	500	465	45	До 120 (автоматичне регулювання)	До 0.2	<75



Рис. 1.3. Сушарки серії GFG

Висновок до розділу

У результаті аналізу існуючих технічних рішень апаратів для сушіння аскорбінової кислоти у псевдозрідженому шарі виявлено низку недоліків, що суттєво впливають на ефективність сушіння та якість кінцевого продукту. До основних недоліків відносяться: нерівномірність подачі вологого матеріалу у зону псевдозрідження, утворення грудок і агломератів внаслідок злипання частинок під час сушіння, а також недостатнє очищення відпрацьованого газового середовища, що ускладнює повторне використання сушильного агента або його скидання в атмосферу.

Принцип роботи типової схеми сушіння полягає у подачі аскорбінової кислоти у вигляді вологого порошку або грануляту на перфоровану решітку знизу апарата. Через цю решітку нагріте повітря подається у шар матеріалу, створюючи псевдозрідження. В процесі руху сушильного агента відбувається випаровування вологи, після чого газовий потік із залишками пилу та парою виводиться з апарата. У такій схемі подача продукту часто виконується вручну або з використанням простих дозаторів, без системи попереднього розпушення, а фільтрація газів обмежується грубими циклонами або простими фільтрами.

Для усунення виявлених проблем у рамках проєкту запропоновано такі заходи модернізації:

- встановлення автоматизованого шнекового дозатора, який забезпечує стабільну, рівномірну та контрольовану подачу вологого продукту у сушильну зону, що дозволяє уникнути перевантаження апарата та покращити однорідність сушіння.
- інтеграція спеціального протирального пристрою, призначеного для розпушення злежаного або злиплого матеріалу до його надходження в псевдозріджений шар. це сприяє покращенню тепломасообміну та запобігає утворенню агломератів.
- впровадження багатоступеневої системи очищення газового середовища, що включає вискоефективні фільтри та, за потреби,

абсорбційні або адсорбційні елементи. це дозволяє значно зменшити викиди шкідливих компонентів, знизити запиленість, а також створює можливості для рекуперації тепла.

Таким чином, реалізація запропонованих технічних рішень дозволяє підвищити стабільність та ефективність процесу сушіння, зменшити втрати продукту, поліпшити екологічну безпеку виробництва та забезпечити більш високу якість аскорбінової кислоти. Модернізація апарата спрямована на розв'язання ключових технологічних проблем і підвищення надійності обладнання при роботі з делікатними та термочутливими речовинами.

2. Техніко – економічне та соціальне обґрунтування

У процесі розроблення та впровадження вдосконаленої технології сушіння медичної аскорбінової кислоти (МАК) одним із ключових аспектів є техніко-економічна доцільність запропонованого рішення. Розглянута система сушіння з використанням псевдозрідженого шару, модернізована відповідно до сучасних вимог фармацевтичного виробництва, має низку переваг як з технічної, так і з економічної та соціальної точок зору.

Технічне обґрунтування

Проектована сушарка базується на принципі псевдозрідження, що забезпечує інтенсивний тепло- і масообмін між продуктом і сушильним агентом. У результаті такого процесу досягається висока рівномірність сушки, навіть при складному гранулометричному складі речовини. Завдяки застосуванню багатосекційної конструкції з протитечійним рухом повітря, можливе поетапне регулювання температурного режиму, що особливо важливо при обробці термочутливих речовин, таких як МАК.

Конструкція включає систему подрібнення вхідного вологого продукту, що дозволяє уникнути утворення агломератів і забезпечує рівномірне псевдозрідження. Важливим удосконаленням є очищення повітряного потоку на виході за допомогою рукавного фільтра, що дозволяє зменшити втрати пилової фракції МАК до мінімуму (менше 1%). Паралельно передбачена система рекуперації парів етилового спирту шляхом їх конденсації, що підвищує екологічну безпеку процесу.

Застосування секціонованої сушарки дозволяє регулювати інтенсивність сушіння в кожній зоні, що робить технологію гнучкою до різних режимів роботи і типів сировини. Передбачено також можливість інтеграції функції охолодження на фінальному етапі, що знижує навантаження на подальші стадії зберігання і пакування.

Економічне обґрунтування

Запропонована модернізація сушильної установки дозволяє значно скоротити енергетичні витрати за рахунок покращення гідродинамічного режиму, зменшення втрат тепла та ефективної утилізації побічних потоків (пилу, парів розчинника тощо). Порівняно з традиційними односекційними сушарками, нова система забезпечує скорочення тривалості сушіння на 20–30%, що зменшує енерговитрати на одиницю продукції до 15–20%.

Також слід враховувати економію сировини: втрата продукту внаслідок пиловиділення зменшується більш ніж удвічі, завдяки чому збільшується вихід придатної продукції. Оскільки вартість медичної аскорбінової кислоти є досить високою, навіть незначне підвищення виходу має суттєвий вплив на економічну ефективність.

Покращення санітарно-гігієнічних показників установки дозволяє зменшити витрати на обслуговування фільтраційних систем, а також знижує ризики повторного забруднення продукції. У разі застосування автоматизованих систем керування — зменшується потреба у великій кількості обслуговуючого персоналу, що додатково знижує експлуатаційні витрати.

Соціальне значення

З точки зору соціального впливу, розробка і впровадження вдосконаленої технології сушіння МАК має низку позитивних ефектів. Перш за все, забезпечення високої якості сушіння гарантує відповідність кінцевої продукції вимогам фармакопей, що напряду впливає на ефективність та безпеку лікарських засобів, що містять вітамін С.

Також важливим є екологічний аспект: нова система мінімізує викиди пилу в атмосферу та дозволяє утилізувати леткі органічні сполуки (зокрема, пари спирту), що зменшує навантаження на навколишнє середовище. Це, своєю чергою, покращує умови праці на виробництві, знижує професійні ризики для персоналу та сприяє дотриманню норм охорони праці й техніки безпеки.

Крім того, впровадження сучасного обладнання сприяє зростанню інноваційного потенціалу підприємства, відкриваючи можливості для співпраці з міжнародними фармацевтичними компаніями, підвищення конкурентоспроможності продукції на глобальному ринку та створення нових робочих місць у галузі технологічного обслуговування, логістики й інженерії.

3. Характеристика вихідної сировини і готового продукту

Особливості отримання синтетичних вітамінів

У процесі отримання синтетичних вітамінів існують певні особливості, які пов'язані передусім із використанням великої кількості хімічних речовин. Ці речовини відрізняються між собою за ступенем токсичності, а також за характером дії на організм людини. Серед них є сполуки, які викликають подразнення, діють токсично на організм загалом, впливають на кровотворну систему, викликають алергічні реакції або мають наркотичні властивості. На заключних етапах синтезу отримують біологічно активні речовини — вітаміни, що ще більше ускладнює гігієнічну ситуацію на виробництві.

Технологічний процес синтезу вітамінів зазвичай складається з багатьох стадій і проходить періодично. У більшості випадків температура, при якій ведуться ці процеси, знаходиться в межах 30–65 °С, але окремі етапи можуть вимагати нагрівання до 300–700 °С. Реакції проводяться як під звичайним атмосферним тиском, так і підвищеним — до 30–60 атмосфер, а також із використанням вакууму. Обладнання, що застосовується у виробництві, здебільшого запозичене з хімічної промисловості, оскільки технології мають багато спільного [8,9,10].

Однією з головних проблем виробництва є забруднення повітря в робочій зоні. Це забруднення викликається випарами і газами, які утворюються під час хімічних реакцій. Характер викидів шкідливих речовин у повітря залежить від хімічної природи реакцій, обладнання, що використовується, а також від того, як саме ведеться технологічний процес. Найбільш небезпечними з погляду гігієни є операції, пов'язані із завантаженням сировини (особливо сипких речовин), відбором проб, фільтрацією, вивантаженням напівпродуктів із центрифуг та фільтрів, сушкою, просіюванням і фасуванням готових вітамінів.

Спостереження за роботою апаратників показали, що вони перебувають під впливом шкідливих речовин протягом значної частини робочого часу — від 45 до 87% зміни. В окремі періоди концентрація цих речовин перевищує гранично допустимі норми (ГДК), причому на останніх стадіях виробництва це може тривати до половини всієї зміни. Окрім хімічного навантаження, на працівників можуть впливати й інші шкідливі фактори, зокрема виробничий шум та несприятливі метеорологічні умови в приміщеннях.

Тривалий контакт з хімічними речовинами призводить до певних змін у здоров'ї працівників. Найчастіше в них розвиваються хронічні запалення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів — риніти, фарингіти, ларингіти. Виникають також алергічні реакції, особливо під час контакту з вітамінами групи В — В1, В2, В6. Пил, що містить тіамінбромід (вітамін В1), у деяких випадках викликає розвиток бронхіальної астми. У разі контакту з нікелем, що використовується в синтезі деяких вітамінів, у працівників спостерігалися професійні дерматити.

Під впливом хімічних речовин також фіксувалися порушення деяких показників природного імунітету. У частини чоловіків і жінок, які працювали на цих виробництвах, спостерігалася нормохромна анемія — тип малокрів'я, що не пов'язаний із дефіцитом заліза. Крім того, тривалий вплив пилу вітамінів або проміжних продуктів синтезу може викликати порушення у взаємодії самих вітамінів в організмі, що потенційно знижує ефективність їх подальшого використання [9,10,11].

Отримання медичної аскорбінової кислоти з технічної

Медична аскорбінова кислота отримується шляхом перекристалізації технічної аскорбінової кислоти, а також з аскорбінової кислоти, що виділяється з маточних розчинів. Оскільки аскорбінова кислота є хімічно нестійкою сполукою, процес перекристалізації потребує суворого дотримання певних умов. Зокрема, операції розчинення, упарювання та сушіння необхідно проводити якомога швидше при температурах, що не перевищують 70 °С. Отримані розчини зберігають у холоді, а для їх освітлення застосовують

спеціально підготовлений активоване вугілля у обмежених кількостях. Вкрай важливо уникати будь-якого контакту з залізом, адже воно може спричинити окислення аскорбінової кислоти.

Процес отримання медичної аскорбінової кислоти охоплює кілька послідовних стадій. Спочатку отримують дистильовану воду, використовуючи перегонку попередньо пом'якшеної або артезіанської води. Після цього воду аналізують на вміст йонів заліза, хлоридів, сульфатів та органічних домішок, а також контролюють її рН, який повинен бути в межах від 4,5 до 7,8.

Активоване вугілля, яке застосовується в процесі перекристалізації, піддають відновленню з використанням глюкози в лужному середовищі за присутності кальцинованої соди. Процес відновлення проводиться при температурі 85–90 °С, після чого вугілля фільтрують та ретельно промивають гарячою дистильованою водою до досягнення нейтральної реакції середовища [8,9,10].

Основний етап — перекристалізація технічної аскорбінової кислоти та отримання медичної кислоти першої кристалізації — проводиться при температурі 80–85 °С у присутності активованого вугілля та трилону Б. Після цього суміш фільтрується при температурі 65–75 °С. Кристалізацію проводять протягом 4–6 годин при постійному перемішуванні та температурі 0–2 °С, після чого продукт фільтрується. Отримані кристали промивають холодною дистильованою водою, охолодженою до 0–2 °С, а також холодним етанолом. Сушіння здійснюється при температурі 80–85 °С (з використанням гарячої води). Вихід продукту першої кристалізації становить близько 66,7% від теоретично можливого.

Залишкові маточні розчини, які залишаються після кристалізації, не викидаються, а використовуються для отримання аскорбінової кислоти другої кристалізації. Їх упарюють і кристалізують аналогічно до першої стадії. У свою чергу, після другої кристалізації залишаються нові маточні розчини, з яких отримують кислоту третьої та четвертої кристалізацій. Таким чином,

загальний вихід медичної аскорбінової кислоти після усіх перекристалізацій досягає 92,2% у перерахунку на вихідну технічну кислоту.

Усі розчинники, які застосовуються в процесі синтезу, підлягають регенерації, що дозволяє знизити втрати та зменшити екологічне навантаження. Попри це, виробництво аскорбінової кислоти залишається складним багатостадійним процесом, що потребує значних обсягів сировини та розчинників. Одним із суттєвих недоліків цього виробництва є викиди в атмосферу та утворення великої кількості кислих стічних вод, особливо на стадії ацетонування — це створює серйозні екологічні проблеми, які потребують додаткового контролю та очищення.

Принципова технологічна схема отримання медичної аскорбінової кислоти (МАК):

1. Підготовка дистильованої води:

- Джерело: пом'якшена або артезіанська вода
 - Перегонка
 - Аналіз якості (рН, залізо, хлориди, сульфати, органіка)
 - Дистильована вода

2. Регенерація активованого вугілля:

- Вихідні речовини: відпрацьований активоване вугілля, глюкоза, кальцинована сода
 - Відновлення при 85–90 °С у лужному середовищі
 - Фільтрація
 - Промивання гарячою дистильованою водою
 - Активоване вугілля для освітлення

3. Перекристалізація технічної аскорбінової кислоти (ТАК):

- Вихідні речовини: ТАК, дистильована вода, активоване вугілля, трилон Б
 - Розчинення при 80–85 °С
 - Освітлення

- Фільтрація при 65–75 °С
- Кристалізація при 0–2 °С (4–6 год)
- Фільтрація
- Промивання: холодна дистильована вода → охолоджений етанол
- Сушіння при 80–85 °С
- МАК I-ї кристалізації (≈66,7%)

4. Переробка маточних розчинів:

- Маточні розчини після I-ї кристалізації
 - Упарювання
 - Кристалізація
 - МАК II-ї кристалізації
- Маточні розчини після II-ї кристалізації
 - Упарювання
 - Кристалізація
 - МАК III-ї кристалізації
- Маточні розчини після III-ї кристалізації
 - Упарювання
 - Кристалізація
 - МАК IV-ї кристалізації

5. Регенерація розчинників (етанолу та інших):

- Відпрацьовані розчинники
 - Регенерація
 - Повернення в цикл промивання/розчинення

6. Загальний вихід:

- Сумарний вихід МАК (I–IV кристалізації) — до 92,2% від ТАК

4. Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип дії модернізованого обладнання

Опис запропонованого технічного рішення

У процесі вдосконалення технології сушіння медичної аскорбінової кислоти (МАК) була розроблена нова сушильна система, яка поєднує в собі напрацювання попередніх проєктів та сучасні технічні рішення.

Нова система сушіння працює в безперервному режимі. Волога МАК подається стабільно за допомогою автоматизованого дозувального шнека, що забезпечує точну і рівномірну подачу продукту. Одночасно з подачею, сировина проходить через спеціально сконструйоване протиральне обладнання. Цей пристрій не лише подрібнює грудки, що утворюються під час зберігання, а й додатково розпушує продукт, підвищуючи рівномірність його сушіння.

Перед початком процесу в робочу камеру сушарки завантажуються порція вже висушеної МАК. Вона нагрівається повітряним потоком до температури 60–65°C, створюючи сприятливі умови для подальшого сушіння вологого продукту. Очищене повітря, що подається до камери, проходить попередню фільтрацію через вакуум-барабанний фільтр і подається газодувкою до парового калориметра. Там повітря підігрівається до робочої температури і рівномірно надходить у сушильну зону.

Під дією гарячого повітря МАК інтенсивно перемішується з попередньо прогрітою сухою масою. Така взаємодія забезпечує рівномірне видалення вологи без утворення застійних зон. Швидкість газового потоку підтримується в межах 0,4–0,6 м/с, що дозволяє уникнути як утворення каналів у місці подачі вологого продукту, так і його накопичення на решітках камери.

