

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

## Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Виробництво сульфату амонію. Розробити та модернізувати сушарку псевдозрідженого шару

Виконав:

студент групи ХМ.м-11

Наталуха Андрій Романович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота магістра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

## Зміст

<b>Вступ</b>	<b>6</b>
<b>Розділ 1. Теоретичні основи досліджуваного процесу. Постановка задач по виконанню модернізації промислового обладнання</b>	<b>8</b>
1.1 Сутність процесу сушіння	8
1.2 Сушарки з киплячим (псевдозрідженим) шаром	9
1.3 Класифікація способів автоматизації сушильних установок	18
1.4 Оптимізація процесу сушіння	19
<b>Розділ 2. Технологічна частина</b>	<b>29</b>
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	29
2.2 Конструктивні особливості та принцип роботи проєктованого апарату	31
2.3 Технологічні розрахунки апарату	33
2.4 Конструктивні розрахунки апарату	40
2.5 Розрахунок гідравлічного опору сушарки	44
2.6 Вибір допоміжного обладнання	45
<b>Розділ 3. Проєктно-конструкторська частина</b>	<b>47</b>
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	47
3.2 Розрахунки апарату на міцність, стійкість та герметичність	48
<b>Розділ 4. Будівельно-монтажна частина</b>	<b>55</b>
4.1 Монтаж основного обладнання	55
4.2 Проведення ремонтних робіт основного технологічного обладнання	58
<b>Розділ 5. Інформаційне та апаратурне забезпечення автоматизованого керування</b>	<b>60</b>
5.1 Вибір та обґрунтування параметрів контролю, регулювання та вимірювання	60
5.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації	62

					<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Наталуха			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Юхименко				4	84
Реценз.					<b>СумДУ, ХМ.м-11</b>		
Н. Контр.							
Затверд.		Острога					
					<b>Виробництво сульфату амонію. Сушарка киплячого шару Пояснювальна записка</b>		

5.3 Розробка автоматичного керування процесом сушіння полідисперсних гранул сульфату амонію у зваженому (псевдозрідженому) шарі	64
<b>Розділ 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</b>	<b>70</b>
6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи обладнання	70
6.2 Розрахунок захисного заземлення для стаціонарної установки	76
<b>Список літератури</b>	<b>82</b>
<b>Додатки</b>	

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

## Вступ

Амоній сірчаноокислий або сульфат амонію – це мінеральна субстанція, що користується популярністю у якості добрива для рослин. Найчастіше використовується у весняний період. Азот, який міститься в добриві, позитивно впливає на зростання рослин, прискорюючи обмінні процеси, а використання сірки у складі сприяє збільшенню плодючості та збереженню їх у первісному вигляді, навіть після збирання врожаю [1].

Сульфат амонію представлений порошком без кольору, з кристалічною структурою, з рожевим або жовтим підтоном. У його основі використовується два макроелементи, тому його не можна назвати комплексним хімікатом. Тому фермери використовуються взаємне підживлення іншими добривами, для доповнення корисних елементів. Серед додаткових особливостей – відсутність агресивної природи, тому сульфат амонію не здатний нашкодити ні плодам, ні корінням будь-якої рослини. Форму і спосіб внесення можна підібрати індивідуально (допускається як рідкий стан, так і у вигляді сухої речовини). Перший варіант відмінно підходить для підживлення кореневої системи, стебел, листя. Суха форма може вноситися тільки при копанні [2].

За даними університетів штату Мічиган та Пенсільванія, гранульовані та рідкі добрива забезпечують однакову кількість біогену. Різниця полягає в доступності цього біогену для рослин, безпеці по відношенню до оброблюваних культур, повнота і легкість використання [3].

Загалом, світова тенденція аграрного сектору вимагає одержання добрив саме в гранульованому вигляді. За даними журналу Pro Farmer Inputs Monitor, перевагами використання гранульованих добрив є легкість зберігання, а також гранули більш повільно розкладаються, що дозволяє довше жити рослини (продлонгація дії на ґрунт і рослину) [3].

Стадія сушіння є однією з основних при отриманні гранул сульфату амонію. Видалення вологи з твердих і пастоподібних матеріалів дозволяє здешевити транспортування, надати їм необхідних властивостей, а також зменшити корозію апаратури і трубопроводів при зберіганні або подальшій обробці цих матеріалів.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вологу можна видаляти з матеріалів механічними способами (віджимання, відстоювання, фільтрування, центрифугування). Однак більш повне зневоднення досягається шляхом випаровування вологи і відведення пари, що утворюються, тобто за допомогою теплового сушіння. Теплове сушіння може відбуватися як у барабанних сушарках (можливе поєднання процесів гранулювання та сушіння в апаратах БГС), так і в сушарках киплячого шару.

Процес сушіння характеризується рядом параметрів: якістю та кількістю сировини та готового продукту, температурою та відносною вологістю середовища, часом перебування продукту в сушарці та ін. Основним параметром, що визначає процес сушіння, є кінцева вологість продукту. Однак в даний час промислових вологомірів, що працюють у потоці, мало, тому для правильного ведення процесу сушіння для регулювані використовуються непрямі параметри: температура сушильного агента, що виходить із сушарки, температура висушеного продукту. Регулюючим впливом є кількість тепла, що підводиться.

Метою магістерської роботи є дослідження технології виробництва гранульованого сульфату амонію та розробка автоматичного керування процесом сушіння полідисперсних матеріалів у зваженому (псевдозрідженому) шарі. Загалом, кваліфікаційну роботу виконано у відповідності до методичних рекомендацій [4] із представленням усіх обов'язкових розділів.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 1

### Теоретичні основи досліджуваного процесу.

#### Постановка задач по виконанню модернізації промислового обладнання

##### 1.1 Сутність процесу сушіння [5, 6]

Сушіння – це процес видалення вологи з твердого або пастоподібного матеріалу шляхом випаровування рідини, що міститься в ньому, за рахунок підведеного до матеріалу тепла.

При сушінні зазвичай видаляється з продукту рідкий компонент, яким у більшості випадків є вода, проте часто доводиться видаляти органічні розчинники. При сушінні змінюється теплопровідність матеріалу, знижується його об'ємна вага та підвищується міцність. Чим вища якість матеріалу, тим більша можливість його використання. Це може бути забезпечено при відповідному режимі процесу сушіння, який повинен проводитися за певних температур, тиску і відносної вологості теплоносія. Режим сушіння залежить від властивостей матеріалу, що висушується.

Сушіння широко застосовується в хімічній, хіміко-фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості. За своєю фізичною сутністю сушіння є складним дифузійним процесом, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи з глибини матеріалу, що висушується в навколишнє середовище. Видалення вологи при сушінні зводиться до переміщення тепла і речовини (вологи) всередині матеріалу та їхнього перенесення з поверхні матеріалу в навколишнє середовище. Таким чином, процес сушіння є поєднанням пов'язаних один з одним процесів тепло- та масообміну (вологообміну).

Розрізняють такі способи підведення теплоти:

- конвективну сушку, що проводиться шляхом безпосереднього контакту матеріалу та сушильного агента. Підведення теплоти здійснюється газовою фазою (повітря або суміш повітря з продуктами згорання палива), яка в процесі сушіння охолоджується зі збільшенням вологовмісту;

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- контактну (кондуктивну) сушку, яка реалізується шляхом передачі теплоти від теплоносія до матеріалу через стінку, що їх розділяє;
- радіаційне сушіння, при якому тепло передається тонкому шару матеріалу, або поверхні його, покритої лаками або фарбами, від електричних або газових інфрачервоних випромінювачів. Сушіння протікає інтенсивно. Сушарки відрізняються малою інерційністю;
- сублимаційне сушіння, при якому волога видаляється з матеріалу в замороженому стані (зазвичай у вакуумі). Найчастіше застосовується у харчовій, ніж у хімічній промисловості, з метою збереження об'єму, кольору, запаху, смакових та біологічних властивостей матеріалу. Обладнання цього методу сушіння відрізняється складністю;
- діелектричне сушіння, при якому матеріал висушується в полі струмів високої частоти. Застосовується для сушіння деревини, пінопласту, штучного волокна тощо. Цей метод сушіння відрізняється дорожнечою.

Принципова схема сушильної установки представлена рис. 1.1.