У процесі проходження через послідовні секції сушарки МАК досягає необхідної кінцевої вологості — не більше 0,1%. Після цього продукт вивантажується з апарата через шлюзовий затвор і надходить до бункера-накопичувача.

Частинки пилу, які утворюються під час сушіння і захоплюються повітряним потоком, ефективно відокремлюються в циклонах. Зібраний пил накопичується у спеціальній герметичній ємності. Відпрацьоване повітря проходить додаткове очищення в рукавному фільтрі, що дозволяє звести втрати МАК із повітряним потоком до рівня менше 1%.

Пари етилового спирту, які можуть бути присутні в продукті, конденсуються в холодильнику, охолодженому розсолем. Отриманий конденсат збирається в окремій ємності, що дозволяє запобігти його потраплянню в атмосферу. Завершальний етап — виведення очищеного повітря за допомогою кінцевої газодувки.

Ця вдосконалена система сушіння МАК забезпечує високу якість кінцевого продукту, стабільні технологічні параметри та відповідає сучасним вимогам фармацевтичного виробництва. Завдяки ефективному контролю температури, автоматизації всіх етапів та екологічній безпечності процесу, нова технологія значно підвищує продуктивність і знижує енерговитрати виробництва.

Будова та принцип дії модернізованого обладнання

Сушіння МАК здійснюється безперервно. Вологу сировину подають за допомогою дозувального шнека, який забезпечує рівномірне надходження. Для подрібнення грудок і розпушення матеріалу використовується спеціальний протиральний пристрій.

Перед початком роботи в сушильну камеру (поз. 1) завантажують певну кількість сухого МАК. Потім продукт підігрівають повітряним потоком до температури 60–65°C. Далі вологу сировину (вологість 3–6% за вмістом етилового спирту) подають із бункера-подавальника (поз. 2) через протиральний механізм (поз. 3) безпосередньо в сушильну зону.

Повітря, необхідне для сушіння, спочатку очищається вакуумно-барабанним фільтром (поз. 4), після чого подається газодувкою (поз. 5) у паровий калориметр (поз. 6), де підігрівається до потрібної температури. Потім гаряче повітря направляється в сушильну камеру.

У процесі сушіння волога МАК перемішується з уже сухим продуктом під дією газового потоку. При цьому швидкість повітря підтримується в межах 0,4–0,6 м/с. Завдяки цьому уникнуто утворення каналів у зоні подачі та застою продукту на решітці.

Пройшовши через усі секції сушарки, МАК висушується до вологості 0,1% і вивантажується через шлюзовий затвор (поз. 11) у приймальний бункер (поз. 12).

Частинки пилу, які виносяться повітряним потоком, відокремлюються в циклоні (поз. 7) і накопичуються в окремій ємності для збору пилу МАК (поз. 13).

Відпрацьоване повітря додатково очищується в рукавному фільтрі (поз. 14). Загальні втрати продукту з повітрям не перевищують 1%.

Пари етилового спирту охолоджуються в холодильнику (поз. 8), що працює з використанням охолоджувального розсолу. Конденсат накопичується в окремій ємності (поз. 9).

Очищене повітря остаточно виводиться в атмосферу за допомогою кінцевої газодувки (поз. 10).

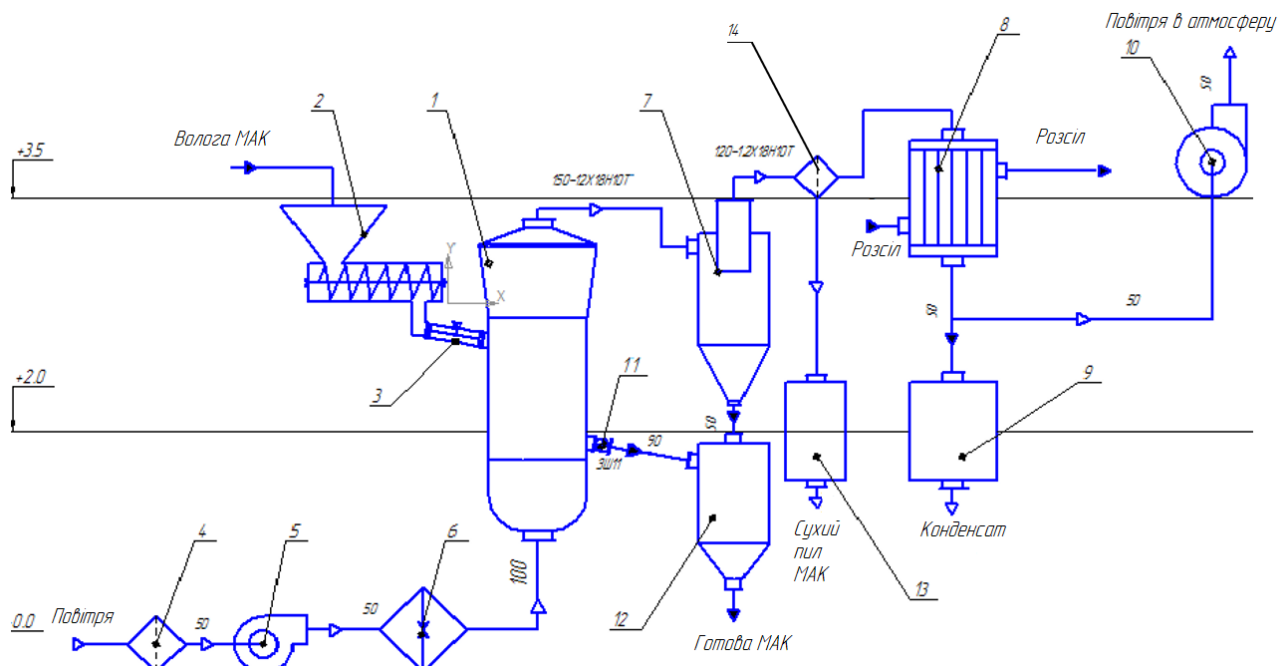


Рис. 4.1. Схема сушіння МАК

Опис конструкції апарата

Сушарки з псевдозрідженим шаром (так званим «киплячим» або «фонтануючим») поділяються на односекційні та багатосекційні. Найпростішими за конструкцією та експлуатацією є односекційні установки. Вони широко використовуються як в Україні, так і за кордоном. Незважаючи на певну нерівномірність сушіння, така особливість не є критичною для більшості речовин, оскільки при подальшому зберіганні вологість природно вирівнюється. Крім того, при подовженій формі апарата (коли його довжина вдвічі або більше перевищує ширину) можливо досягти більш однорідного процесу сушіння завдяки напрямленому переміщенню матеріалу.

У камерах односекційного типу, які можуть мати круглий або прямокутний переріз, найчастіше проводиться лише видалення поверхневої вологи. Залежно від температури і властивостей теплоносія, питомий рівень видалення вологи в таких установках може перевищувати 1000 кг з 1 м² газорозподільної решітки. Ці сушарки зазвичай використовують для обробки сипучих речовин, а також для зневоднення паст, розчинів і суспензій. Вони

працюють при значних швидкостях повітряного потоку, де число псевдозрідження може сягати 10, що забезпечує інтенсивне теплообмінне середовище.

Для досягнення більшої однорідності сушіння, особливо при роботі з термочутливими або такими, що містять зв'язану вологу, речовинами, використовують багатосекційні сушарки. Такі апарати поділяють на сушарки з перехресним потоком, де матеріал рухається поступово через усі секції, а новий теплоносій подається до кожної з них окремо, та протиточні каскадні сушарки, де потік матеріалу та гарячого повітря спрямовані назустріч один одному.

У перехресно-секційних сушарках камеру поділяють вертикальними перегородками, які можуть охоплювати лише сам шар продукту або поширюватися й на простір сепарації. У деяких випадках секції виконуються як окремі незалежні модулі. Іноді з метою економії виробничої площі секції розміщують одна над одною, утворюючи вертикальну компоновку. Такі сушарки ідеально підходять для обробки речовин, які вимагають тривалого зневоднення — зокрема, коли видаляється зв'язана волога. Для термочутливих матеріалів є можливість поступового зниження температури сушильного агента в напрямку руху продукту, що запобігає його перегріванню. Завершальні секції часто виконують функцію охолодження.

Під час сушіння повільно випаровуваної вологи багатосекційні апарати працюють при відносно низьких швидкостях псевдозрідження. Пористість шару при цьому знижується до 0,55–0,65, що забезпечує стабільність тепломасообміну.

Іншим різновидом є протиточні ступінчасті сушарки. У таких апаратах вологий матеріал подається згори, а сухий теплоносій подається знизу, рухаючись в протилежному напрямку. Продукт поступово переходить з однієї секції в іншу через отвори або спеціальні перетічні патрубки.

Для висушування сипких речовин зі складною внутрішньою структурою, які не реагують негативно на високі температури, найкраще підходять дво- та

трисекційні сушарки. Вони дозволяють повністю видалити вологу, знизити втрати пилу та досягти максимальної насиченості вихідного повітря. Крім того, ці апарати часто використовують як завершальну стадію сушіння для чутливих до температури матеріалів, де потрібна тривала експозиція при контрольованих параметрах і мінімальне розкидання за вологістю.

Сушарки з псевдозрідженим шаром можуть мати корпус постійного або змінного поперечного перерізу. Найчастіше застосовують апарати з циліндричними або конічними формами. У камерах з постійним поперечним перерізом спостерігається значна різниця у швидкості повітряного потоку між нижньою та верхньою частинами шару, що пов'язано з охолодженням газів у процесі сушіння. Це дозволяє підтримувати «киплячий» стан навіть при змішаному гранулометричному складі продукту.

Однак такий інтенсивний гідродинамічний режим не завжди є оптимальним для забезпечення однорідної якості сушіння. Тому дедалі частіше використовують сушарки з розширеним догори корпусом, наприклад з конічною формою. У таких апаратах повітряна швидкість на вході достатня, щоб піднімати великі частинки, тоді як у верхній частині швидкість зменшується, що дозволяє осаджуватись дрібним фракціям. Завдяки цьому досягається ефективна циркуляція продукту: крупні частинки піднімаються по центру, а дрібні — повертаються донизу по периферії. Така схема сприяє зменшенню пилоутворення, рівномірному нагріванню та загальному покращенню якості сушіння. Крім того, конструкція дозволяє зменшити висоту апарата без втрати продуктивності.

5. Підбір конструкційних матеріалів

Ми модернізуємо сушильну установку аскорбінової кислоти при температурі 60°C і вологості матеріалу 6%. При такій вологості та температурі, частки є корозійно активними, тому для конструкції апарату ми обираємо нержавіючу сталь 12X18H10T за ГОСТ 5632-74, яка здатна працювати в агресивному середовищі при температурах до 600°C.

Сталь 12X18H10T — це нержавіюча сталь, яка містить титан і належить до аустенітного класу. Її хімічний склад регламентується ГОСТ 5632-72 для нержавіючих сталей цього класу. Основними перевагами цієї сталі є висока пластичність і ударна в'язкість.

Оптимальним методом термічної обробки цієї сталі є закалювання при температурі 1050-1080°C у воді. Після цього механічні властивості стали характеризуються максимальною пластичністю та в'язкістю, але не надто високою міцністю та твердістю.

Аустенітні сталі застосовуються як жаростійкі при температурах до 600°C. Основними легуючими елементами є хром і нікель (Cr-Ni). Однофазні сталі мають стабільну структуру однорідного аустениту з незначним вмістом карбідних фаз титану, що запобігає міжкристалітній корозії. Така структура формується після закалювання в діапазоні температур 1050-1080°C. Аустенітно-феритні сталі мають дещо знижену міцність, в межах 700-850 МПа.

Нержавіюча сталь 12X18H10T широко використовується для виготовлення апаратів і конструкцій, які працюють у контакті з азотною кислотою, окислювальними середовищами, органічними кислотами середньої концентрації, органічними розчинниками та в умовах атмосферного впливу. Ця сталь є стійкою до корозії і застосовується в багатьох галузях промисловості.

Для більш агресивних середовищ використовують сталь 08X18H10T, яка має підвищену стійкість до міжкристалітної корозії.

Завдяки своїм унікальним властивостям і високим характеристикам, нержавіюча сталь 12X18H10T знайшла широке застосування в багатьох галузях. Продукція з цієї сталі має тривалий строк експлуатації і стабільно високі показники протягом усього терміну служби.

6. Розрахункова частина

Технологічний розрахунок сушарки.

Вихідні дані до розрахунку.

Продуктивність за вихідним матеріалом	$G_1=100$ кг/год;
Вологість матеріалу:	
Початкова	$u_1=6\%$;
Кінцева	$u_2=0,1\%$;
Температура теплоносія, °С:	
На вході у сушарку	$t_1 = 95$ ° С;
На виході із сушарки	$t_2 = 40$ ° С;
Температура шару	$\Theta_{сл} = 60$ ° С;
Температура матеріалу:	
Вступника	$\Theta_1 = 20$ ° С;
Відходить	$\Theta_2 = 60$ ° С;
Вологовміст теплоносія, що надходить	
калорифер для СпБ при вологості повітря $\phi_0=90\%$	
та температурі -20 °С	$x_0 = 0,00188$;
Теплоємність висушеного матеріалу	$z_m=0,88$ кДж/кг·К
Щільність матеріалу	$\rho_m=2710$ кг/м ³ .

Матеріальний розрахунок сушарки.

6.1 Продуктивність за висушеним матеріалом:

$$G_2 = \frac{100 - u_1}{100 - u_2} \cdot G_1 = \frac{100 - 6}{100 - 0,1} \cdot G_1 = 94,1 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

6.2 Кількість випаровуваної вологи:

$$W = G_1 - G_2 = 100 - 94,1 = 5,9 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

2 Тепловий розрахунок сушарки.

Витрата теплоти на сушіння

6.3 Ентальпія повітря, що виходить із калорифера:

$$i_1 = (1,0 + 1,96 \cdot x_0) \cdot t_1 + 2480 \cdot x_0 = (1,0 + 1,96 \cdot 0,00188) \cdot 95 + \\ + 2480 \cdot 0,00188 = 100,01 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

6.4 Ентальпія повітря, що надходить у калорифер:

$$i_0 = (1,0 + 1,96 \cdot x_0) \cdot t_0 + 2480 \cdot x_0 = (1,0 + 1,96 \cdot 0,00188) \cdot (-20) + \\ + 2480 \cdot 0,00188 = -15,411 \frac{\text{кДж}}{\text{кг сух повітря}},$$

6.5 Теплові втрати в сушарці, віднесені до 1 кг вологи, що випаровується:

$$\Delta = q_m + q_{\text{пот}} - c_{\text{возд}} \cdot \theta_1$$

Де

Q_m – теплота, що втрачається з висушеним матеріалом при нагріванні від 1 до 2

$$q_m = \frac{G_2 \cdot c_m}{W} \cdot (\theta_2 - \theta_1) = \frac{94,1 \cdot 0,88}{5,9} \cdot (60 - 20) = 561,4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$q_{\text{пот}}$ – Втрати теплоти в навколишнє середовище, що приймаються рівними 10% від витрати теплоти на нагрівання матеріалу і повітря до 60 °С

$$q_{\text{пот}} = 0,1(2480 + 1,96 \cdot \theta_2 + q_m - 4,19 \cdot \theta_1) = \\ = 0,1(2480 + 1,96 \cdot 60 + 561,4 - 4,19 \cdot 20) = 360,08 \frac{\text{кДж}}{\text{кг вологи}},$$

Тоді

$$\Delta = 561,4 + 360,03 - 4,2 \cdot 20 = 783,48 \frac{\text{кДж}}{\text{кг вологи}}.$$

6.6 Параметри повітря, що залишає сушарку:

Абсолютний вміст вологи x_2 визначаємо із системи рівнянь

$$A = \frac{i_1 - i_2}{x_2 - x_0}$$

$$i_2 = (1,0 + 1,96 \cdot x_2) \cdot t_2 + 2480 \cdot x_2$$

з якої маємо:

$$x_2 = \frac{i_1 - x_0 \cdot \Delta - 1,0 \cdot t_2}{\Delta + 1,96 \cdot t_2 + 2480} =$$

$$= \frac{100,01 - 0,00188 \cdot 783,48 - 1,0 \cdot 40}{783,48 + 1,96 \cdot 40 + 2480} = 0,0175 \frac{\text{кг}}{\text{кг сух повітря}},$$

Отже,

$$i_2 = (1,0 + 1,96 \cdot 0,0175) \cdot 40 + 2480 \cdot 0,0175 = 83,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг сух повітря}}.$$

6.7 Питома витрата теплоти:

$$q = \frac{i_1 - i_2}{x_2 - x_0} = \frac{100,01 - 15,41}{0,0175 - 0,00188} = 7398,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

6.7 Загальна витрата теплоти:

$$Q_{\text{общ}} = Wq = 7398,7 \cdot \frac{5,9}{3600} = 12,1 \text{ кВт.}$$

6.8 Параметри повітря, що йде, загальна і питома його витрата

а) Питома витрата:

$$G_{\text{уд}} = \frac{1}{x_2 - x_0} = \frac{1}{0,0175 - 0,00188} = 64,1 \frac{\text{кг}}{\text{кг вологи}},$$

б) Загальна витрата:

$$G = G_{\text{уд}} \cdot W = 5,9 \cdot 64,1 = 378,2 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

в) Відносна вологість повітря, що йде:

$$\varphi_2 = \frac{x_2 \cdot P \cdot 100}{p_{\text{нас}}(x_2 + 0,622)} = \frac{0,0175 \cdot 760 \cdot 100}{299(0,0175 + 0,622)} = 6,96\%.$$

Де

$P_{\text{нас}}$ – тиск насиченої пари,

P – атмосферний тиск.

г) Об'єм вологого повітря на виході з сушарки (при $t_2 = 40^\circ\text{C}$ та $\varphi_2 = 7\%$):

$$V = G \cdot \frac{R_r \cdot (T_0 + t_2)}{10000 \cdot (1 - \varphi_2)} = 378,2 \cdot \frac{29,27 \cdot (273 + 40)}{10000 \cdot (1 - 0,07)} = 372,6 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

(при цьому не враховані підсмоктування повітря через завантажувальний та розвантажувальний отвори та через нещільність).

Гідродинамічний розрахунок сушарки

6.9 Властивості повітря на виході із сушарки.

Середня щільність повітря

$$\rho_{\text{cp}} = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{cp}}} = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 47,5} = 1,101 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Де

ρ_0 – щільність повітря за нормальних умов (0 °С, 760 мм. рт. ст.),

$\rho_0 = 1293 \text{ кг/м}^3$;

T_0 – температура нормальних умов,

$T_0 = 273 \text{ К}$;

6.10 Щільність парів

$$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{п}0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{cp}}} = 0,803 \cdot \frac{273}{273 + 47,5} = 0,684 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

де

$\rho_{\text{п}0}$ – щільність повітря за нормальних умов (0 °С, 760 мм. рт. ст.),

$\rho_{\text{п}0} = 0,803 \text{ кг/м}^3$;

6.11 В'язкість повітря на виході із сушарки при 40°З:

$$\begin{aligned} \mu_t &= \mu_0 \cdot \frac{273 + C}{t_2 + C} \cdot \left(\frac{t_2}{273}\right)^{3/2} = \\ &= 17,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 124}{313 + 124} \cdot \left(\frac{313}{273}\right)^{3/2} = 19,27 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Де

$\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – в'язкість повітря при 0°З,

$C = 124$ – допоміжний коефіцієнт.

Кінематична в'язкість повітря:

$$\nu_t = \frac{\mu_t}{\rho_t} = \frac{19,27 \cdot 10^{-6}}{1,101} = 17,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Розрахунок швидкості псевдозрідження та початку винесення частинок

Діаметр частинок	$d_{\text{частина}} = 0,5 \text{ мм};$
Щільність частинок	$\rho_{\text{частин}} = 2710 \text{ кг/м}^3;$
Щільність повітря за нормальних умов	$\rho_{\text{повіт}} = 1293 \text{ кг/м}^3;$
Порізність спокійного шару частинок (3, стор.116)	$\varepsilon_0 = 0,38;$
Коефіцієнт неправильної форми частинок	$\Phi = 0,9;$
В'язкість повітря на виході із сушарки	$\mu_t = 19,27 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с};$

6.12 Визначимо критерій Архімеда

$$Ar = \frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho_{\text{час}} - \rho_{\text{сп}})}{v_t^2 \cdot \rho_{\text{сп}}} = \frac{9,81 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^3 \cdot (2710 - 1,101)}{(17,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1,101} = 1084444$$

6.13 Визначимо значення коефіцієнта ψ

$$\psi = \frac{\Phi^3 \varepsilon_0^3}{(1 - \varepsilon_0)^2} = \frac{0,9^3 \cdot 0,38^3}{(1 - 0,38)^2} = 0,104,$$

Визначимо

$$Ar \cdot \psi = 1084444 \cdot 0,104 = 112782,$$

Отже, модифікований критерій Рейнольдса, який відповідає швидкості псевдозрідження:

$$R_{e0}^I = \frac{0,275 \cdot (1 - \varepsilon_0)}{\Phi} \cdot (\psi \cdot Ar)^{0,57} =$$

$$= \frac{0,275 \cdot (1 - 0,38)}{0,9} (0,104 \cdot 112782)^{0,57} = 143,6,$$

При $Ar > 83 \cdot 10^3$ знаходимо режим руху, відповідний винесення частинок:

$$R_{e0}^{II} = 1,74 \cdot Ar^{0,5} = 1,74 \cdot 1084444^{0,5} = 1811,98,$$

6.14 Визначимо швидкість псевдозрідження:

$$\omega_{\text{пс}} = \frac{R_{e0}^I}{d} \cdot v_t = \frac{143,6}{0,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 17,5 \cdot 10^{-6} = 0,52 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

6.15 Визначимо швидкість винесення твердих частинок:

$$\omega_{\text{ун}} = \frac{R_{e0}^{II}}{d} \cdot v_t = \frac{1811,98}{0,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 17,5 \cdot 10^{-6} = 3,62 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Розрахунок числа псевдозрідження частинок та робочої швидкості.

Порізність киплячого шару $\varepsilon = 0,75$

6.16 Критерій Рейнольдса при швидкості витання частинок

$$Re_{\text{вит}} = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61 \cdot \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} = \frac{1084444 \cdot 0,75^{4,75}}{18 + 0,61 \cdot \sqrt{1084444 \cdot 0,75^{4,75}}} = 711,29,$$

6.17 Тоді дійсна (робоча) швидкість повітря:

$$\omega_{\text{вит}} = \frac{Re_{\text{вит}} \cdot v_t}{d} = \frac{711,29 \cdot 17,5 \cdot 10^{-6}}{0,0005} = 2,49 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

6.18 Дійсна кількість псевдозрідження

$$k_{\omega} = \frac{\omega_{\text{вит}}}{\omega_{\text{пс}}} = 4,8.$$

Розрахунок діаметра апарату

6.19 Площа перерізу верху шару

$$F = \frac{V}{3600 \cdot (\omega_{\text{возд}})_{\text{опт}}},$$

6.20 Рейнольдс за оптимальної швидкості

$$Re_{\text{опт}} = 0,22 \cdot Ar^{0,52} = 0,22 \cdot 10844444^{0,52} = 302,5,$$

Також

$$Re_{\text{опт}} = \frac{(\omega_{\text{возд}})_{\text{опт}} \cdot d}{v_t},$$

Отже,

$$302,5 = \frac{(\omega_{\text{возд}})_{\text{опт}} \cdot 0,0005}{17,5 \cdot 10^{-6}},$$

6.21 Звідки знаходимо

$$(\omega_{\text{возд}})_{\text{опт}} = 1,06 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$F = \frac{372,6}{3600 \cdot 1,06} = 0,098 \text{ м}^2,$$

6.22 Тоді діаметр решітки дорівнюватиме:

$$D_p = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,098}{3,14}} = 0,378 \text{ м},$$

Приймаємо діаметр ґрат $D_p = 380 \text{ мм}$.

6.23 Площа перерізу сепараційного простору

$$F_{\text{сеп}} = 1,1 \cdot F \cdot \frac{(\omega_{\text{возд}})_{\text{опт}}}{\omega_{\text{вит}}} = 1,1 \cdot 0,098 \cdot \frac{1,06}{2,49} = 0,046 \text{ м}^2,$$

6.24 Тоді діаметр апарата дорівнюватиме

$$D_{\text{ап}} = \sqrt{\frac{G}{0,785}} = \sqrt{\frac{378,2}{0,785}} = 0,396 \text{ м},$$

Приймаємо діаметр апарату $D_{\text{ап}} = 400 \text{ мм}$.

Визначення висоти псевдозріженого шару

6.25 Приймаємо діаметр отворів розподільних ґрат

$$d_0 := 2,5 \text{ мм}$$

6.26 Висота гідродинамічної стабілізації шару

$$H_{\text{ст}} = 20 \cdot d_0 = 20 \cdot 2,5 = 50 \text{ мм},$$

6.27 Висота шару матеріалу

$$H = 4 \cdot H_{\text{ст}} = 5 \cdot 50 = 200 \text{ мм},$$

6.28 Висота сепараційного простору

$$H_c = 5 \cdot H = 5 \cdot 200 = 1000 \text{ мм}.$$

Приймаємо загальну висоту сепараційного простору апарату 1000 мм.

6.29 Число отворів у розподільній решітці визначають за рівнянням

$$n = \frac{d^2 F_c \cdot S}{\pi \cdot d_0^2} = \frac{2^2 \cdot 0,05}{0,0025^2} = 32000 \text{ отв.}$$

Де

S – переріз розподільної решітки, чисельно дорівнює перерізу сушарки, 0,046 м²;

F_c – Частка живого перерізу решітки, що приймається в інтервалі від 0,02 до 0,1;

d_0 – діаметр отворів.

Застосовуємо розташування отворів у розподільних ґратах по кутах рівносторонніх трикутників. При цьому поперечний крок t' і поздовжній крок t'' обчислюють за такими співвідношеннями:

6.30 Поперечний крок:

$$t^I = 0,95d_0F_c^{-0.5} = 0,95 \cdot 0,0025 \cdot 0,05^{-0.5} = 0,0087 \text{ м.}$$

6.31 Поздовжній крок

$$t^{II} = 0,866 \cdot t^I = 0,866 \cdot 0,0087 = 0,0075 \text{ м.}$$

Розрахунок гідравлічного опору ґрат.

6.32 Опір шару дорівнюватиме:

$$\Delta p_{\text{сл}} = H_{\text{сл}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g = 0,2 \cdot 2710 \cdot (1 - 0,75) \cdot 9,8 = 2655,8 \text{ Па}$$

Де

$H_{\text{сл}}$ – висота шару, прийняли 200 мм,

$\rho_{\text{м}}$ – щільність матеріалу,

ε_0 – порізність нерухомого шару.

Для задовільного розподілу газового потоку необхідно дотримуватись певного співвідношення між гідравлічними опорами шару та решітки. Мінімально допустимий гідравлічний опір решітки ΔP_{min} може бути обчислений за формулою

$$\Delta P_{\text{min}} = \Delta p_{\text{сл}} K_w^2 (\varepsilon - \varepsilon_0) / [(K_w^2 - 1)(1 - \varepsilon_0)]$$

6.33 Порізність нерухомого шару ε_0 для кулястих частинок приймають рівною 0,4. Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$\Delta P_{\text{min}} = \frac{2655,8 \cdot 1,3^2 \cdot (0,75 - 0,4)}{(1,3^2 - 1) \cdot (1 - 0,4)} = 423,9 \text{ Па,}$$

6.34 Гідравлічний опір вибраної решітки

$$\Delta P_p = \zeta \left(\frac{\omega}{F_c} \right)^2 \frac{\rho_1}{2}$$

Де

Коефіцієнт опору решітки = 1,75,

$\rho_1 = 0,94 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря за температури шару,

$\omega = 2,49 \text{ м/с}$ – робоча швидкість повітря.

6.35 Тоді:

$$\Delta P_p = 1,75 \left(\frac{2,49}{0,05} \right)^2 \frac{0,94}{2} = 539 \text{ Па.}$$

Значення $\Delta P_p = 1039 \text{ Па}$ перевищує мінімально допустимий

гідравлічний опір решітки P_{\min} .

6.36 Загальний гідравлічний опір сушарки дорівнює:

$$\Delta P = 539 + 2655,8 = 3195,6 \text{ Па.}$$

Підбір допоміжного обладнання

6.37 Підбір газодувки

Об'ємна витрата повітря на виході:

$$Q = \frac{V}{\rho} = \frac{0,105}{0,97} = 0,108 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Де

V – об'ємна продуктивність повітрям,

ρ – густина повітря на вході в сушарку.

По гідравлічному опорі та об'ємній витраті вибираємо газодувку ТВ–25–1,1, для якої:

натиск 10000 Па,

продуктивність $Q = 0,833 \text{ м}^3/\text{с}$,

число оборотів $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$,

електродвигун потужністю 22 кВт.

6.38 Підбір живильників

Годинна об'ємна продуктивність установки:

$$Q = \frac{G}{\rho_n} = \frac{100}{1440} = 0,07 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Де

$\rho_n = 1400 \text{ кг/м}^3$ – насипна густина

$G = 100 \text{ кг/год}$ – продуктивність установки за годину.

Для завантаження установки вибираємо гвинтовий живильник типу ПВ–0,2 з наступними характеристиками:

продуктивність – 0, м³/година,

габаритні розміри (В * L * Н) – 1237 * 730 * 572 мм,

діаметр валу – 50 мм,

потужність приводу – 0,25 кВт.

Для розвантаження установки вибираємо шлюзовий живильник типу ПШ1–1 з наступними характеристиками:

продуктивність – до 1,5÷5 м³/година,

об'єм ротора – 2.5÷2.8 дм³,

потужність приводу – 1 квт.

Вибір калорифера

Вихідні дані:

Витрата повітря $Q = 0,4$ м³/с,

Температура $t = 60$ °С.

Повітря вводиться в нижню частину сушарки.

Тиск вихідного повітря та уад шаром матеріалу атмосферний.

Матеріал є частинками,

щільність яких $\rho_m = 800$ кг/м³,

середній розмір $d_{\text{ч}} = 0.0005$ м,

фактор форми $\Phi = 0,8$.

Висота нерухомого шару матеріалу $H = 0,2$ м,

Порізність $\varepsilon = 0,75$ м³/м³.

Внутрішній діаметр сушарки $D = 0,38$ м–коду.

На трубопроводі є чотири коліна під кутом 90° та одна засувка.

Робоча швидкість повітря в апараті $\omega_0 = 2,49$ м/с,

Швидкість псевдозрідження $\omega_{\text{пс}} = 0,52$ м/с.