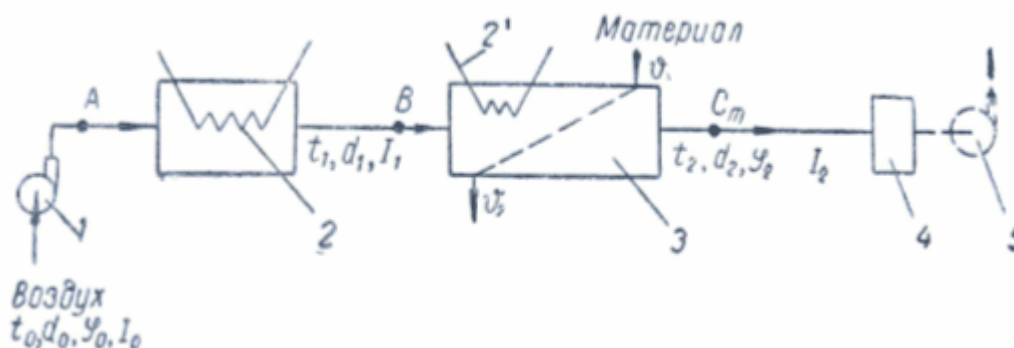


Рисунок 1.1 – Принципова схема сушильної установки:

- 1 – вентилятор; 2 – генератор тепла; 3 – сушарка;  
4 – пиловловлюючий пристрій; 5 – відсмоктуючий пристрій

Висушуваний матеріал надходить у сушарку 3, де його вологість знижується від  $\omega_1$  (початкова) до  $\omega_2$  (кінцева). У сушарці матеріал або перебуває у нерухомому стані (на деках, вагонетках), або рухається (на транспортерних стрічках, сітках, за допомогою гребків, пересипається при обертанні сушарки).

Сушіння проводиться за рахунок тепла, що виробляється в генераторі тепла 2, куди теплоносії може подаватися вентилятором 1. Генератором тепла можуть служити парові або газові калорифери, топки, що працюють на твердому, рідкому або газоподібному паливі, інфрачервоні випромінювачі та електричні генератори. Вибір генератора тепла зазвичай визначається схемою і методом сушіння, фізичними властивостями матеріалу, що висушується, і необхідним режимом сушіння. Іноді в сушильній камері встановлюється додатковий підігрівач 2'.

Передача тепла матеріалу, що висушується, проводиться або при безпосередньому контакті останнього з теплоносієм, або через поверхню, що обігрівається, на якій знаходиться матеріал. Поверхня теплообміну може обігріватись паром, димовими газами, гарячою водою. Безпосередньо матеріалу тепло передається або від повітря і димових газів, що омивають матеріал, який висушується, або від інертних газів і перегрітої пари. Останній вид теплоносія не набув широкого поширення у хімічній промисловості через складність створення таких сушарок безперервної дії. Тепло може передаватися матеріалу також від радіаційних джерел нагріву (при сушінні тонких матеріалів), або за допомогою струму високої або промислової частоти (при сушінні матеріалів порівняно великої товщини).

Пари розчинника, що виділяються з матеріалу, видаляються з сушарки за допомогою відсмоктуючого пристрою 5, який являє собою або вентилятор у разі сушіння повітрям чи газом, або конденсатор з вакуум-насосом, якщо необхідно створити вакуум в сушарці. При сушінні повітрям і газами з відпрацьованим теплоносієм виноситься якась кількість дрібних частинок продукту, що висушується. Для очищення газу в сушильну установку входить пиловловлюючий пристрій 4, що представляє собою циклон, скруббер або рукавний фільтр.

## 1.2 Сушарки з киплячим (псевдозрідженим) шаром [7–11]

Ці сушарки широко поширені в хімічній та суміжних галузях промисловості, оскільки в апаратах такого типу можна висушувати зернисті, пастоподібні та рідкі матеріали. Процес протікає з великою швидкістю, знімання вологи з 1 м<sup>2</sup> газороз-

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						10
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



подільної решітки в залежності від розміру частинок матеріалу та температурного режиму сушіння становить 500–3000 кг/(м<sup>2</sup>·год.). Можливість сушіння липких, пастоподібних і рідких матеріалів пояснюється тим, що киплячий (зважений, псевдозріджений) шар є хіба що «ретуром» попередньо підсушеного продукту.

В установках зі зваженим шаром можна одночасно проводити кілька процесів, наприклад сушіння та випал, сушіння та гранулювання, сушіння та подрібнення.

Такі установки різноманітні як за конструкцією, так і за гідродинамічними і тепловими режимами. Їх можна класифікувати за кількістю камер, за режимом процесу (періодичної, напівбезперервної та безперервної дії), по конфігурації сушильної камери (круглі і прямокутні, постійного і ті, що розширюються по висоті перерізу), по гідродинамічному режиму (з киплячим, фонтануючим і вихровим шаром).

Схеми різних сушарок із киплячим шаром показані на рис. 1.2: а – однокамерна (однозонна) сушарка круглого перерізу (застосовується зазвичай для сушіння термостійких матеріалів); б – однозонна прямокутна з відношенням довжини до діаметра більше 2, що забезпечує спрямований рух матеріалу від місця завантаження до місця вивантаження (використовується для дисперсних матеріалів, що містять внутрішню вологу; при цьому досягається висока рівномірність сушіння); в, г – багатозонні сушарки (у кожній зоні можуть створюватися різні гідродинамічні і температурні режими, оскільки теплоносій подається в них окремими вентиляторами; для надійності транспортування матеріалу з однієї зони в іншу такі сушарки застосовуються для крупнозернистих матеріалів, що мають хорошу сипкість); д, е – багатозонні сушарки з багаторазовим використанням теплоносія.

Сушарка представлена на рис. 1.2 г має горизонтальне розташування зон, причому в кожную зону може подаватися теплоносій з певними параметрами, і, таким чином, кожна зона може працювати зі своїми значеннями температури і швидкості газів. Над ґратами зони не поділяються порогами, що забезпечує безперешкодний рух матеріалу вздовж ґрат.

					ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

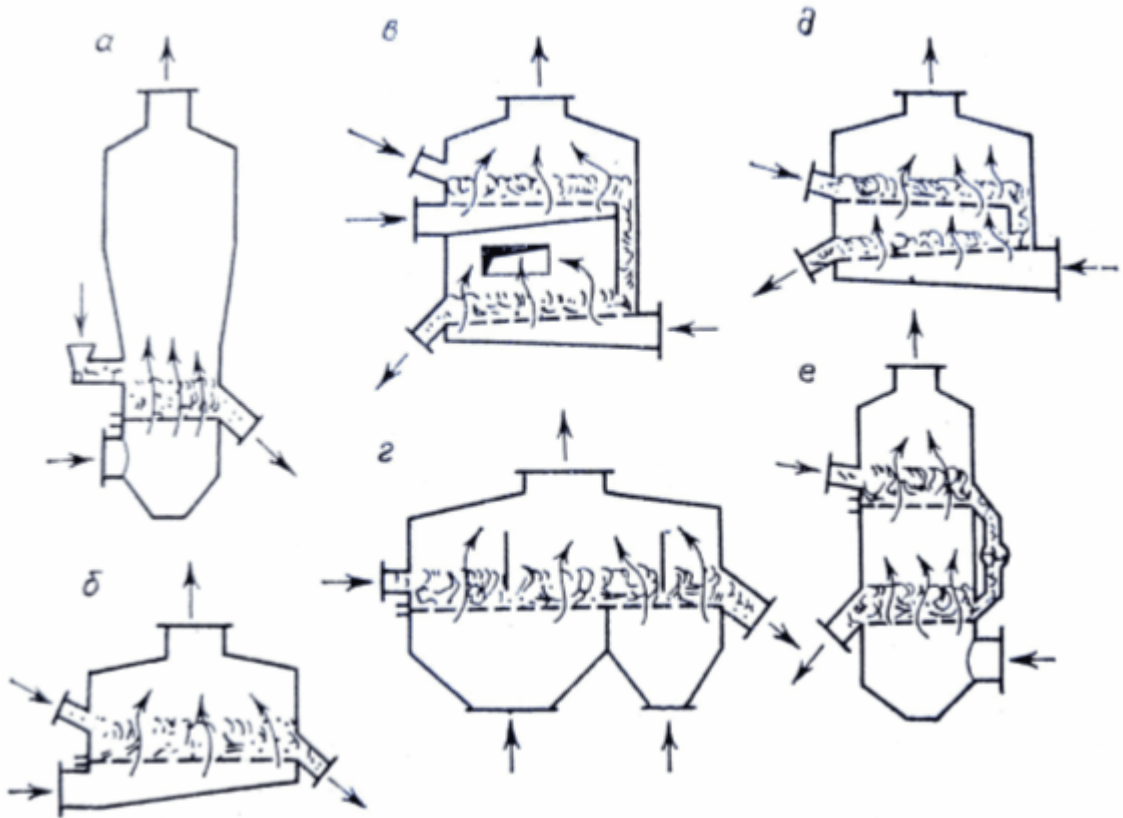


Рисунок 1.2 – Схеми різних сушарок із киплячим (псевдозрідженим) шаром:  
 а – однозонна кругла; б – однозонна прямокутна зі спрямованим рухом матеріалу;  
 в – зі спрямованим рухом матеріалу, розташуванням зон одна над одною та одно-  
 разовим використанням теплоносія; г – багатозонна у горизонтальній площині;  
 д – багатозонна з багаторазовим використанням теплоносія; е – циліндрична бага-  
 тозонна з багаторазовим використанням теплоносія

Час перебування матеріалу в таких апаратах можна легко регулювати. Воно ро-  
 зраховується зі співвідношення:

$$\tau_{\text{ср}} = G_{\text{ш}} / G_2, \quad (1.1)$$

де  $\tau_{\text{ср}}$  – середній витратний час перебування матеріалу у шарі;

$G_{\text{ш}}$  – маса шару;

$G_2$  – продуктивність сушарки за висушеним матеріалом; змінюючи висоту шару і,  
 таким чином, його масу, можна регулювати  $\tau_{\text{ср}}$ .