Визначаємо стан (нерухомий або псевдозріджений) шару.

6.39 Визначимо критерій Рейнольдса у шарі за формулою:

$$Re = \frac{2}{3} \cdot \frac{\Phi}{(1 - \varepsilon)} Re_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,8}{(1 - 0,75)} \cdot 60,73 = 125,6,$$

Де

$$Re_0 = \frac{\omega_0 \cdot d_{\text{ч}} \cdot \rho}{\mu} = \frac{2,49 \cdot 0,0005 \cdot 0,94}{19,27 \cdot 10^{-6}} = 60,73,$$

Де

$\rho = 0,94$ – щільність повітря за температури $t = 60$ °С,

$\mu = 19,26 \cdot 10^{-6}$ Па – в'язкість повітря при температурі $t = 60$ °С.

9.4 Розрахуємо загальний коефіцієнт гідравлічного опору λ за формулою:

$$\lambda = \frac{133}{Re} + 2,34 = \frac{133}{125,6} + 2,34 = 3,37.$$

Гідравлічний опір шару було знайдено раніше і одно

$\Delta p_{сл} = 2655,8$ Па.

6.40 Загальний гідравлічний опір сушарки було розраховано вище:

$$\Delta P_a = 3195,6 \text{ Па.}$$

Прийmemo швидкість повітря у трубопроводі $\omega = 10$ м/с.

6.41 Тоді діаметр трубопроводу дорівнюватиме:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,11}{3,14 \cdot 10}} = 0,118 \text{ м,}$$

Вибираємо сталевий трубопровід зовнішнім діаметром 133 мм та товщиною стінки 4 мм.

Тоді внутрішній діаметр $d_B = 0,125$ м.

Фактична швидкість у трубі

$$\omega_{\phi} = \frac{Q \cdot 4}{(\pi \cdot d_B)^2} = \frac{0,11 \cdot 4}{(3,14 \cdot 0,125)^2} = 2,85 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

6.42 Критерій Рейнольдса для потоку в трубопроводі:

$$Re_T = \frac{\omega \cdot d_B \cdot \rho}{\mu} = \frac{2,85 \cdot 0,125 \cdot 0,94}{19,27 \cdot 10^{-6}} = 41768.$$

Прийmemo, що труби були в експлуатації, мають незначну корозію. Тоді абсолютна шорсткість труби $\Delta = 0,15$ мм.

6.43 Отримаємо відносну шорсткість труби:

$$e = \frac{\Delta}{d_B} = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{0,125} = 12 \cdot 10^{-4},$$

6.44 Перевіряємо зону тертя:

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{12 \cdot 10^{-4}} = 833,$$
$$10 \frac{1}{e} = 10 \cdot \frac{1}{12 \cdot 10^{-4}} = 8330,$$

$$560 \cdot \frac{1}{e} = 560 \cdot \frac{1}{12 \cdot 10^{-4}} = 466667,$$

6.45 Тоді перевіряємо умову для зони змішаного тертя:

$$\frac{10}{e} < Re < \frac{560}{e},$$

Отримали:

$$8330 < 41768 < 466667,$$

Отже, обрано зону змішаного тертя.

Таким чином, розрахунок λ слід проводити для зони змішаного тертя за формулою

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(12 \cdot 10^{-4} + \frac{68}{17378} \right)^{0,25} = 0,029.$$

Визначимо коефіцієнти місцевих опорів:

- 1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями): $\zeta_1 = 0,5$;
- 2) засувка для $d=0,125$ м $\zeta_2=0,2$;
- 3) коліно: $\zeta_3 = 1,1$;
- 4) вихід із труби: $\zeta_4 = 1$.

6.46 Сума коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\sum \zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + 4 \cdot \zeta_3 + \zeta_4 = 0,5 + 0,2 + 4 \cdot 1,1 + 1 = 6,1.$$

6.47 Гідрравлічний опір трубопроводу за формулою:

$$\Delta p_T = \left(\frac{\lambda \cdot l}{d_B} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = \left(\frac{0,029 \cdot 15}{0,125} + 6,1 \right) \cdot \frac{0,94 \cdot 2,85^2}{2} = 36,52 \text{ Па.}$$

Надлишковий тиск, який повинен забезпечити вентилятор для подолання гідрравлічного опору апарату та трубопроводу, дорівнює:

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_T = 3195,6 + 36,54 = 3232,14 \text{ Па.}$$

Таким чином, потрібний вентилятор середнього тиску.

6.48 Корисну потужність його знаходимо за формулою:

$$N_n = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = Q \cdot \Delta p = 0,11 \cdot 3232 = 355 = 0,36 \text{ кВт.}$$

Приймаючи ККД передачі $\eta_n = 0,6$,

$$\text{ККД насоса } \eta_n = 1,$$

6.49 Знайдемо потужність електродвигуна насоса:

$$N = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{0,36}{1 \cdot 0,6} = 0,59 \text{ кВт.}$$

Знаходимо, що отриманим даним найкраще задовольняє вентилятор Ц1–8500.

Продуктивність вентилятора $Q = 2,36 \text{ м}^3/\text{с}$,

Перепад тиску $\Delta p = 3280 \text{ Па}$,

Кількість оборотів $n = 46,7 \text{ с}^{-1}$.

Вибір циклону

Вихідні дані:

кількість газу, що очищається при робочих умовах $Q_0 = 0,091 \text{ м}^3/\text{с}$;

щільність газу за робочих умов $\rho_{\text{г}} = 1,158 \text{ кг}/\text{м}^3$;

щільність пилу матеріалу за робочих умов $\rho_{\text{г}} = 1930 \text{ кг}/\text{м}^3$;

динамічна в'язкість газу при робочій температурі $\mu_{\text{т}} = 22,22 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$;

дисперсний склад пилу, що задається двома параметрами

$$d_{\text{м}} = 5 \text{ мкм}$$

$$\lg \sigma_{\text{г}} = 0,283;$$

запиленість газу $C_{\text{вх}} = 10 \text{ г}/\text{м}^3$;

густина частинок $\rho_{\text{ч}} = 2700 \text{ кг}/\text{м}^3$;

необхідна ефективність очищення газу $\eta = 80\%$.

Розрахунок циклонів проводиться методом послідовних наближень у такому порядку:

6.50 Задавшись типом циклону (ЦН–15У) визначаємо оптимальну швидкість газу в апараті $\omega_{\text{опт}} = 3,5 \text{ м}/\text{с}$.

6.51 Визначаємо необхідну площу перерізу циклону, м^2 :

$$F = \frac{Q_{\text{р}}}{\omega_{\text{опт}}} = \frac{0,091}{3,5} = 0,026 \text{ м}^2.$$

6.52 Визначаємо діаметр циклону, задаючись кількістю циклонів $N=1$ шт.

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785 \cdot N}} = \sqrt{\frac{0,026}{0,785 \cdot 1}} = 0,181 \text{ м.}$$

Діаметр циклону округляємо до значення, вказаного у таблиці 2.2[1].

У разі $D = 0,2$ м.

6.53 Обчислюємо дійсну швидкість газу в циклоні, м/с:

$$\omega = \frac{Q_p}{0,785 \cdot N \cdot D^2} = \frac{0,091}{0,785 \cdot 1 \cdot 0,2^2} = 2,95 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Швидкість газу в циклоні має відхилитися від оптимальної більш ніж 15%.

У разі відхилення становить 14 %, що припустимо.

1. Приймаємо коефіцієнт гідравлічного опору, відповідний даному циклону: c (м) $4500 = 155$.

K_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклону

$$K_1 = 1;$$

K_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газу

$$K_2 = 0,92;$$

K_3 – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тиску

$$K_3 = 35$$

$$\zeta = k_1 \cdot k_2 \cdot \zeta_{4500}^{c(M)} + k_3 = 0,92 \cdot 0,9 \cdot 155 + 35 = 163,3.$$

6.54 Визначаємо втрати тиску в циклоні, Па:

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 163,3 \cdot \frac{1,158 \cdot 2,95^2}{2} = 823 \text{ Па.}$$

6.55 Приймавши параметри, що характеризують ефективність обраного типу циклону, визначаємо значення параметра d_{50} за робочих умов (діаметр циклону, швидкість потоку, щільність пилу, динамічна в'язкість газу) за рівнянням:

$$d_{50} = d_{50T} \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{D_T}\right) \cdot \left(\frac{\rho_q}{\rho_T}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_T}\right) \cdot \left(\frac{\omega_T}{\omega}\right)} = \\ = 6 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,2}{0,6}\right) \cdot \left(\frac{2710}{1930}\right) \cdot \left(\frac{19,27 \cdot 10^{-6}}{22,22 \cdot 10^{-6}}\right) \cdot \left(\frac{3,5}{2,95}\right)} = 4,2,$$

Де

$$d_{50T} = 6 \text{ мгм,}$$

$$\lg \sigma_{\eta} = 0,283;$$

густина частинок – $\rho_{\text{ч}} = 2700 \text{ кг/м}^3$

щільність пилу матеріалу за робочих умов $\rho_{\text{г}} = 1930 \text{ кг/м}^3$;

динамічна в'язкість газу при робочій температурі $\mu_{\text{т}} = 22,22 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$;

6.56 Визначаємо параметр X за формулою:

$$X = \frac{\lg \frac{d_{\text{м}}}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}}} = \frac{\lg \frac{5}{4,2}}{\sqrt{10,283 + 0,4}} = 0,189.$$

6.57 Визначаємо значення $\Phi(X)$, що є повним коефіцієнтом очищення газу, виражений у частках:

$$\Phi(0,189) = 0,5793,$$

6.58 Фактичний ступінь очищення, %:

$$\eta = 50[1 + \Phi(x)] = 50 \cdot (1 + 0,5793) = 78,96\%.$$

Підбираємо циклон ЦН–15–200×1УП.

Умовне позначення:

Ц–циклон; Н–конструкція НДІОЗАЗу; цифри по тирі: перша (200) – внутрішній діаметр циліндричної частини циклону (мм); друга (після знака множення) – кількість циклонів у групі; У – удосконалений; П – пірамідальна форма бункера.

Для проектування та побудови циклону необхідні геометричні розміри. Для цього використовуємо співвідношення розмірів (у частках внутрішнього діаметра):

6.59 Внутрішній діаметр вихлопної труби

$$D_{\text{ВЫХ}} = 0,6 \cdot D = 0,6 \cdot 200 = 120 \text{ мм},$$

6.60 Висота циліндричної частини циклону

$$H_{\text{ц}} = 2,26 \cdot D = 2,26 \cdot 200 = 452 \text{ мм},$$

6.61 Висота конуса циклону

$$H_{\text{к}} = 2,0 \cdot D = 2,0 \cdot 200 = 400 \text{ мм},$$

6.62 Висота зовнішньої частини вихлопної труби

$$H_{\text{в}} = 0,66 \cdot D = 0,66 \cdot 200 = 132 \text{ мм}$$

6.63 Загальна висота циклону

$$H = 120 + 452 + 400 + 132 = 984 \text{ мм.}$$

Таблиця 6.1. – Технічна характеристика Циклону ЦН–15–200 × 1УП

Типорозмір циклону	Площа перерізу циліндричної частини корпусу (групи корпусів), м ²	Продуктивність, м ³ /год		Робочий об'єм бункера, м ³
		при V=2,5 м/с	при V=4 м/с	
ЦН–15–200 ×1УП	0,0314	283	452	0.04

7. Розрахунок технології виготовлення фланця

Вступ

Сучасне машинобудування вимагає не лише точного конструювання деталей, а й розробки ефективних технологічних процесів їх виготовлення, що забезпечують високу якість, точність і повторюваність продукції. У фармацевтичному обладнанні, зокрема в сушарках із псевдозрідженим шаром, особливе значення має надійність вузлів, які працюють під дією тиску, температури й вібрацій. Елементом, що критично впливає на герметичність та стабільність з'єднань, є фланцеві деталі. Їхня обробка вимагає дотримання високих вимог до точності розмірів, геометричних форм та шорсткості поверхні.

У цьому розділі розглянуто повний цикл технологічної підготовки виробництва фланця, який застосовується в конструкції сушарки для медичної аскорбінової кислоти. Проведено аналіз конструкції, вибрано заготівлю, обґрунтовано маршрут обробки, підбрано інструмент та обладнання. Особливу увагу приділено сучасним методам забезпечення точності та якості — застосуванню верстатів з ЧПК, контролю 3D-засобами та автоматизованому вимірюванню. Цей підхід дозволяє забезпечити стабільність параметрів у серійному виробництві та відповідність готового виробу вимогам експлуатаційної надійності, що є критично важливим для фармацевтичного призначення обладнання.

Вибір деталі для технічного аналізу

У межах цієї роботи об'єктом технологічного аналізу було обрано фланець, який входить до складу вузла трубопровідного з'єднання у сушарці з псевдозрідженим шаром для медичної аскорбінової кислоти. Фланець виконує важливу функцію забезпечення герметичного та механічно надійного стику між окремими частинами технологічної лінії, по якій

подається як сам продукт, так і сушильний агент. Його геометрія має ключове значення для правильного монтажу та експлуатації всієї системи сушіння, а висока точність виготовлення — критична для дотримання герметичності та відсутності втрат середовища. Саме тому деталь фланця була обрана для поглибленого вивчення та розробки оптимальної технології виготовлення.

Аналіз конструкції деталі

Фланець має складну конфігурацію із центральним наскрізним отвором діаметром 50Н9, двома додатковими монтажними отворами 30Н9, а також розширенням у вигляді фланцевої платформи. Вимоги до точності високі: передбачено допуски на співвісність, перпендикулярність та геометричні форми, особливо для отворів та прилягаючих площин. Крім того, на кресленні встановлено низку вимог до шорсткості оброблених поверхонь — Ra в межах 0,8–3,2 мкм залежно від функціонального призначення поверхні. Для виготовлення фланця застосовується конструкційна сталь типу Ст45, яка характеризується хорошою оброблюваністю, стабільною механічною структурою, та відповідає умовам роботи при змінних термічних та механічних навантаженнях.

Вибір способу отримання заготовки

Оптимальним методом отримання заготовки є попереднє лиття з наступним механічним обробленням. Такий підхід дозволяє отримати достатню точність форми, мінімізувати відхід матеріалу і забезпечити щільну внутрішню структуру металу, що особливо важливо для роботи в умовах дії тиску. Заготовка підлягає первинному очищенню та підготовці — зокрема, обрізанню торців на відрізнному верстаті, видаленню окалини, вирівнюванню геометрії. При серійному виробництві можливе застосування автоматизованих ліній з термічною обробкою заготовок перед механічною обробкою.

Вибір технологічної бази

Для забезпечення високої точності базування при токарній обробці первинною технологічною базою обрано зовнішню циліндричну поверхню та один з торців заготовки. Це дозволяє забезпечити правильне положення деталі на верстаті та точне виконання отворів. У наступних установках уточнення баз здійснюється за внутрішніми діаметрами або центруванням по оброблених отворах. Такий підхід мінімізує накопичення похибок та дозволяє виконати ключові посадкові поверхні відповідно до креслення.

Розробка маршрутного технологічного процесу

Повний технологічний процес виготовлення фланця включає в себе такі операції:

1. Відрізання заготовки необхідної довжини з подальшою обробкою торців.
2. Чорнове точіння зовнішнього діаметра та фасок.
3. Чистове точіння та калібрування основних циліндричних поверхонь.
4. Розточування центрального отвору до розміру 50Н9.
5. Розмітка та свердління монтажних отворів діаметром 30 мм із наступною розгорткою до точного розміру Н9.
6. Фрезерування зовнішнього профілю фланця на верстаті з ЧПК за допомогою моделі CAD/CAM.
7. Чистове шліфування прилеглих площин.
8. Контроль геометрії та шорсткості.

Процес структуровано таким чином, щоб забезпечити мінімальну кількість переналагоджень, стабільну якість і можливість автоматизації етапів.

Вибір обладнання, інструменту та оснащення

Для токарної обробки використовується універсальний токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20 або його цифровий аналог. Свердління і фрезерування здійснюється на вертикальному оброблювальному центрі з ЧПК (наприклад, HAAS VF-2 або 3-осьові Mazak VCN). Для обробки отворів — твердосплавні спіральні свердла, розгортки точного калібру, фасонні фрези.

Оснащення — трикулачні патрони, центрувальні оправки, призми для базування, а також стандартні затискні елементи.

Якість поверхні та допуски

На відповідальних поверхнях передбачено шорсткість Ra 1,6 мкм, на другорядних — Ra 3,2 мкм. Всі розміри з посадками H9 контролюються відповідно до ISO 286. Співвісність отворів перевіряється індикатором відносно базових поверхонь. Використовуються як механічні засоби контролю (штангенциркулі, мікрометри), так і 3D-контрольно-вимірювальні машини (наприклад, Mitutoyo Crysta).

Контроль якості та технічні вимоги

Контроль здійснюється на кожному етапі технологічного процесу: після точіння, розточування, свердління, шліфування. Здійснюється вимірювання основних розмірів, контроль співвісності, радіального биття та параметрів шорсткості. При серійному виробництві передбачено введення проміжного та вихідного контролю, оформлення карт технічного контролю, а також паспортизація деталей, що підлягають відповідальному монтажу.

Оцінка технологічності та економічності

Конструкція деталі відповідає сучасним вимогам технологічності. Всі поверхні доступні для обробки на стандартних верстатах, не вимагають складного інструменту. Застосування ЧПК-обладнання дозволяє автоматизувати виготовлення, зменшити втрати часу на переналагодження та знизити брак. Орієнтовна трудомісткість виготовлення однієї деталі — 1,5–2,0 нормо-години. При використанні палетної подачі та багатозмінної роботи річний випуск може становити до 5000 штук.

Висновки щодо технологічності деталі

Розрахунок технологічного процесу виготовлення фланця засвідчив, що деталь повністю відповідає вимогам сучасного виробництва. Обрана стратегія обробки дозволяє досягти високої точності, повторюваності та стабільної якості при відносно невеликій трудомісткості. Використання верстатів з числовим програмним керуванням, високоточних інструментів і систем

автоматизованого контролю забезпечує відповідність стандартам фармацевтичного машинобудування та загальновиробничим нормам з охорони праці та екологічної безпеки.

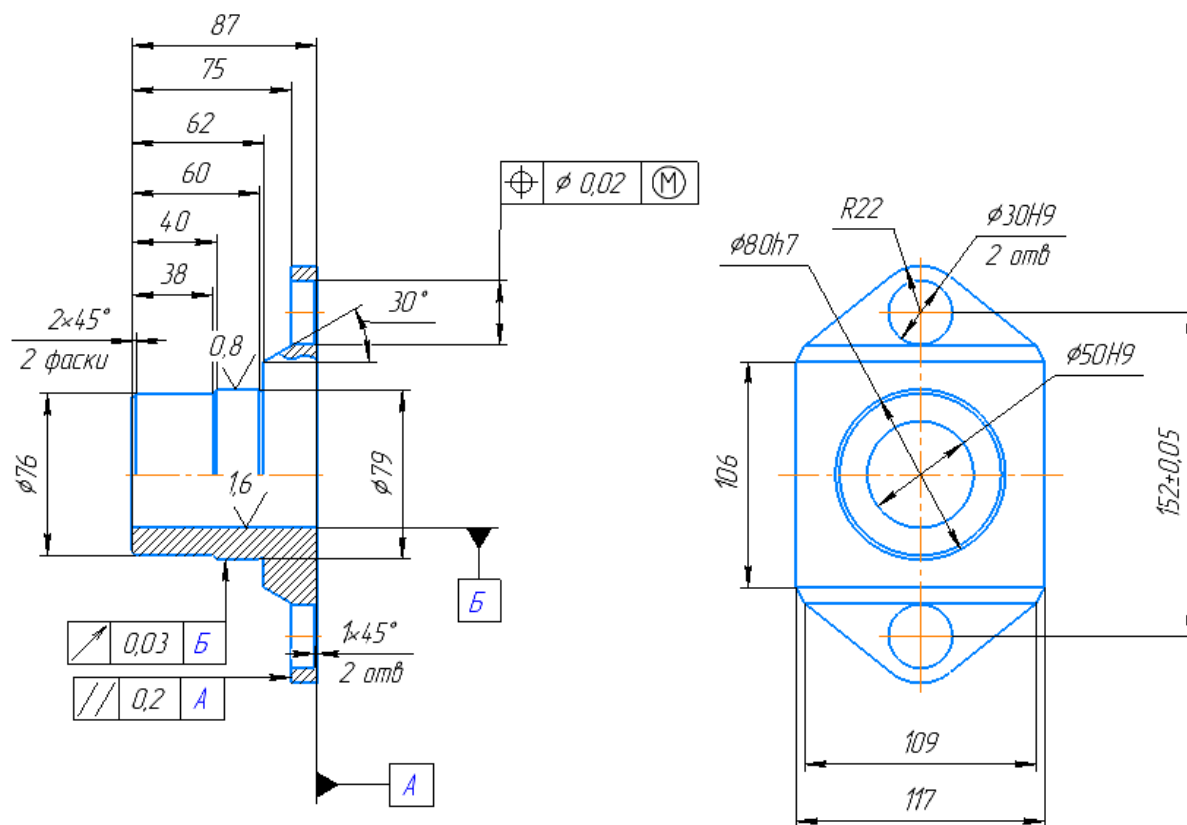


Рис. 7.1. Фланець трубопровідного з'єднання у сушарці з псевдозрідженим шаром для медичної аскорбінової кислоти

Вибір заготовки і розрахунок припусків

В якості заготовки обираємо виливок виготовлений литтям в кокіль.

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

- Припуск на чистове точіння (мінімальний припуск на оброблення поверхні – це двосторонній): $2Z_{\min} = 2 \cdot (R_{Z3} + D_3 + \sqrt{T_{np3}^2 + \varepsilon_{y4}})$,

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

$D_3 = 20$ мкм – це глибина дефектного шару,

$T_{np3} = 0$, $\varepsilon_{y4} = 0$ – це відповідно сумарне значення просторових похибок і похибка установки

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

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

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

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

$T_2 = 30$ – це допуск при чистовому точінні.

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

- Номінальний припуск на оброблення поверхонь:

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

Коефіцієнт використання матеріалу:

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

Маршрутна технологічна карта

№ операції (переходу)	Назва операції (переходу)	Технологічне обладнання, пристрої, оброблюваний інструмент, контрольний інструмент
10 10.1	Заготівельна Відлити заготовку з припусками немеханічну обробку	Лиття в кокіль
20 20.1	Токарна УЗЗ Торцювати пов.1 $z=1,25\text{мм}$	Токарно – це гвинторізний верстат 16К20.3-х кулачковий патрон. Різець прохідний відігнутий правий Т15К6, $\varphi = 45$, $\varphi_1 = 90$, $\beta = 45$
30 30.1 30.2 30.3	Свердлильна УЗЗ Свердлити отвір під 50Н9, пов.2 Зенкерувати отвір під 50Н9, пов.2 Розвернути отвір під 50Н9, пов.2	Свердлильний верстат 2Н125, зажим, оправка, упор. Свердло 48,7, Р6М5 Зенкер 49,75, Р6М5 Розвертка 50Н9, Р6М5, калібр пробка 50Н9

30.4	Свердлити отвір під 30Н9, пов.3	Свердло 28 , Р6М5
30.5	Зенкерувати отвір під 30Н9, пов.3	Зенкер 29,5 , Р6М5
30.6	Розвернути отвір під 30Н9, пов.3.	Розвертка 30Н9, Р6М5, калібр пробка 30Н9
30.4	Свердлити отвір під 30Н9, пов.4	Свердло 28 , Р6М5
30.5	Зенкерувати отвір під 30Н9, пов.4	Зенкер 29,5 , Р6М5
30.6	Розвернути отвір під 30Н9, пов.4.	Розвертка 30Н9, Р6М5, калібр пробка 30Н9

40	Токарна УЗЗ	Токарно-гвинторізний верстат 16К20, оправка
40.1	Торцювати пов.5 z=1,25мм Витримавши 87мм	Різець прохідний відігнутий правий Т15К6, $\varphi = 45$, $\varphi_1 = 45$, $\beta = 45$. ШЦ1
40.2	Торцювати пов.6 z=1,25мм Витримавши 25мм	Різець прохідний відігнутий правий Т15К6, $\varphi = 45$, $\varphi_1 = 45$, $\beta = 45$. ШЦ1
40.3	Точити пов.7 $\varnothing 80$ начорно на довжину 62 мм	Різець прохідний упорний правий $b \times h \times l = 16 \times 25 \times 140$ мм , $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ Т15К6. ШЦ1.
40.4	Точити $\varnothing 76$ на довжину 38 мм	Різець прохідний упорний правий $b \times h \times l = 16 \times 25 \times 140$ мм , $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ Т15К6. ШЦ1.
40.5	Зняти 2-і фаски $2 \times 45^\circ$	Різець прохідний упорний правий $b \times h \times l = 16 \times 25 \times 140$ мм , $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ Т15К6. ШЦ1.
40.6	Точити канавки глибиною 0,5 мм і довжиною 2 мм на $\varnothing 80$	Різець прохідний відігнутий правий Т15К6. $\varphi = 45$, $\varphi_1 = 90$, $\beta = 45$. ШЦ1
40.7	Точити $\varnothing 80h7$ начисто на довжину 20мм	Різець відрізний Т5К16, В = 2 мм, ШЦ – це 1. Різець прохідний упорний правий $b \times h \times l = 16 \times 25 \times 140$ мм , $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ Т15К6. ШЦ1.

Розрахунок режимів різання

20. Токарна

20.1 Торцювати поверхню 1

- Глибина різання:

$$t = 1,25 \text{ мм}$$

Застосовуємо подачу: $S = 0.4 \dots 0.5$ мм/об, приймаємо $S = 0.5$ мм/об.

З табл. 20 Застосовуємо залежність для визначення швидкості різання і
Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{463}{60^{0.2} \cdot 1.25^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} = 252 \text{ м/хв}$$

де: T – це стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

- Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_s = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 252}{3,14 \cdot 196} = 409 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, Застосовуємо найближче менше значення $n_B = 350$ об/хв.

- Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_s}{1000} = \frac{3,14 \cdot 196 \cdot 350}{1000} = 215 \text{ м/хв}$$

- Розрахункова довжина оброблення:

$$L = 98 + 2 = 100 \text{ мм}$$

- Основний час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_s \cdot S} = \frac{100}{350 \cdot 0.5} = 0,6 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_o = t_1 + t_2 = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

30. Свердлильна

30.1 Свердлити отвір під 50Н9

- Глибина різання

$$t = \frac{d_3 - d_{ce}}{2} = \frac{48,7 - 46}{2} = 1,35 \text{ мм}$$

- Застосовуємо подачу. Для сталей з $\sigma_B \leq 800$ МПа при свердлінні отворів $\varnothing 50$ мм рекомендуються подачі $0,45 \dots 0,55$ мм/об. Приймаємо $S = 0.5$ мм/об.

- Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{18 \cdot d^{0.4}}{T^{0.2} \cdot t^{0.2} \cdot S^{0.5}}$$

де $T = 90$ хв – це стійкість свердла.

Тоді

$$V = \frac{18 \cdot 48,7^{0.4}}{90^{0.2} \cdot 1,35^{0.2} \cdot 0,5^{0.5}} = 31 \text{ м/хв}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d_{ce}} = \frac{1000 \cdot 31}{3,14 \cdot 48,7} = 203 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_B = 200$ об/хв.

- Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi d_{ce} n_s}{1000} = \frac{3,14 \cdot 48,7 \cdot 200}{1000} = 31 \text{ м/хв.}$$

- Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_6},$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$

де $l = 87$ мм – це глибина свердління; $l_1 = 2$ мм – це величина на підведення свердла з механічною подачею; $l_1 + l_2 = 7$ мм (табл. 48) – це додаток на врізання і перебіг свердла

$$t_{01} = \frac{96}{0.50 \cdot 200} = 0.96 \text{ хв.}$$

- Допоміжний час на перехід

$$t_{\Delta 1} = 0.1 \text{ хв (табл. 51).}$$

30.2 Зенкерувати отвір під 50Н9

- Глибина різання

$$t = \frac{d_3 - d_{ce}}{2} = \frac{49.75 - 48.7}{2} = 0.525 \text{ мм}$$

- Застосовуємо подачу. Для сталей при зенкеруванні отворів $\varnothing 50$ мм рекомендуються подачі 1...1,3 мм/об. Приймаємо $S = 1,2$ мм/об.
- Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{18,6 \cdot d^{0.3}}{T^{0.3} \cdot t^{0.2} \cdot S^{0.7}}$$

де $T = 60$ хв.

Тоді

$$V = \frac{18,6 \cdot 49.75^{0.3}}{60^{0.3} \cdot 0.525^{0.2} \cdot 1.2^{0.7}} = 17.5$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 17.5}{3.14 \cdot 49.75} = 112 \text{ об / хв.}$$

Приймаємо $n_6 = 100$ об/хв.

- Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi d n_6}{1000} = \frac{3,14 \cdot 49.75 \cdot 100}{1000} = 15.61 \text{ м / хв.}$$

- Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_6},$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$

де $l = 87$ мм – це глибина свердління; $l_1 = 2$ мм – це величина на підведення свердла з механічною подачею; $l_1 + l_2 = 6$ мм (табл. 48) – це додаток на врізання і перебіг свердла

$$t_{01} = \frac{95}{1.2 \cdot 100} = 0.79 \text{ хв.}$$

- Допоміжний час на перехід

$t_{\Delta 1} = 0.1 \text{ хв}$ (табл. 51).

30.3 Розвернути отвір під 50Н9

- Глибина різання

$$t = \frac{d_3 - d_{св}}{2} = \frac{50 - 49,75}{2} = 0,125 \text{ мм}$$

- Застосовуємо подачу. Рекомендуються подачі 1,2...1,5 мм/об. Приймаємо $S = 1,2 \text{ мм/об}$.
- Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{12 \cdot d^{0.3}}{T^{0.4} \cdot t^{0.2} \cdot S^{0.65}}$$

де $T = 60 \text{ хв}$.

Тоді

$$V = \frac{12 \cdot 50^{0.3}}{60^{0.4} \cdot 0.125^{0.2} \cdot 1.2^{0.65}} = 10,1$$
$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 10,1}{3.14 \cdot 50} = 64,3 \text{ об / хв.}$$

Приймаємо $n_b = 60 \text{ об/хв}$.

- Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi d n_b}{1000} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 60}{1000} = 9,42 \text{ м / хв.}$$

- Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_b},$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$

де $l = 87 \text{ мм}$ – це глибина свердління; $l_1 = 2 \text{ мм}$ – це величина на підведення свердла з механічною подачею; $l_1 + l_2 = 45 \text{ мм}$ (табл. 48) – це додаток на врізання і перебіг свердла

$$t_{01} = \frac{135}{1.2 \cdot 60} = 1,8 \text{ хв.}$$

- Допоміжний час на перехід

$t_{\Delta 1} = 0.1 \text{ хв}$ (табл. 51).