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Періодично діючі сушильні установки призначені для сушіння сипких та пастоподібних матеріалів у малотоннажних виробництвах хімічної та хіміко-фармацевтичної промисловості.

Сушарка має камеру, яка встановлена на візку, що дозволяє проводити завантаження вологого і вивантаження висушеного матеріалу поза межами установки. Після завантаження камера вкочується в нижню частину сушильної зони, за допомогою важелів піднімається і з'єднується з фільтром, розташованим у верхній частині сушильної зони. Фільтр являє собою каркас із системи концентричних кілець, на які натягнутий конус зі склотканини (площа поверхні 20 м<sup>2</sup>). Фільтр періодично струшується з частотою вібрацій 2800 за 1 хв. Вібратор поміщений у кожух із піддувом чистого повітря чи азоту. До сушильної зони примикає зона з допоміжним обладнанням – вентилятором, паровими калориферами і калориферами для високотемпературного теплоносія. Останні використовуються за необхідності більш високої температури нагрівання повітря, аніж та, яка досягається в парових калориферах (тобто до 180–200°C). Установка має систему КВП та автоматики.

Сушарки такого типу можуть бути забезпечені перемішувачами для пастоподібних матеріалів, що розсипаються в процесі сушіння. Прикладом сушарки напівбезперервної дії, що забезпечує безперервність процесу транспортування твердої фази при періодичній сушці, може служити сушарка з перегородками, які обертаються. У цих апаратах досягається рівномірне сушіння, проте застосовувати їх можна тільки в малотоннажних виробництвах.

У хімічній промисловості найчастіше використовують безперервно діючі сушильні установки киплячого шару або інших різновидів зваженого шару (фонтануючого, вихрового). На рис. 1.3 показано установку для сушіння хлористого калію продуктивністю близько 100 т/год. (діаметр сушарки 3,2 м, площа решітки 8 м<sup>2</sup>). Вологий матеріал подається транспортером приймальний бункер 2 і живильником-закидувачем 3 розподіляється на поверхні шару. Вентилятором 4 повітря спрямовується для подачі в пальник, де згоряє природний газ або мазут, а також на розведення продуктів згоряння в камеру змішування, що становить одне ціле з топкою 5, псевдозріджує шар висушеного продукту, що знаходиться на ній.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

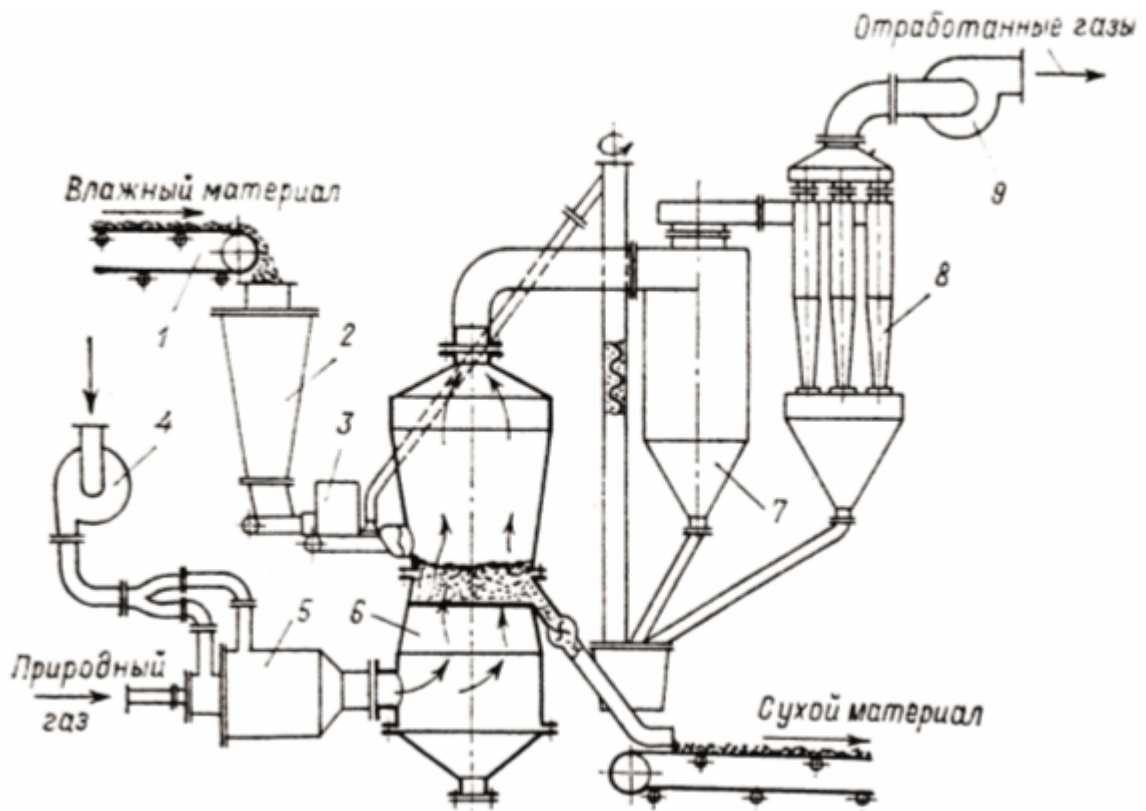


Рисунок 1.3 – Крупнотонажна сушильна установка з кипящим (псевдозрідженим) шаром: 1 – транспортер; 2 – бункер; 3 – живильник; 4 – вентилятор; 5 – топка; 6 – камера; 7 – циклон; 8 – батарейний циклон; 9 – димосос

Висушений продукт розвантажується безперервно через отвір, що знаходиться на рівні решітки (в інших установках розвантаження проводиться через пересипний пристрій, розташований на рівні шару). Розвантаження лише на рівні решітки сприяє виведенню великих грудок. Сухий матеріал надходить на стрічковий транспортер.

Дрібна фракція, виділена в системі циклонів (звичайному 7 і 8 батарейному), вертикальним шнеком подається зі збірника до місця завантаження і змішується з вологим матеріалом. Остаточне очищення теплоносія, що відходить з сушильної установки, здійснюється в мокрому скрубєрі, перед яким встановлений димосос 9.

При сушінні матеріалів, що комкуються, а також термочутливих продуктів гідродинамічний режим в прирешіточній зоні повинен бути досить активним, застійні зони повинні бути відсутніми. Такий режим забезпечується в апаратах з шаром розтину, що розширюється, – фонтануючим (рис. 1.4 а) і вихровим (рис. 1.4 б).

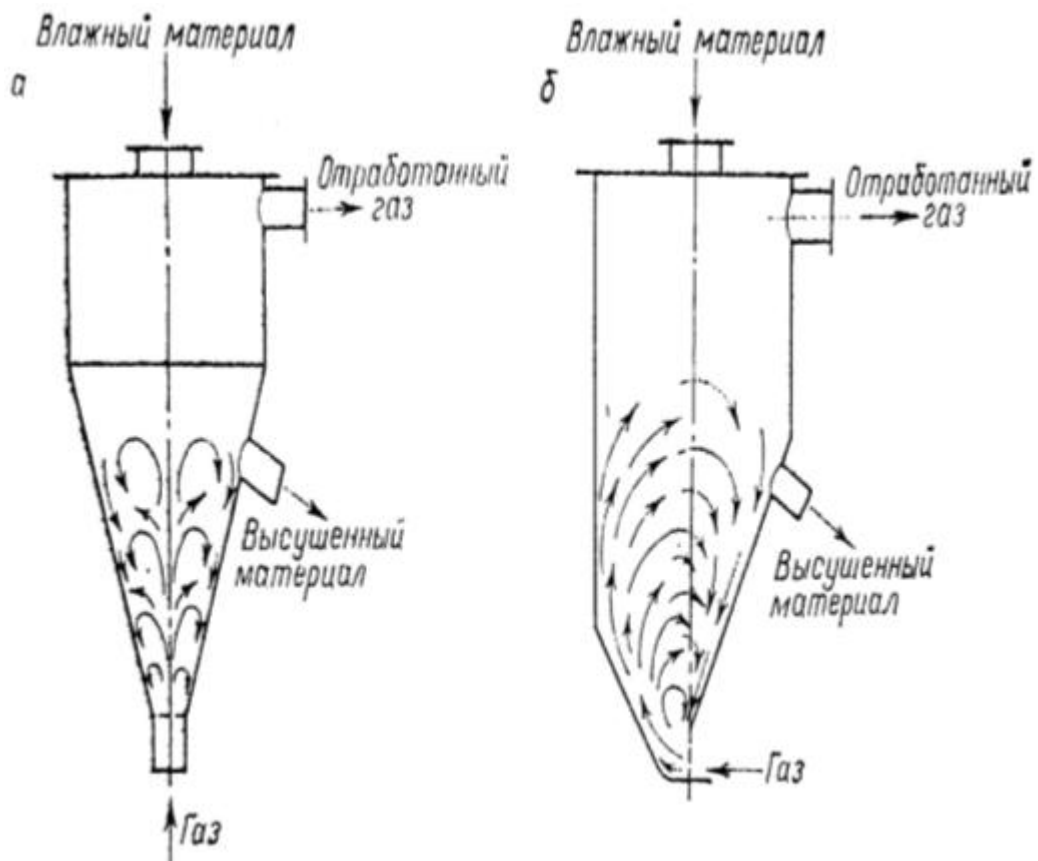


Рисунок 1.4 – Схеми сушильних апаратів:

а – з шаром, що фонтанує; б – з вихровим шаром

Ці апарати легко масштабуються шляхом паралельного з'єднання відповідної кількості жолобів. Відмінність полягає в тому, що в апараті з вихровим шаром теплоносій підводиться в шар тангенціально, решітка безпровальна, а в апараті з шаром, що фонтанує, введення теплоносія здійснюється знизу.

Сушарки зі зваженим шаром успішно використовуються для сушіння суспензій і розчинів, причому висушений продукт може бути отриманий або в гранульованому вигляді або у вигляді порошку. При отриманні висушеного матеріалу у вигляді гранул процес зазвичай проводять у шарі матеріалу, що висушується з розвантаженням продукту з шару, а при необхідності отримання порівняно тонкодисперсного матеріалу і в тих випадках, коли висушуються термочутливі і в'язкі матеріали (желатин, барвники, пігменти тощо), рекомендується сушіння з використанням інертних частинок (фторопластових, фарфорових та ін.). Слід мати на увазі, що в останньому випадку процес стійкіший, оскільки маса шару, що складається практично тільки з інертних частинок, у процесі сушіння не змінюється.

Принцип сушіння матеріалів у киплячому шарі полягає в наступному: якщо до зернистого матеріалу, покладеного на решітку, підводити знизу повітря, поступово збільшуючи його швидкість (рис. 1.5), то при певній швидкості  $v_{всп}$  висота шару  $H$  починає поступово збільшуватися. При подальшому збільшенні швидкості до величини  $v'_{кр} = v'_ч$  ( $v'_ч$  – швидкість витання шару), напір досягає максимального значення  $\Delta P_{кр}$  і відповідає вазі матеріалу плюс деякому перепаду  $\Delta P_{кр} - \Delta P_{кип}$  необхідному для витрати енергії на відрив частинок одна від одної.

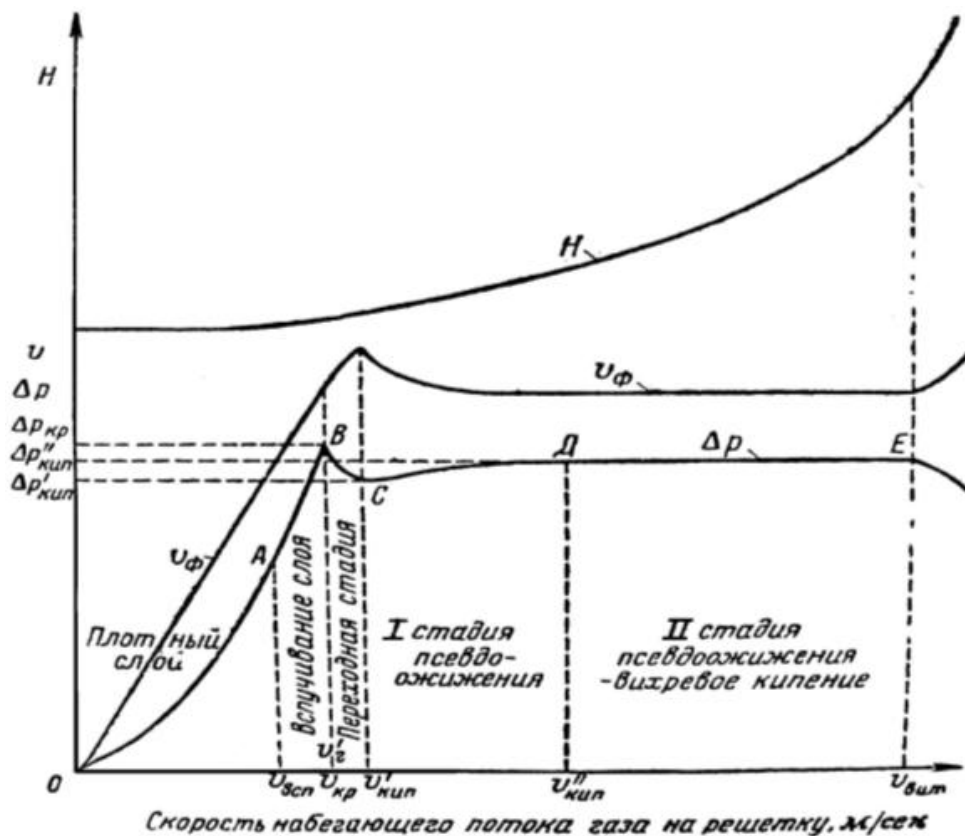


Рисунок 1.5 – Схема меж утворення киплячого шару:

$\Delta P$  – опір шару;  $v_{г}$  – швидкість газу у шарі;  $H$  – висота шару

Потім опір шару  $\Delta P$  різко падає, а швидкість шарі матеріалу  $v_{ф}$  збільшується. Така зміна опору пояснюється утворенням у шарі каналів, якими проривається деяка частина газу. Швидкість газу, що відповідає точці C і  $v'_{кип}$  приймають за початок першої стадії псевдозрідження.

У цьому стані в шарі виникають окремі фонтани бурхливого кипіння, більша ж частина частинок залишається майже нерухомою. Поступове збільшення швидко-

сті повітря вище  $v'_{\text{кип}}$  сприяє виникненню нових вогнищ кипіння, інтенсивність руху частинок у шарі зростає, підвищується рівномірність кипіння. Опір шару дещо зростає, а швидкість газу в шарі або швидкість фільтрації  $v_{\text{ф}}$  падає (ділянка CD), а потім, починаючи з деякого значення швидкості потоку, що набігає (точка D),  $\Delta P_{\text{к}}$  і  $v_{\text{ф}}$  практично залишаються постійними (ділянка DE). Постійність швидкості фільтрації  $v_{\text{ф}}$ , незважаючи на збільшення швидкості набігаючого газу на решітку, пояснюється збільшенням висоти шару, що забезпечує сталість прохідного перерізу газу в киплячому шарі. Значення швидкості газу, віднесене до швидкості потоку газу, що набігає на решітку, прийнято відповідним початком другої стадії псевдо зрідження – стадії вихрового кипіння – і позначається  $v''_{\text{кип}}$ .

При вихровому кипінні має місце циклічний рух часток в обсязі шару. Сушіння в киплячому шарі здебільшого доцільно проводити на початку другої стадії псевдозрідження, коли незначний винос дрібних частинок і забезпечується гарне перемішування шару, тобто при швидкості газу, близької до швидкості  $v''_{\text{кип}}$ . На практиці виявлено  $v''_{\text{кип}} = 0,15 \div 0,20 v_{\text{вит}}$  цих частинок.