30.4 Свердлити отвір під 30Н9

- Глибина різання

$$t = \frac{d_3 - d_{св}}{2} = \frac{28 - 26}{2} = 1 \text{ мм}$$

- Застосовуємо подачу. Для сталей з $\sigma_b \leq 800 \text{ МПа}$ при свердлінні отворів $\varnothing 30 \text{ мм}$ рекомендуються подачі 0,33...0,41 мм/об. Приймаємо $S = 0.35 \text{ мм/об}$.
- Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{18 \cdot d^{0.4}}{T^{0.2} \cdot t^{0.2} \cdot S^{0.5}}$$

де $T = 50$ хв – це стійкість свердла.

Тоді

$$V = \frac{18 \cdot 28^{0.4}}{50^{0.2} \cdot 1^{0.2} \cdot 0.35^{0.5}} = 52,8 \text{ м / хв}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d_{ce}} = \frac{1000 \cdot 52,8}{3.14 \cdot 28} = 600,5 \text{ об / хв.}$$

Приймаємо $n_b = 600$ об/хв.

- Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi d_{ce} n_b}{1000} = \frac{3,14 \cdot 28 \cdot 600}{1000} = 52,75 \text{ м / хв.}$$

- Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_b},$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$

де $l = 12$ мм – це глибина свердління; $l_1 = 2$ мм – це величина на підведення свердла з механічною подачею; $l_1 + l_2 = 6$ мм (табл. 48) – це додаток на врізання і перебіг свердла

$$t_{01} = \frac{18}{0.35 \cdot 600} = 0,09 \text{ хв.}$$

- Допоміжний час на перехід

$$t_{\Delta 1} = 0.1 \text{ хв (табл. 51).}$$

30.5 Зенкерувати отвір під 30Н9

- Глибина різання

$$t = \frac{d_3 - d_{ce}}{2} = \frac{29,5 - 28}{2} = 0,75 \text{ мм}$$

- Застосовуємо подачу. Для сталей при зенкеруванні отворів $\varnothing 30$ мм рекомендуються подачі $0,8 \dots 1$ мм/об. Приймаємо $S = 1$ мм/об.

- Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{18,6 \cdot d^{0.3}}{T^{0.3} \cdot t^{0.2} \cdot S^{0.7}}$$

де $T = 30$ хв.

Тоді

$$V = \frac{18,6 \cdot 29,5^{0.3}}{30^{0.3} \cdot 0,75^{0.2} \cdot 1^{0.7}} = 20$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 20}{3.14 \cdot 29,5} = 215,9 \text{ об / хв.}$$

Приймаємо $n_B = 200$ об/хв.

- Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_D = \frac{\pi d n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 29,5 \cdot 200}{1000} = 18,5 \text{ м/хв.}$$

- Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_e},$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$

де $l = 12$ мм – це глибина свердління; $l_1 = 2$ мм – це величина на підведення свердла з механічною подачею; $l_1 + l_2 = 5$ мм (табл. 48) – це додаток на врізання і перебіг свердла

$$t_{01} = \frac{17}{1 \cdot 200} = 0,09 \text{ хв.}$$

- Допоміжний час на перехід

$t_{\Delta 1} = 0,1$ хв (табл. 51).

30.6 Розвернути отвір під 30Н9

- Глибина різання

$$t = \frac{d_3 - d_{ce}}{2} = \frac{30 - 29,5}{2} = 0,25 \text{ мм}$$

- Застосовуємо подачу. Рекомендуються подачі 0,8...1,2 мм/об. Приймаємо $S = 1$ мм/об.

- Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{12 \cdot d^{0,3}}{T^{0,4} \cdot t^{0,2} \cdot S^{0,65}}$$

де $T = 30$ хв.

Тоді

$$V = \frac{12 \cdot 30^{0,3}}{30^{0,4} \cdot 0,25^{0,2} \cdot 1^{0,65}} = 11,2$$
$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 11,2}{3,14 \cdot 30} = 118,9 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_B = 100$ об/хв.

- Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_D = \frac{\pi d n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 100}{1000} = 9,42 \text{ м/хв.}$$

- Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_e},$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$

де $l = 12$ мм – це глибина свердління; $l_1 = 2$ мм – це величина на підведення свердла з механічною подачею; $l_1+l_2 = 33$ мм (табл. 48) – це додаток на врізання і перебіг свердла

$$t_{01} = \frac{45}{1 \cdot 100} = 0,45 \text{ хв.}$$

- Допоміжний час на перехід
 $t_{\Delta 1} = 0,1 \text{ хв}$ (табл. 51).

Операції 30.7-30.9 аналогічні 30.4-30.6

- Норма часу для всієї операції:

$$T_o = \sum_1^i t_{oi} = 0,96 + 0,79 + 1,8 + 0,09 + 0,09 + 0,09 + 0,09 + 0,45 + 0,45 = 4,81 \text{ хв}$$

$$T_{\delta} = 2 \cdot t_y + \sum_1^i t_{\delta} = 2 \cdot 0,34 + 0,1 \cdot 9 = 1,68 \text{ хв}$$

де: t_y – це допоміжний час на установлення (переустановлення), закріплення і зняття деталі.

- Операційний час

$$T_{оп} = T_o + T_{\delta} = 4,81 + 1,68 = 6,49 \text{ хв}$$

$$T_{ум} = T_{оп} + T_{од} + T_{мн} = 6,49 + 0,13 + 0,39 = 7,01 \text{ хв}$$

$$T_{п.з.} = 10 + 4 = 14 \text{ хв}$$

$$T_k = T_{ум} + T_{п.з.} / n = 7,01 + 14 / 200 = 7,08 \text{ хв}$$

- Норма виробітку за 1 год $N = \frac{60}{T_k} = \frac{60}{7,08} = 8,4 = 8 \text{ деталей}$.

40. Токарна

40.1 Торцювати поверхню 5

- Глибина різання:

$$t = 1,25 \text{ мм}$$

Застосовуємо подачу: $S = 0,4 \dots 0,5$ мм/об, приймаємо $S = 0,5$ мм/об.

З табл. 20 Застосовуємо залежність для визначення швидкості різання і Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{463}{60^{0,2} \cdot 1,25^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 252 \text{ м/хв}$$

де: T – це стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

- Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_6 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 252}{3,14 \cdot 84} = 955 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, Застосовуємо найближче менше значення $n_b = 900$ об/хв.

- Дійсна швидкість різання:

$$V_{\delta} = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_6}{1000} = \frac{3,14 \cdot 84 \cdot 900}{1000} = 237 \text{ м/хв}$$

- Розрахункова довжина оброблення:

$$L = 42 + 2 = 44 \text{ мм}$$

- Основний час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{44}{900 \cdot 0.5} = 0,1 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_o = t_1 + t_2 = 0.11 + 0.1 = 0.21 \text{ хв}$$

40.2 Торцювати поверхню б

- Глибина різання:

$$t = 1,25 \text{ мм}$$

Застосовуємо подачу: $S = 0.4 \dots 0.5$ мм/об, приймаємо $S = 0.5$ мм/об.

З табл. 20 Застосовуємо залежність для визначення швидкості різання і
Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{463}{60^{0.2} \cdot 1.25^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} = 252 \text{ м/хв}$$

де: T – це стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

- Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_e = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 252}{3,14 \cdot 158} = 508 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, Застосовуємо найближче менше значення $n_B = 450$ об/хв.

- Дійсна швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 158 \cdot 450}{1000} = 223 \text{ м/хв}$$

- Розрахункова довжина оброблення:

$$L = 79 + 2 = 81 \text{ мм}$$

- Основний час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{81}{450 \cdot 0.5} = 0,35 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_o = t_1 = 0.11 + 0.1 = 0.21 \text{ хв}$$

40.3 Точити Ø80 на довжині 87мм

- Глибина різання:

$$t = \frac{D_3 - d_3}{2} = \frac{84 - 80,2}{2} = 1,9 \text{ мм}$$

Застосовуємо подачу: $S = 0.4 \dots 0.5$ мм/об, приймаємо $S = 0.5$ мм/об.

З табл. 20 Застосовуємо залежність для визначення швидкості різання і
Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{327}{60^{0.2} \cdot 1.9^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} = 167 \text{ м/хв}$$

де: T – це стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

- Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_e = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 167}{3,14 \cdot 84} = 633 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, Застосовуємо найближче менше значення $n_b = 600$ об/хв.

- Дійсна швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 84 \cdot 600}{1000} = 158 \text{ м/хв}$$

- Розрахункова довжина оброблення:

$$L = 87 + 2 = 89 \text{ мм}$$

- Основний час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{87}{600 \cdot 0,5} = 0,3 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_o = t_1 + t_2 = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

40.4 Точити $\varnothing 76$ на довжині 38 мм

- Глибина різання:

$$t = \frac{D_3 - d_3}{2} = \frac{80,2 - 76}{2} = 2,1 \text{ мм}$$

Застосовуємо подачу: $S = 0,4 \dots 0,5$ мм/об, приймаємо $S = 0,5$ мм/об.

З табл. 20 Застосовуємо залежність для визначення швидкості різання і Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 2,1^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 164 \text{ м/хв}$$

де: T – це стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

- Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_e = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 164}{3,14 \cdot 80,2} = 651 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, Застосовуємо найближче менше значення $n_b = 600$ об/хв.

- Дійсна швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80,2 \cdot 600}{1000} = 151 \text{ м/хв}$$

- Розрахункова довжина оброблення:

$$L = 38 + 2 = 40 \text{ мм}$$

- Основний час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{40}{600 \cdot 0,5} = 0,13 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

-

$$t_o = t_1 = 0,11 \text{ хв}$$

40.5 Зняти 2-і фаски $2 \times 45^\circ$

- Основний час $t_o = 0,18$ хв

- Допоміжний час $t_o = 0,04$ хв

40.6 Точити канавку глибиною 0,5 мм і довжиною 2 мм на $\varnothing 80$

- Основний час:

$$t_o = 0.35 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_\delta = 0.14 \text{ хв}$$

40.4 Точити Ø80,03 на довжині 20мм

- Глибина різання:

$$t = \frac{D_3 - d_3}{2} = \frac{80,2 - 80,03}{2} = 0,085 \text{ мм}$$

Застосовуємо подачу: $S = 0.4 \dots 0.5$ мм/об, приймаємо $S = 0.5$ мм/об.

З табл. 20 Застосовуємо залежність для визначення швидкості різання і Розрахуємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{327}{60^{0.2} \cdot 0,085^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} = 266 \text{ м/хв}$$

де: T – це стійкість різця, приймаємо $T = 60$ хв.

- Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_g = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 266}{3,14 \cdot 80,2} = 1056 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, Застосовуємо найближче менше значення $n_B = 900$ об/хв.

- Дійсна швидкість різання:

$$V_\delta = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_g}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80,2 \cdot 900}{1000} = 227 \text{ м/хв}$$

- Розрахункова довжина оброблення:

$$L = 20 + 2 = 22 \text{ мм}$$

- Основний час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_g \cdot S} = \frac{22}{900 \cdot 0.5} = 0,1 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_\delta = t_1 + t_2 = 0.11 + 0.1 = 0.21 \text{ хв}$$

- Норма часу для всієї операції:

$$T_o = \sum_1^i t_{oi} = 0,1 + 0,35 + 0,3 + 0,13 + 0,18 + 0,35 + 0,1 = 1,61 \text{ хв}$$

$$T_\delta = 2 \cdot t_y + \sum_1^i t_\delta = 2 \cdot 0,39 + 0,21 + 0,21 + 0,21 + 0,11 + 0,04 + 0,14 + 0,21 = 1,91 \text{ хв}$$

де: t_y – це допоміжний час на установлення (переустановлення), закріплення і зняття деталі.

- Операційний час

$$T_{оп} = T_o + T_\delta = 1,61 + 1,91 = 3,52 \text{ хв}$$

- Час на обслуговування робочого місця, перерви, відпочинок і природні потреби:

$$T_{об} + T_{н.н} = (2,5 + 4,0) \cdot T_{оп} / 100 \text{ (табл..24)}$$

$$T_{об} + T_{н.н} = 6,5 \cdot 3,52 / 100 = 0,23 \text{ хв}$$

- Штучний час становить $T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{н.н} = 3,52 + 0,23 = 3,75 \text{ хв}$

- Калькуляційний час на виконання операції при виготовленні однієї деталі:

$$T_k = T_{um} + \frac{T_{п.з.}}{n},$$

де: $T_{п.з.}$ – це підготовчо – це завершальний час на партію деталей. $T_{п.з.} = 10+10+4 = 24$ хв – це на налагоджування, одержання і здавання інструментів, на заміну кулачків.

$$T_k = 3,75 + \frac{24}{300} = 3,83 \text{хв}$$

- Норма виробітку за 1 год $N = \frac{60}{T_k} = \frac{60}{3,83} = 15,7 = 15 \text{деталей}$.

8. Вимоги щодо монтажу і технічного сервісу

Монтаж сушарки з псевдозрідженим шаром

Монтаж сушарки з псевдозрідженим шаром є важливим етапом при введенні об'єкта в експлуатацію. Його виконують відповідно до затвердженої проєктної документації з дотриманням будівельних норм, правил техніки безпеки та технологічних вимог.

Будівельно-монтажні роботи зазвичай виконуються генеральним підрядником, який відповідає за координацію всіх етапів будівництва. Спеціалізовані організації можуть залучатися для виконання окремих завдань – монтажу технологічного обладнання, електромонтажних, сантехнічних і теплоізоляційних робіт. Усі учасники повинні мати відповідні дозволи та сертифікати [1,13].

Перш ніж розпочати монтаж, обов'язково розробляється проєкт виконання робіт (ППР), в якому передбачаються:

1. обсяги та терміни виконання;
2. специфікації устаткування й вузлів;
3. необхідна техніка (крани, домкрати, лебідки тощо);
4. ресурси – працівники, інструмент, витратні матеріали;
5. інструкції щодо безпечного виконання робіт;
6. послідовність операцій і узгодження між бригадами.

Для монтажу апарата киплячого шару найчастіше використовують стрілові крани, залежно від габаритів і маси обладнання. Монтаж виконується на заздалегідь підготовленому фундаменті, який витримує навантаження й гарантує стійкість під час роботи. Перед монтажем перевіряється якість анкерних болтів, горизонтальність поверхні, відповідність розмірів і розташування кріпильних елементів.

Монтажні роботи виконуються поетапно:

Підготовка фундаменту – очищення, перевірка горизонтальності, встановлення анкерних болтів.

Доставка апарата до місця встановлення – транспорт здійснюється автоплатформами або вантажівками, за потреби використовуються крани.

Підйом і встановлення на фундамент – застосовується стріловий кран або інші механізми. Апарати великого діаметру іноді збирають на місці з окремих секцій.

Вивірка положення апарата – за допомогою рівня, теодоліта або лазерного нівеліра перевіряється вертикальність і співвісність патрубків.

Закріплення на фундаменті – після остаточного вирівнювання апарат прикріплюється анкерними болтами.

Існують різні методи монтажу в залежності від форми апарата:

Монтаж ковзанням – апарат переміщується по рейках чи санях до місця встановлення.

Встановлення через поворот – апарат повертають з горизонтального положення у вертикальне навколо шарніра.

Монтаж з нарощуванням зверху – якщо конструкція висока, секції встановлюють по черзі одна на одну.