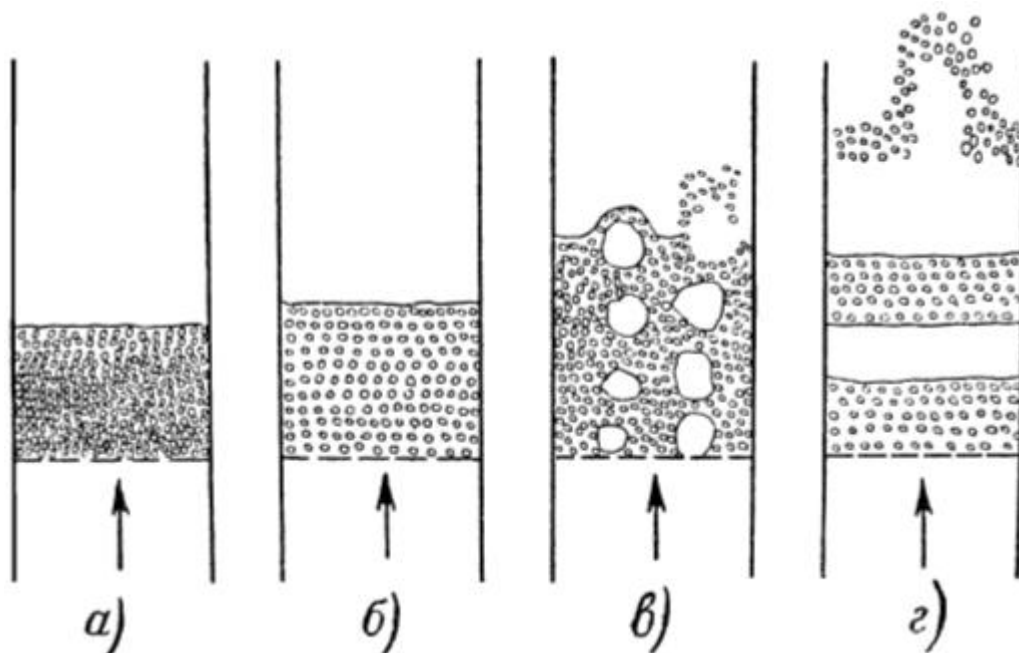


Рисунок 1.6 – Характер зміни структури шару залежно від кількості псевдозрідження: а – нерухомий шар; б – киплячий шар у початковій фазі; в – пухирчасте кипіння шару; г – поршневе кипіння шару

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Якщо проводити сушіння в киплячому шарі в трубах малого діаметра (75–100 мм), то при швидкостях газу, близьких до швидкості витання частинок (точка Е на рис. 1.5), відбувається прорив через киплячий шар великих бульбашок газу (рис. 1.6 в ) і починається інтенсивне викидання частинок над поверхнею шару.

Бульбашки можуть збільшуватися в обсязі, і таким чином, заповнюється весь перетин камери. Починається, так зване, поршневе кипіння шару, яке полягає в тому, що шар розділяється великими бульбашками і відбувається розшарування матеріалу (рис. 1.6 г).

Явище поршневого кипіння спостерігаються у трубах невеликого діаметра. В установках з великим діаметром решітки при вихровому кипінні спостерігаються каналоутворення та проскакування повітря, які збільшуються з підвищенням швидкості газу, що значно погіршує тепло- та масообмін шару з газом. Для поліпшення роботи сушарки застосовують мішалки, що усувають каналоутворення.

### **1.3 Класифікація способів автоматизації сушильних установок [12–15]**

Сучасний розвиток техніки сушіння матеріалів значною мірою пов'язаний із застосуванням високих температур, а в ряді випадків і вологостей сушильного агента або потужних променистих потоків при радіаційному сушінні, оскільки це дає можливість інтенсифікувати процес сушіння матеріалів. Однак ефективне управління процесами сушіння, що швидко протікають, неможливе без застосування автоматичного регулювання та управління. При ручному регулюванні в цих випадках неможливо здійснити точну підтримку високих температур сушильного агента або випромінюючої поверхні в заданих межах. Застосування автоматизації та автоблокування в сушильних установках необхідно і за вимогами техніки безпеки, наприклад при сушінні струмами високої частоти, при сушінні вибухонебезпечних та отруйних речовин тощо.

Автоматизація управління підвищує культуру експлуатації і к. к. д. сушильної установки, збільшує її продуктивність, покращує якість сушіння, підвищує надійність роботи, полегшує умови праці та дозволяє зменшити кількість персоналу, що обслуговує сушарку.

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18



Сучасна техніка комплексної автоматизації та механізації досягла значної досконалості, і в даний час застосовуються:

1. Автоматичне регулювання сушарок безперервної дії, що забезпечує сталість заздалегідь заданих значень одного або декількох параметрів режиму сушіння, наприклад, температури і вологості сушильного агента в різних зонах робочої камери сушарки.

2. Програмне автоматичне регулювання сушарок періодичної дії, що забезпечує (заздалегідь задане) регулювання параметрів режиму сушіння в міру протікання процесу сушіння, тобто зміна безперервно або через певні проміжки часу температури та вологості сушильного агента робочої камери сушарки.

3. Автоматичний захист та сигналізація, що оберігають сушильний агрегат від аварії. Зазвичай у таких випадках використовують автоматичні сигналізатори, при їх встановленні в кількох сушарках роблять один звуковий сигнал. У схемі передбачається кнопка для припинення звукового сигналу і можливості його подальшого включення, якщо в цей момент, коли ще не ліквідована аварія в першій камері, підвищиться температура в будь-якій іншій камері. За наявності автоматичного регулювання термосигналізацію у ряді випадків не влаштовують.

4. Автоматичне блокування, що забезпечує включення та вимикання групи допоміжних механізмів та органів управління (засувки, вентилів, заслінок тощо) з певною послідовністю, яка потрібна за технологічним процесом. Таким блокуванням, наприклад у малярних сушарках, є автоматичне вимикання подачі газу до пальників, перемикання газів з топки на димову трубу та зупинка конвеєра, якщо відбудеться аварійна зупинка дуттьового вентилятора.

#### 1.4 Оптимізація процесу сушіння

У промислових сушильних установках КШ теплова рівновага між газоподібним теплоносієм та матеріалом шару встановлюється вже на невеликій відстані від газорозподільних ґрат. В результаті температури газів, що залишають шар, і матеріалу практично рівні між собою незалежно від початкової температури теплоносія і інтенсивності підведення тепла в шар. Ця концепція дозволяє розглядати регу-

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

лювання температури шару в апаратах КШ як постійне та безперервне підтримання рівноваги між приходом тепла з теплоносієм та його витратою на нагрівання матеріалу та випаровування води за заданих умовах сушіння. Порухення теплового балансу в об'єкті в результаті збуджуючих впливів викликає зміну вихідних параметрів.

У якості критерію оптимальності сушіння вибирають, як правило, кількість вологи  $W$ , що видаляється з матеріалу в одиницю часу:

$$W = G_M (\omega_H - \omega_K), \quad (1.2)$$

де  $G_M$  – витрата сухого матеріалу;

$\omega_H, \omega_K$  – вологість відповідно вологого та сухого матеріалу.

Поточні значення витрати  $G_M$  та вологостей  $\omega_H$  і  $\omega_K$  подаються на обчислювальний пристрій, що розраховує критерій оптимальності. Вихідний сигнал з цього пристрою надходить на екстремальний регулятор, який змінює по черзі витрати сушильного агента та вологого матеріалу, відшукуючи найкраще значення критерію оптимальності процесу. При роботі екстремального регулятора вводиться обмеження мінімальної вологості сухого матеріалу. Початкова температура сушильного агента при такій схемі стабілізується шляхом зміни витрати теплоносія, що подається в теплообмінник.

У сушарках з великою інерційністю пошук екстремальних значень затягується, а якість регулювання не покращується (порівняно зі звичайними схемами регулювання).

### **Визначення моменту закінчення сушіння за різницею температур**

Такий метод застосовується у сушарках періодичної дії. При досягненні в процесі сушіння рівноважної вологості температура стає рівною температурі сушильного агента. У зв'язку з цим можна досить просто контролювати закінчення процесу сушіння: у матеріалі і в навколишньому середовищі помістити чутливі елементи (термопари), з'єднавши їх за диференціальною схемою і приєднавши до потенціометра з сигналізуючим пристроєм (рис. 1.7).

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						20
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

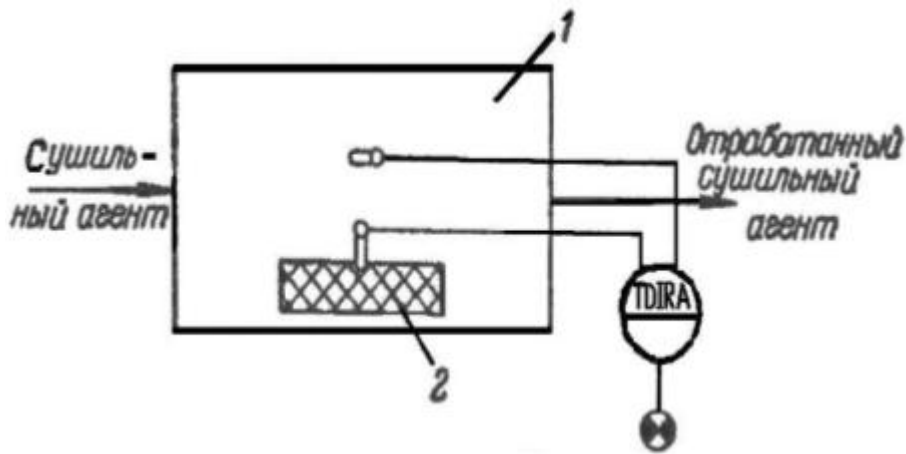


Рисунок 1.7 – Схема визначення моменту закінчення сушіння за різницею температур: 1 – сушарка; 2 – матеріал, що висушується

**Регулювання температури шару.** Розглянемо процес сушіння, що встановився, при якому задані температура і кількість теплоносія, навантаження по вологому матеріалу і його вміст води. Будь-яка зміна одного з цих змінних негайно викличе дисбаланс приходу та витрати тепла в шарі при одночасній зміні температури шару та газів, що відходять. Так, наприклад, збільшення завантаження вологого матеріалу або підвищення його вмісту води, або те й інше одночасно, буде мати свої наслідки збільшення витратної частини балансу при постійному приході тепла і, отже, відповідне зниження температури шару. Аналогічним чином збільшення кількості теплоносія або підвищення його температури при незмінному завантаженні підвищує прихід тепла над витратою і температура шару почне підвищуватися; таким чином, температура шару відображає будь-яку зміну змінних, що характеризують процес сушіння.