Особливу увагу приділяють герметизації з'єднань. Фланці повинні бути чистими, без залишків старих прокладок, іржі чи бруду. Прокладки встановлюють лише після ретельної підготовки поверхонь. Для надійності застосовують динамометричні ключі, що дозволяють затягувати болти з потрібним моментом [8,9,10,13].

Завершальним етапом є підключення апарата до мереж стисненого повітря, електропостачання, системи теплоносія та системи відведення відпрацьованих газів. Після монтажу обов'язково проводиться пробний запуск апарата без навантаження для перевірки правильності монтажу, герметичності й справності всіх вузлів.

Обслуговування, ремонт та усунення неполадок

Після введення апарата в експлуатацію необхідно організувати систему технічного обслуговування та ремонту, яка забезпечить стабільну роботу протягом усього строку служби [13].

Ремонтно-обслуговуючі заходи поділяються на кілька категорій:

Технічне обслуговування (ТО):

- регулярна перевірка стану обладнання;
- змащення рухомих частин;
- контроль тиску, температури, рівня;
- очищення фільтрів, сіток, решіток.

Поточний ремонт:

- усунення незначних дефектів (заміна прокладок, затягування з'єднань);
- заміна зношених елементів (сальників, ущільнень, патрубків);
- ремонт електропроводки, датчиків.

Капітальний ремонт:

- повне розбирання апарата;
- очищення й дефектування всіх вузлів;
- заміна або ремонт основних частин;
- збирання й випробування апарата.

Аварійний ремонт:

- термінове усунення несправностей, що призвели до зупинки процесу;
- може включати заміну трубопроводів, клапанів, двигунів.

Таблиця 8.1. – Поширені несправності та методи їх усунення

Несправність	Причина	Усунення
Немає подачі сировини	Несправний живильник, двигун, засмічення	Перевірити лінії подачі, двигун, очистити
Перевищення рівня в апараті	Відмова насоса	Відремонтувати або замінити насос
Погане перемішування	Засмічення решітки, мала подача повітря	Промити решітку, перевірити компресор
Висока температура газів	Порушення режиму подачі повітря	Врегулювати повітряний потік
Вологий продукт	Недостатній теплоносій	Перевірити нагрів, очистити теплообмінники
Поява шумів або вібрацій	Знос кріплень, перекіс вузлів	Провести діагностику, усунути причину

Під час капітального ремонту проводяться:

- демонтаж апарата та його частин;
- очищення поверхонь від накипу, пилу, смол;
- заміна пошкоджених вузлів;
- гідравлічні та пневматичні випробування після збирання;
- налагодження та пусконаладжувальні роботи.

Для фіксації стану обладнання ведеться журнал технічного обслуговування, в який вносяться всі дані про виконані роботи, виявлені дефекти та замінені елементи. Це дозволяє вчасно планувати профілактику, зменшити ризик аварій і подовжити ресурс обладнання [8,9,10,13].

9. Опис системи управління

Сучасний розвиток технологій сушіння матеріалів значною мірою пов'язаний із застосуванням високотемпературних режимів, а також використанням сушильних агентів із регульованою вологістю або потужних потоків променистої енергії під час радіаційного сушіння. Такі методи дають змогу суттєво інтенсифікувати процес видалення вологи з матеріалів, скорочуючи час сушіння і підвищуючи його ефективність.

Проте для досягнення стабільних результатів у швидкоплинних процесах сушіння необхідно впроваджувати системи автоматичного керування і регулювання. Використання ручного управління в умовах високих температурних і вологісних навантажень є недостатньо ефективним, оскільки оператор фізично не може забезпечити стабільне утримання заданих параметрів. У результаті неминучі навіть короточасні перевищення допустимих температурних меж, що нерідко призводить до псування сушеного матеріалу, втрати його якості та зводить нанівець переваги, які надають сучасні інтенсивні способи сушіння.

Крім того, автоматизація є обов'язковою вимогою техніки безпеки. Особливо це актуально при сушінні струмами високої частоти, роботі з вибухонебезпечними або токсичними речовинами. Автоматичні системи дозволяють оперативно реагувати на аварійні ситуації, мінімізувати ризики для обслуговуючого персоналу і навколишнього середовища [4,5,6,13].

Впровадження автоматизованих систем управління не тільки підвищує безпеку, але й сприяє загальному поліпшенню експлуатаційної культури сушильних установок. Зокрема, збільшується продуктивність обладнання, поліпшується якість кінцевого продукту, зростає надійність і стабільність роботи апаратів, а також значно полегшуються умови праці операторів за рахунок зменшення обсягу ручної роботи.

На сьогоднішній день техніка комплексної автоматизації та механізації досягла високого рівня розвитку. У сучасних сушильних установках застосовуються такі основні види автоматизації:

Автоматичне регулювання сушарок безперервної дії.

Цей вид регулювання підтримує сталість заданих параметрів процесу сушіння, таких як температура та вологість сушильного агента, у різних зонах робочої камери. Завдяки цьому забезпечується рівномірність сушіння матеріалів та зменшується ймовірність їх пошкодження.

Програмне автоматичне регулювання сушарок періодичної дії.

У даному випадку параметри режиму сушіння змінюються за заздалегідь встановленою програмою, у міру перебігу процесу. Це може бути плавне або ступінчасте коригування температури та вологості через певні проміжки часу, що дозволяє оптимізувати умови сушіння на кожному етапі видалення вологи.

Автоматичний захист і система сигналізації.

Для запобігання аваріям у сушильних установках встановлюються автоматичні сигналізатори перевищення температури та інших критичних параметрів. При виникненні аварійної ситуації система автоматично подає звуковий сигнал, причому сигналізація зазвичай об'єднана для декількох сушарок. Передбачено також кнопку для відключення сигналу та можливість його повторного увімкнення у разі нової небезпеки.

Автоматичне блокування допоміжних механізмів.

Це забезпечує автоматичне увімкнення або вимкнення різних елементів сушильного комплексу (засувки, вентилів, заслінок) у чітко визначеній послідовності, що відповідає вимогам технологічного процесу. Наприклад, у разі аварійної зупинки дуттєвого вентилятора автоматично припиняється подача газу до пальників, перемикаються потоки газів із топки в димову трубу, і зупиняється конвеєр, що транспортує вологий матеріал.

Особливістю сушильних установок із киплячим шаром є їхня мала теплова інерція. Це означає, що параметри процесу — температура, вологість

— можуть змінюватися дуже швидко. Через це ручне керування стає практично неможливим, і без автоматизації забезпечити стабільність процесу вкрай складно.

Температура шару в сушарці з киплячим шаром є інформативним показником залишкової вологості матеріалу. Регулюючи температуру шару, можна точно контролювати кінцеву вологість висушеного продукту. На практиці застосовують два основних методи управління температурою шару: зміною кількості завантаженого вологого матеріалу або регулюванням витрати сушильного агента (зазвичай гарячого повітря або газів).

Таким чином, впровадження сучасних автоматизованих систем в сушильні установки дозволяє суттєво покращити технологічні процеси, підвищити якість кінцевого продукту, забезпечити економію енергії та ресурсів, а також створити безпечні та комфортні умови праці для обслуговуючого персоналу [4,13].

Регулювання рівня шару матеріалу в сушарці забезпечує необхідний час перебування частинок у зоні сушіння та запобігає їх винесенню сушильним агентом. Це дозволяє підтримувати сталий гідродинамічний опір шару і забезпечувати оптимальний аеродинамічний режим процесу сушіння.

Регулювання рівня шару здійснюється за допомогою регулятора перепаду тисків між простором під решіткою та верхньою частиною апарата. Регулюючий вплив реалізується шляхом зміни витрати матеріалу, який виводиться з сушарки. Одночасно регулятори температури шару та перепаду тиску впливають на варіатори швидкості обертання барабанів лопатевих живильників.

Механічні засоби автоматизації електричної частини повинні мати вибухозахищене виконання, а ступінь захисту від пилу і води має відповідати не нижче IP44 за ГОСТ 17494-72.

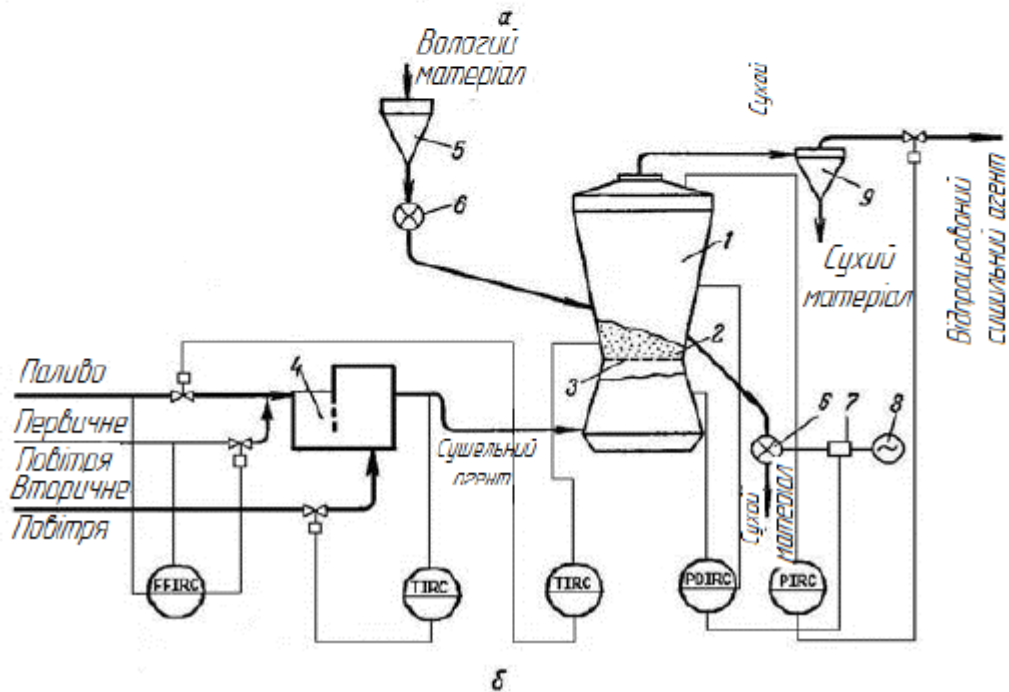
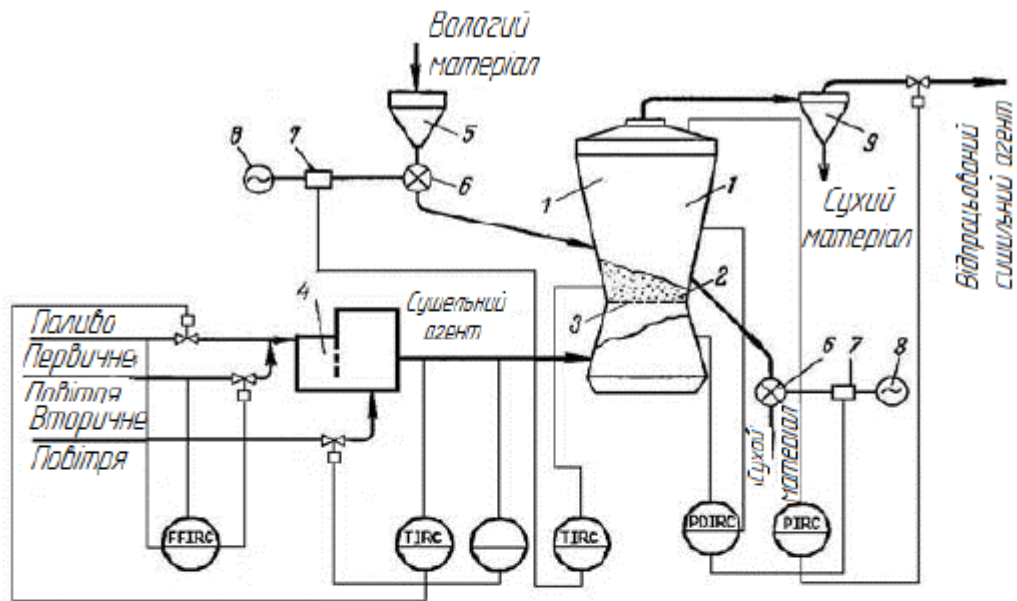


Рисунок 5.1 – Схема регулювання процесу сушіння в сушарці з псевдозрідженим шаром шаром:

а – регулювання температури зміною подачі вологого матеріалу;

б – регулювання температури зміною витрати сушильного агента.

1 – сушарка; 2 – псевдозріджений шар; 3 – решітка; 4 – топка; 5 – проміжний бункер; 6 – живильник; 7 – варіатори; 8 – електродвигун; 9 – циклон.

На схемі представлені основні елементи системи автоматизації сушіння медичної аскорбінової кислоти, що забезпечують стабільне підтримання технологічних параметрів процесу.

Регулювання температури сушильного агента виконується за допомогою варіаторів швидкості живильників та системи контролю витрати повітря і палива.

Забезпечено автоматичне підтримання рівня киплячого шару для стабілізації часу перебування матеріалу в сушарці та попередження винесення дрібнодисперсної фракції [4,5,6,13].

Передбачено використання вибухозахищених датчиків, приладів контролю температури, тиску, витрати та маси відповідно до вимог безпеки і високої точності сушіння активних фармацевтичних інгредієнтів.

Двоконтурна система автоматичного регулювання температури

У сушильній установці застосовується двоконтурна система автоматичного регулювання температури. Вона містить два контури вимірювання і регулювання:

Датчики температури – платинові термометри опору типу ТСП-085 (градуйовані за шкалою 50П).

Вторинний прилад – контрольно-сигнальний модуль КСМ-2, який забезпечує індикацію і реєстрацію температури всередині барабана і температури відпрацьованого повітря на виході із сушарки.

Основним регульованим параметром є температура сушильного агента на виході з апарата, допоміжним – температура усередині робочої камери. Регулювання здійснюється за допомогою теплової автоматики: коригуючого приладу КПП і електронного регулятора РПБ.

Вихідна напруга постійного струму 24 В подається на підсилювач керування, а далі – на обмотку електричного виконавчого механізму типу МЕВ, встановленого на трубопроводі подачі гарячого повітря на вхід сушарки.

Інші контури контролю і регулювання

Контур контролю температури топкових газів після топки (700 °С):

Датчик – мідний термометр опору вибухозахищеного типу ТСМ-1187 (градування 50М, діапазон вимірювання -50...100 °С, теплова інерція 20 с).

Вторинний прилад і регулятор – мікропроцесорний регулятор температури типу МікРА-600 із ПДД-законом регулювання.

Схема включає електропневматичний перетворювач ЕПП-63, панель дистанційного управління ДПУ-1М та регулюючий мембранний клапан. На лицьовій панелі регулятора встановлений цифровий індикатор температури.

Контур контролю тиску в топці:

Вимірювальний пристрій – сільфонний напоромір типу НС-718П із пневматичним вихідним сигналом.

Контур контролю рівня в бункері вологого матеріалу:

Датчик – вибухозахищений високочастотний рівнемір типу РУС-В.

Перетворювач сигналу – типу ПІ-В з вихідним струмом 0...5 мА.

Вторинний прилад – міліамперметр типу КСУ-2 для індикації та реєстрації.

Контур контролю витрати повітря:

Перетворювач витрати – камерна діафрагма типу ДКН-6.

Дифманометр сільфонний з уніфікованим пневматичним вихідним сигналом 20...100 кПа (тип ДС-ПЗ).

Вторинний прилад – показуючий пристрій типу ПВ4.2Е.