Отже, температура шару є одним із основних параметрів, що відображають відповідність прибуткової і видаткової частин теплового балансу сушіння, і підтримання її на постійному заданому рівні головне завдання системи регулювання. Поряд із цим необхідність стабілізації температури шару диктується технологічними вимогами.

Експериментально доведено, що кінцева вологість матеріалу при сушінні в киплячому шарі однозначно визначається температурою шару. Ця властивість процесу дозволяє регулювати якість сушіння найбільш простим і надійним способом

– шляхом підтримки температури шару на заданому для даного матеріалу рівні. При порушенні цієї умови, наприклад, при зниженні температури шару, відбувається підвищення кінцевого вологовмісту, що може в окремих випадках різко погіршити умови псевдозрідження і привести установку до аварійного стану. Крім того, при зниженні температури шару відповідно знижується температура відхідних газів, що пов'язано з небезпекою конденсації парів у вузлі пиловловлення. Підвищення температури шару призводить не тільки до зниження теплового к. к. д. установки, але і до погіршення умов роботи та зниження продуктивності хвостового димососа. Останнє може стати причиною вимушеного зниження обсягу теплоносія і відповідного зменшення продуктивності сушильної установки.

Таким чином, оптимальна схема регулювання температури шару зводиться до її стабілізації на заданому рівні. У виробничих умовах неминучі, звичайно, зовнішні збуджуючі впливи, що обумовлюються коливанням кількості сирого матеріалу, який надходить на сушіння, або його вологовмісту. Завданням регулювання є компенсація змін, що виникли таким чином, щоб коливання температури шару при цьому не перевищували певного значення. Регулювання температури шару можна здійснити двома принципово різними способами. За першим способом стабілізується температура і кількість теплоносія – відповідно прибуткова частина балансу, а сталість температури шару підтримується шляхом відповідного регулювання кількості вологого матеріалу, що подається в шар.

При такому способі регулювання температури шару між сушінням і попередньою станцією (наприклад, фільтрами, центрифугами) встановлюється проміжний бункер достатньої ємності, який повинен сприймати і згладжувати можливі, порівняно невеликі, виробничі коливання. Транспортний пристрій або живильник, що подає вологий матеріал з проміжного бункера в апарат КШ, повинен мати в цьому випадку регульований привід, що дозволяє змінювати продуктивність живильника в залежності від зміни температури шару.

Ця система регулювання шляхом зміни подачі сирого матеріалу проста, надійна і дозволяє підтримувати температуру шару при автоматичному регулюванні з похибкою, що не перевищує  $\pm 5$  град. До цього можна додати, що в цьому випадку

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

сушильна установка може працювати при постійній оптимальній температурі теплоносія, що забезпечує високий тепловий к. к. д. при стабільній роботі топки.

Внаслідок малої інерційності процесу для вимірювання та регулювання температури у шарі можуть бути використані лише швидкодіючі датчики високої експлуатаційної надійності. Найбільш прийнятним типом датчика є малоінерційна термопара. До недоліків цього методу регулювання слід віднести необхідність встановлення проміжного бункера та регульованого дозування на завантаженні сирого матеріалу.

Такий спосіб регулювання достатній тільки в тих випадках, коли коливання кількості і вологовмісту матеріалу, що надходить на сушіння з попередньої виробничої станції, невеликі, мають випадковий характер і легко згладжуються установкою проміжного бункера або коли сушіння не пов'язане жорстко з попередньою роботою станції, отримуючи, наприклад, матеріал зі складу.

За відсутності цих умов, тобто коли сушіння жорстко пов'язане з роботою попередньої виробничої станції і повинно переробляти весь поступаючий вологий матеріал, незалежно від можливих коливань навантаження, розглянутий вище спосіб стабілізації температури виявляється вже недостатнім для управління процесом і повинні бути вжиті спеціальні заходи для узгодження продуктивності установки КШ з навантаженням, що надходить на неї. Крім наведеної схеми регулювання температури шару вводиться новий параметр, що відображає відповідність продуктивності установки вимогам попередньої станції. У якості такого параметру може служити рівень вологого матеріалу в проміжному бункері. Зниження рівня в бункері показує, що продуктивність сушарки в даний час перевищує продуктивність попередньої станції, при цьому температура теплоносія повинна бути знижена і, навпаки, накопичення сирого матеріалу в проміжному бункері вимагає підвищення продуктивності сушарки шляхом підвищення температури теплоносія.

Оскільки температура теплоносія при постійній кількості повітря, що вводиться в систему, однозначно визначається витратою палива, такий спосіб регулювання заснований на зміні витрати палива в залежності від рівня сирого матеріалу в проміжному бункері (рис. 1.8 а).

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

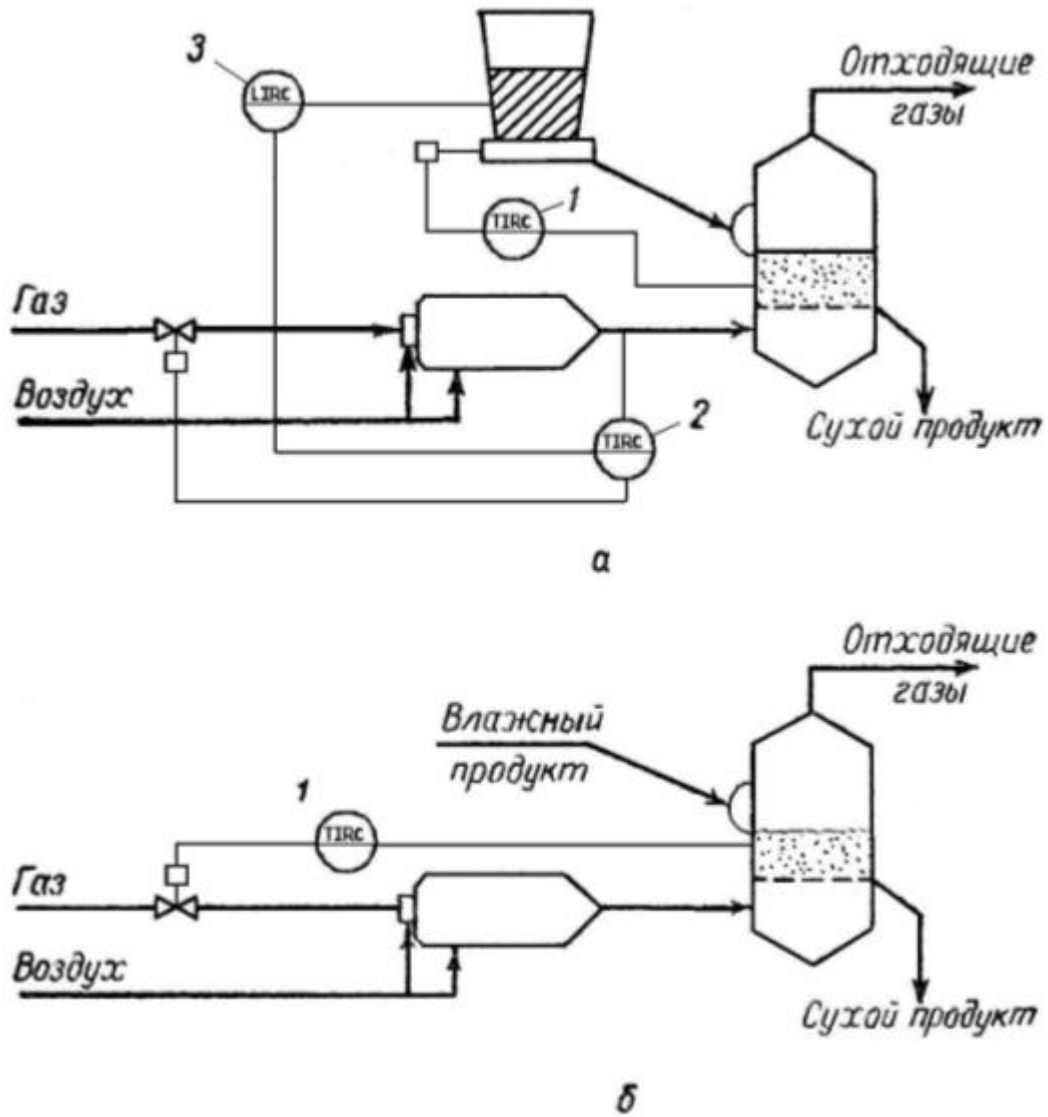


Рисунок 1.8 – Погодження продуктивності установки КШ з навантаженням попередньої технологічної станції: а – за наявності проміжного бункера; б – за відсутності проміжного бункера; 1 – регулятор температури шару; 2 – регулятор температури теплоносія; 3 – коригуючий регулятор рівня

При цьому регулювання рівня в бункері здійснюється двома регуляторами, включеними за каскадною схемою: допоміжним регулятором температури теплоносія 2 і коригуючого регулятора рівня 3. Регулювання температури шару, як і в першому випадку, виконується регулятором 1, що впливає на подачу в апарат вологого матеріалу.