Контур контролю вологості повітря:

Електронний психрометр типу ПЕ (датчик ДВП-04 + реєструючий електронний прилад типу КСМ-3).

Контур контролю маси сухого матеріалу:

Тензометричне вибухозахищене ваговимірювальне пристрій типу 1858 УВТ.

Датчик – мостовий тензоперетворювач, який формує напругу, пропорційну навантаженню.

Вторинний прилад – потенціометричний реєстратор типу КСП-2 із іскробезпечним вимірювальним колом [4,13].

10. Заходи щодо охорони праці

Технологічний процес сушіння медичної аскорбінової кислоти у сушарці з псевдозрідженим шаром повинен виконуватися відповідно до діючих вимог нормативних документів, а саме:

Загальні правила вибухобезпеки для об'єктів хімічної, нафтохімічної та фармацевтичної промисловості;

Правила експлуатації підприємств, затверджені профільними міністерствами України;

Правила захисту від статичної електрики у виробничих процесах, що можуть призводити до вибухонебезпечних ситуацій;

Будівельні норми для промислових підприємств, які регламентують розміщення обладнання та систем безпеки.

Для роботи сушарки має бути розроблена нормативно-технічна документація, яка повинна містити:

- детальний опис фізико-хімічних властивостей аскорбінової кислоти та допоміжних матеріалів;
- описання технологічної схеми сушіння з поясненням основних етапів процесу;
- визначення норм технологічного режиму з допустимими межами відхилення параметрів (температури, вологості, витрати повітря);
- опис можливих збоїв у роботі сушарки, причин їх виникнення та способів оперативного усунення;
- інструкції з безпечного запуску, стабільного ведення технологічного процесу і правильної зупинки обладнання;
- вимоги до проведення аналітичного та автоматичного контролю параметрів сушіння;

- порядок дій при аварійних ситуаціях та правила екстреної зупинки системи;
- перелік відходів виробництва, особливості обробки стічних вод і очищення викидів, а також заходи щодо мінімізації шкідливого впливу на довкілля;
- список обов'язкових інструкцій та процедур, знання і виконання яких є обов'язковим для персоналу, що обслуговує сушильну установку.

Крім того, у виробничій зоні повинні бути передбачені системи вентиляції, вибухозахищене електрообладнання та засоби пожежогасіння відповідно до категорії пожежної небезпеки приміщення.

Суворе дотримання нормативно-технічної документації та виробничого регламенту є необхідною умовою для забезпечення стабільної продуктивності сушарки, високої якості кінцевої продукції, безпеки персоналу та належного рівня санітарії на робочих місцях.

Порушення встановленої послідовності технологічних операцій або перевищення допустимих меж температури, тиску, вологості чи кількості завантаженої сировини можуть стати причиною виникнення аварійних ситуацій, що загрожують як обладнанню, так і працівникам.

Аналіз потенційних небезпек і шкідливих факторів при роботі сушарки

Під час експлуатації сушарки псевдозрідженого шару для медичної аскорбінової кислоти можуть виникати наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- наявність рухомих та обертових елементів механізмів, що можуть стати причиною травмування персоналу.
- можливість контакту працівників із шкідливими речовинами, які присутні у вигляді парів або пилу аскорбінової кислоти.
- підвищення температури поверхонь сушарного обладнання, що може спричинити опіки.

- високий рівень шуму та вібрацій, який негативно впливає на органи слуху та нервову систему працівників.
- робота комунікацій і апаратури під надлишковим тиском, що в разі його різкої зміни може викликати аварійні ситуації.
- наявність небезпечної електричної напруги в системах живлення, що у разі короткого замикання може призвести до ураження електричним струмом із важкими наслідками.
- накопичення статичної електрики на поверхнях, що створює ризик електризації, іскріння та займання вибухонебезпечної пилу.
- утворення вибухонебезпечної пилоповітряної середовища під час сушіння, що підвищує ризик пожеж і вибухів, а також викликає подразнення слизових оболонок.

Для запобігання аваріям усі мірники рівня, напірні ємності та збірники сушарки обладнані чіткими покажчиками рівня. Контрольно-вимірвальні прилади встановлені у зручних для огляду та обслуговування місцях.

Рухомі та обертові частини сушарки, такі як вали, приводи живильників та заслінки, обов'язково огорожені міцними захисними кожухами. Захисні огороження мають бути встановлені на висоті менше ніж 2 метри від рівня підлоги і повинні надійно фіксуватися під час роботи обладнання.

Знімати захисні кожухи дозволяється лише після повної зупинки сушарного обладнання та відсутності ризику його випадкового запуску. Запускати механізми допускається тільки після перевірки та встановлення всіх огорожень на місце.

Забарвлення обладнання та приміщення організоване відповідно до вимог ГОСТ 12.4.028-85:

- стіни сушильного цеху пофарбовані у світлі тони з жовтуватими панелями для кращого освітлення робочого простору.
- основне сушильне обладнання має блакитне забарвлення.
- огороження рухомих механізмів пофарбовані у червоний колір для легкого виявлення.

- вентилі, заглушки та трубопроводи для гарячого повітря мають помаранчевий колір.

Такі заходи спрямовані на забезпечення безпечних умов праці, зниження ризику аварій та збереження здоров'я персоналу.

У технологічному приміщенні, де встановлена сушарка псевдозрідженого шару для медичної аскорбінової кислоти, передбачено низку заходів для підвищення безпеки роботи та захисту працівників.

Промислові трубопроводи позначені відповідно до характеру транспортуваних середовищ:

- червоний колір мають трубопроводи, якими транспортуються стоки, забруднені хімічними речовинами.
- сині трубопроводи призначені для господарсько-побутових вод.
- зеленим кольором позначені лінії подачі артезіанської води.

З метою безпеки пересування будь-який в'їзд транспорту в зону технологічного процесу заборонено.

Електробезпека

Відповідно до вимог ПУЕ, приміщення сушильного цеху належить до категорії з підвищеною електробезпекою. Для запобігання ураженням електричним струмом застосовуються такі заходи:

- використання повністю ізольованих струмопровідних систем.
- застосування місцевого і переносного освітлення з напругою 12–36 В.
- заземлення корпусів електродвигунів, апаратів та металевих комунікацій.
- облаштування місць виділення парів і газів витяжними системами з підключенням до централізованої вентиляції.
- робоча напруга електромережі становить 380/220 В змінного струму.

Захист від статичної електрики

Щоб запобігти накопиченню зарядів, у виробничій зоні передбачено:

- заземлення всього обладнання, резервуарів і трубопроводів.
- підтримання відносної вологості повітря в небезпечних зонах на рівні близько 70%.

Захист від блискавки: Будівля сушильного цеху класифікується за СН 305-89 як об'єкт III категорії. Для захисту від прямих ударів блискавки встановлено громовідводи по периметру будівлі. Усі трубопроводи, що підходять до будівлі, обов'язково заземлені для захисту від вторинних проявів блискавки.

Боротьба з виробничим шумом і вібрацією

Для зниження шумового навантаження:

- вентилятори, вакуумні насоси та інше обладнання встановлюються у спеціальних ізольованих приміщеннях.
- повітроводи під'єднані до вентиляторів через гнучкі прогумовані вставки, що зменшують передачу вібрації.
- встановлення вентиляторів на окремі фундаменти із віброізоляцією від основних конструкцій будівлі.
- регулярне змазування рухомих частин та ретельна балансування обертових елементів обладнання.

Забезпечення питною водою

Постачання працівників питною водою організовано з урахуванням санітарних норм:

- температура води повинна бути в межах 8–20 °C.
- відстань від робочих місць до точок роздачі питної води не перевищує 75 метрів.
- питні установки розміщені у проходах виробничих приміщень і кімнатах відпочинку.

Пожежна безпека

На кожному поверсі встановлені пожежні крани на висоті 1,35 м від підлоги. Забезпечено необхідну витрату води для гасіння пожеж — не менше

ніж 20 літрів за секунду, що відповідає встановленим нормам пожежної безпеки.

Додаткові заходи безпеки при експлуатації сушарки псевдозріженого шару

Вибухозахист обладнання: Враховуючи можливість утворення пилоповітряних сумішей аскорбінової кислоти, сушарка та допоміжне обладнання повинні мати вибухозахищене виконання відповідно до вимог ГОСТ 12.2.020-76.

Локальна витяжна вентиляція: У зонах можливого пиловиділення встановлені витяжні системи для локального видалення пилу безпосередньо від джерела утворення, що знижує ризик вибухів і забруднення повітря робочої зони.

Регулярний контроль параметрів повітря: Проводиться постійний моніторинг вмісту пилу і рівня кисню в приміщенні сушарки з використанням автоматичних газоаналізаторів.

Інструктаж та навчання персоналу: Всі працівники проходять обов'язковий інструктаж з правил поведінки з вибухонебезпечними речовинами, електробезпеки, дій у разі аварійної ситуації.

Перевірка заземлення: Проводиться періодична перевірка стану заземлення сушарки, трубопроводів і металоконструкцій не рідше одного разу на півроку.

Засоби індивідуального захисту: Персонал зобов'язаний використовувати спеціальні засоби індивідуального захисту: пилозахисні респіратори, антистатичний одяг та діелектричне взуття.

Система пожежної сигналізації: У приміщеннях встановлена автоматична система пожежної сигналізації та порошкового пожежогасіння, що спрацьовує при виявленні загоряння або надмірної концентрації пилу.

Контроль температури поверхонь: Встановлені датчики контролю температури на поверхнях сушарки, щоб запобігти локальному перегріванню і займанню пилу.

Організація евакуаційних шляхів: Всі евакуаційні виходи мають бути завжди вільними, чітко позначеними світловими покажчиками згідно з ДСТУ ISO 7010.

Потенційні ризики при сушінні медичної аскорбінової кислоти

- Пиловихорова небезпека

Дрібнодисперсний пил аскорбінової кислоти може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям при певних концентраціях.

- Підвищення температури

Перегрівання матеріалу або поверхонь сушарки може призвести до самозаймання пилу або утворення шкідливих продуктів розкладання.

- Статична електрика

Через тертя частинок порошку виникає накопичення електростатичних зарядів, що може спричинити іскріння і ініціювати вибух.

- Механічні травми

При обслуговуванні обертових і рухомих частин обладнання є ризик механічних пошкоджень.

- Шкідливі умови праці

Тривале вдихання пилу аскорбінової кислоти може викликати подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок.

- Електротравматизм

Порушення ізоляції електрообладнання або неправильне заземлення підвищує ризик ураження електричним струмом.

- Різкі перепади тиску

Можливість утворення надлишкового тиску в сушарці або комунікаціях може спричинити розгерметизацію чи аварійний вихід пари та газів.

- Пожежі при неправильній вентиляції

Недостатній відвід нагрітого повітря або пилу збільшує ймовірність займання у внутрішньому об'ємі сушарки.

Висновки

У результаті виконаної дипломної роботи було здійснено аналіз існуючих сушильних установок для медичної аскорбінової кислоти та запропоновано ефективне технічне рішення для модернізації апарата з псевдозрідженим шаром продуктивністю 100 кг/добу.

Проведений аналіз обладнання аналогічного призначення показав, що традиційні схеми сушіння не завжди забезпечують належну рівномірність процесу, призводять до втрат продукту з відпрацьованим повітрям та супроводжуються підвищеним енергоспоживанням. На основі виявлених недоліків розроблена нова конструкція сушильної системи, яка враховує сучасні вимоги фармацевтичної галузі до якості, екологічної безпеки та енергоефективності.

Основними елементами модернізації стали впровадження автоматизованого шнекового дозатора для рівномірної подачі вологого матеріалу, використання спеціального протирального пристрою для розпушення продукту та інтеграція багатоступеневої системи очищення газового середовища. В результаті удосконалення вдалося забезпечити безперервність процесу, стабільність технологічних параметрів і рівномірність сушіння без утворення застійних зон.

Технологічні розрахунки підтвердили, що модернізована сушарка дозволяє досягати кінцевої вологості аскорбінової кислоти не більше 0,1%, а втрати продукту через повітряний потік не перевищують 1%. Важливим досягненням є також організація процесу конденсації парів етилового спирту, що забезпечує відповідність нормам екологічної безпеки і запобігає забрудненню атмосфери.

Здійснено підбір конструкційних матеріалів, які забезпечують довговічність і надійність роботи обладнання в умовах фармацевтичного виробництва. Розроблена технологія виготовлення основних деталей дозволяє оптимізувати виробничі витрати та скоротити строки монтажу.

При виконанні кваліфікаційної роботи розглянуті заходи охорони праці, включно із заходами із забезпечення електробезпеки, вибухозахисту та контролю шкідливих викидів у виробничих приміщеннях при експлуатації сушильної установки з псевдозрідженим шаром.

Таким чином, модернізація сушарки псевдозрідженого шару для медичної аскорбінової кислоти дозволяє істотно підвищити продуктивність процесу, забезпечити високу якість кінцевого продукту, знизити енерговитрати та забезпечити відповідність сучасним вимогам безпеки і екологічності виробництва.

Список використаних літературних джерел

1. Гавва О. М. Пакувальне обладнання в 3-х кн. – 1 кн. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / О.М. Гавва, А.П. Безпалько, А.І. Волчко. – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2008. – 436 с.
2. Бойко Л.М., Кравченко В.Г. Процеси та апарати харчових виробництв: підручник. – Київ: Центр учбової літератури, 2012. – 432 с.
3. Буслаєв А.П. Процеси і апарати хімічної технології. Сушіння. – М.: Хімія, 2005. – 544 с.
4. Стойков Ю.М. Процеси та апарати хімічної технології. Частина 2. Масообмінні процеси. – Львів: Вид-во НУ «ЛП», 2009. – 389 с.
5. Perry R.H., Green D.W. Perry's Chemical Engineers' Handbook. – 8th ed. – New York: McGraw-Hill, 2008. – 2640 p.
6. Kudra T., Mujumdar A.S. Advanced Drying Technologies. – 2nd ed. – CRC Press, 2009. – 456 p.
8. Mujumdar A.S. Handbook of Industrial Drying. – 4th ed. – CRC Press, 2014. – 1312 p.
7. Лавриненко П.М. Основи розрахунків і конструювання обладнання харчових виробництв. – Харків: ХДУХТ, 2003. – 280 с.
8. Сахаров І.В., Шварцбурд Н.А. Сушильні установки фармацевтичної промисловості. – Харків: НФаУ, 2005. – 167 с.
9. Нікіфоров С.О. Сушіння продуктів у псевдозрідженому шарі: метод. вказівки. – Київ: НУХТ, 2011. – 34 с.
10. Grumezescu A.M., Holban A.M. (Eds.). Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications. – Academic Press, 2019. – 538 p.
11. Дьяченко С.І., Козачок І.П. Основи машинознавства і деталей машин. – Київ: Ліра-К, 2020. – 312 с.

12. ISO 7183:2007. Compressed air dryers – Specifications and testing. – International Organization for Standardization.
13. Марчук М.Ф., Савчук О.П. Виробниче устаткування підприємств харчової промисловості. – Київ: Центр учбової літератури, 2013. – 528 с.
14. Романчук В.Ф. Основи охорони праці. – Львів: «Новий Світ – 2000», 2021. – 416 с.
15. Nikitin F.F., Osipova S.L. Engineering Basics of Chemical Technology. – Berlin: Springer, 2017. – 334 p.
16. Terekhov D.S., Brin A.L. Fluidized Bed Dryers in the Pharmaceutical Industry. // Chemical and Pharmaceutical Journal. – 2015. – Vol. 49, No. 7. – P. 375–382.