Другий спосіб регулювання температури шару полягає у наступному. Якщо за виробничими умовами установка КШ повинна працювати без проміжного бункера, то стабілізація температури шару досягається за рахунок зміни температури

теплоносія відповідно до миттєвого навантаження сушарки, що передбачається попередньою станцією. У цьому випадку не потрібно ні встановлення проміжного бункера, ні регулювання подачі матеріалу в шар, оскільки сушарка повинна приймати і переробляти весь матеріал, що надходить незалежно від можливих коливань.

Даний спосіб регулювання простіший в апаратурному оформленні, проте якість регулювання температури шару, внаслідок суттєвої теплової інерції топки, нижче, ніж при регулюванні температури шляхом зміни подачі вологого матеріалу.

Вибір того чи іншого способу стабілізації температури шару залежить від конкретних умов сушіння та аналізу роботи попередніх виробничих станцій. Фізичні властивості вологого матеріалу, що надходить на сушіння, наприклад, його схильність до злипання в бункерах, також визначає вибір одного з двох способів регулювання.

**Регулювання висоти шару.** Система автоматизації процесу сушіння, крім стабілізації температури шару та узгодження навантажень, повинна також виконувати стабілізацію опору шару. Стабілізація опору шару необхідна, оскільки значні коливання кількості матеріалу в шарі і відповідно його опору може призвести до аварійного стану, а також порушення гідродинамічного режиму процесу, а в ряді випадків і гранулометричного складу продукту.

Підтримка постійного опору шару (або сумарного перепаду в шарі та газорозподільній решітці) виконується регулятором 9 (рис. 1.9) шляхом зміни кількості вивантажуваного з шару сухого матеріалу. Таке регулювання досягається в результаті зміни продуктивності вивантажувального пристрою (секторного затвора, шнека), що оснащується регульованим приводом.

У деяких випадках, особливо в сушарках великої потужності (100 т/год. і вище), можна рекомендувати установку переливних течок, що використовуються, однак, тільки в аварійних випадках при зупинках примусового вивантаження, оскільки вони незручні в експлуатації, – при невеликому розрідженні в апараті через них підсмоктується повітря, а при короткочасних припиненнях завантаження, в результаті інтенсивного кипіння шару і перехльостування його через краї тічки, висота шару сильно знижується.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

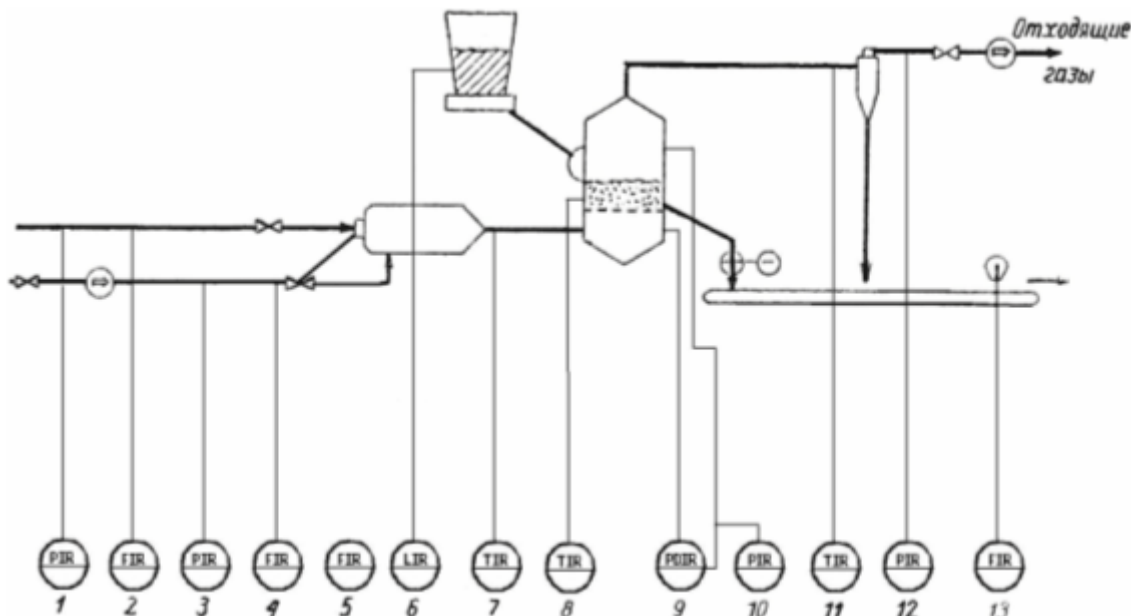


Рисунок 1.9 – Схема технологічного контролю процесу сушіння в апараті КШ: прилади контролю: 1 – тиск газу; 2 – витрати газу; 3 – напору загального повітря; 4 – витрати загального повітря; 5 – витрати первинного повітря; 6 – рівня вологого матеріалу в бункері; 7 – температури теплоносія; 8 – температури шару; 9 – опору (висоти) шару; 10 – розрідження в апараті; 11 – температури відхідних газів; 12 – тиску перед димососом; 13 – витрати сухого продукту

У верхній частині апарата має підтримуватися невелике розрідження близько 5–10 мм. вод. ст., щоб не допустити проникнення запилених газів з апарата до робочого приміщення через завантажувальну течку. Це досягається за допомогою установки направляючого апарата на всмоктуванні димососа, керованого регулятором розрідження 8.

**Регулювання витрати повітря.** Найбільш важливою умовою забезпечення нормального режиму процесу є підтримання постійної витрати повітря та, відповідно, швидкості газу в шарі. Особливо різкі порушення гідродинаміки шару тягне у себе зниження витрати повітря нижче певної межі, властивого даного матеріалу. При підвищеній витраті повітря збільшується винесення матеріалу з шару, що призводить до підвищення навантаження на пиловловлюючі пристрої і збільшення втрат продукту.

Регулювання кількості повітря, що подається вентилятором, здійснюється за допомогою пелюсткового направляючого апарату. Управління направляючим



апаратом виконується дистанційно. Досвід експлуатації промислових сушильних установок показує, що при стабілізації опору шару і величини розрідження у верхній частині апарату кількість повітря, що подається вентилятором, залишається практично постійним протягом дуже тривалих проміжків часу і лише зрідка може знадобитися невелике коригування. Зміна кількості подаваного повітря в значних межах буває необхідним лише в аварійних випадках, наприклад при короткочасних зупинках і т. п. Тому для регулювання загальної витрати повітря не потрібно автоматичного регулятора і можна обмежитися дистанційним керуванням з пульта. Оскільки витрати повітря та палива, що надходять у топку, можна виміряти досить точно, економічність процесу горіння забезпечується шляхом підтримання постійного співвідношення «паливо – повітря».

Увесь обсяг повітря, що подається вентилятором в систему і встановлюється дистанційно з пульта, розподіляється на дві частини: первинний – для спалювання палива і вторинний – для розведення топкових газів до температури теплоносія. Розподіл повітря проводиться клапаном, керованим регулятором співвідношення.

Дослідження стійкості та якості процесів регулювання основних параметрів установки киплячого шару дозволяє рекомендувати до використання регулятори пропорційно-інтегрального типу. При цьому доцільно надати перевагу електронним регуляторам.

У разі застосування у якості палива природного газу необхідно передбачити також звичайну систему захисної автоматики. Повинна передбачатися можливість дистанційного керування з щита оператора такими параметрами: витратою вологого та сухого матеріалу, загального повітря, повітря на горіння та витрати газів. На щит оператора виноситься технологічна і аварійна сигналізація, а також дистанційне управління всіма двигунами установки киплячого шару. Однак не всі функції регулювання установок киплячого шару автоматизовані. Деякі з них виконуються безпосередньо персоналом.

Часткове виконання функцій регулювання вручну допустимо в установках невеликої продуктивності. Так, в окремих випадках при рідкісних і не особливо сильних змінах навантаження, а отже, і витраті палива можна відмовитися від авто-

					ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

матичного регулювання та коригувати дистанційно співвідношення «паливо – первинне повітря».

У схемі автоматизації процесу сушіння необхідно також передбачати виконання контролю наступних параметрів (рис. 1.9): температури в шарі і початкової температури теплоносія, температури газів, що виходять, витрати палива, загального повітря і повітря на горіння, тиск в апараті і перед димососом, опору шару та рівня матеріалу в бункері.

					ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

## Розділ 2

### Технологічна частина

#### 2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Технологічна схема установки виробництва сульфату амонію приведена на рис. 2.1.

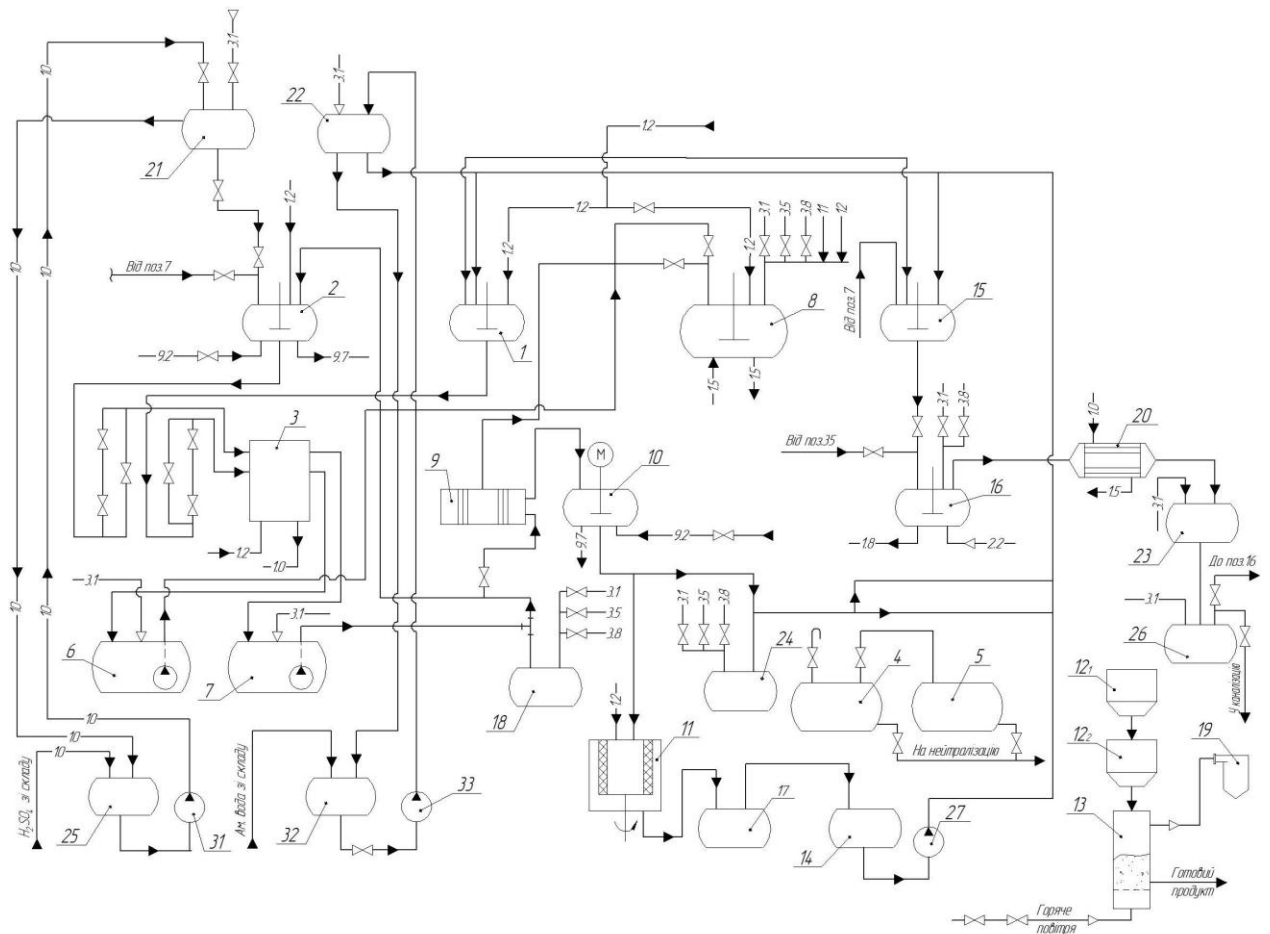


Рисунок 2.1 – Технологічна схема установки виробництва сульфату амонію

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. В апарат 8 завантажують з лінії 2500 л артезіанської води. Сюди ж із мішків завантажуються 1400–1500 кг (35–39 мішків) кристалічного сульфату амонію. Вміст апарату нагрівають до температури 30–35°C і при включеній мішалці ведуть розчинення сульфату амонію. При досягненні вмісту сульфату амонію в розчині 430–460 г/л розчин з

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

XI.C.00.00.00 ПЗ

Лист

29

апарату 8 за допомогою стиснутого повітря подають на фільтрацію від механічних домішок на рамний фільтр 9, звідки розчин спрямовується в один із кристалізаторів 10.

Із кристалізаторів розчин зливають у збірник 14, а потім відцентровим насосом 27 подають у мірники аналізу 1 або ж у проміжну ємність 24, а потім за допомогою стиснутого повітря – в мірники католіту 2.

У розчин сульфату амонію (апарат 2) завантажують із мірника 21 сірчану кислоту в кількості 60–65 л на 1 м<sup>3</sup> розчину. Розчин перемішують мішалкою протягом 30 хв. і перевіряють в ньому вміст кислоти, яке повинно бути 110–120 г/л. Таким чином, готується католітний розчин у кількості 8,5–9 м<sup>3</sup> для заповнення системи і пуску електролізерів. Робота електролізерів здійснюється в безперервному режимі, при цьому циклові розчини аноліту і католіту циркулюють у загальній технологічній схемі окремо.

Для пуску електролізерів необхідно подати охолоджуючу воду з колектора на охолодження анодів і катодів у кількості 30–35 м<sup>3</sup>/год. Далі, через ротаметри, треба подати проточну воду: для аноліту – 800–1000 л/год., для католіту – 800–900 л/год. У процесі роботи проточність регулюється в залежності від результатів аналізів на кислотність і вміст ПСА.

Вихід установки на стабільний режим відбувається за 2–3 години, при цьому навантаження повинно бути 4,5–5,0 кА при швидкості потоку 800–1000 л/год. Напруга має бути в межах 65–70 В. Температура аноліту, що надходить на електроліз, підтримується в межах 20–25°C. Температура католіту в процесі електролізу 30–35°C.

Технічний сульфат амонію часто забруднений сульфатом заліза. Вміст заліза не повинно перевищувати 60 мг/л. Позбутися його простою перекристалізацією неможливо, оскільки солі заліза сокристалізуються з сульфатом амонію, утворюючи подвійну сіль Мора.

Для очищення препарату 150 г його розчиняють у 260 мл дистильованої води, нагрівають до кипіння, додають 1–2 г пероксодисульфату амонію і кип'ятять до повного окислення заліза (II) у залізо (III). Повноту окиснення необхідно перевірити додаванням до відфільтрованої проби розчину гексаціаноферрату (III) калію

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(червоної кров'яної солі) – синє фарбування проби вказує на неповноту окиснення заліза, у такому разі процес очищення слід повторити.

Після переходу всього заліза у тривалентне, до розчину слід додати міцний розчин аміаку до лужної реакції і відфільтрувати. Отриманий розчин упарити до консистенції рідкої кристалічної кашки і дати охолонути до кімнатної температури. Утворені кристали промити кілька разів дистильованою водою. В отриманому реактиві може бути до 0,2 % сульфату кальцію, який відокремити не вдасться.

## 2.2 Конструктивні особливості та принцип роботи проєктованого апарату

Для сушіння сульфату амонію обрано сушарку киплячого шару. Загалом, сушарки цього типу застосовуються для сушіння дисперсних матеріалів, вони прості як в конструктивному виконанні, так і в експлуатації, володіють високими експлуатаційними показниками, легко піддаються автоматизації. Корпус сушарок киплячого шару нерухомий, що значно спрощує вимоги до монтажу та експлуатації. Питоме вологознімання на сушарках киплячого шару досягає до 1000 кг вологи з 1 м<sup>2</sup> площі.

Сушарки з киплячим шаром (рис. 2.2) являють собою вертикальну камеру (круглого або прямокутного перетину), в нижній частині поперечного перерізу якої встановлена газорозподільна решітка, яка підтримує псевдозріджений шар і забезпечує рівномірний розподіл газового потоку по перетину камери.

На даний час застосовують два типи газорозподільних решіток – провальні і безпровальні. Провальні решітки являють собою перфоровані плити, на яких матеріал підтримується за рахунок швидкісного напору газу. Безпровальні решітки виконуються чотирьох типів:

- плити з жароміцного бетону або чавуну, в отвори яких вставляються змінні сопла-ковпачки з кроком 100–300 мм, розташовані в шаховому або коридорному порядку;
- два паралельно розташованих листа або набір колосників, осі отворів яких зміщені по відношенню один до одного;

						ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Лист
							31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

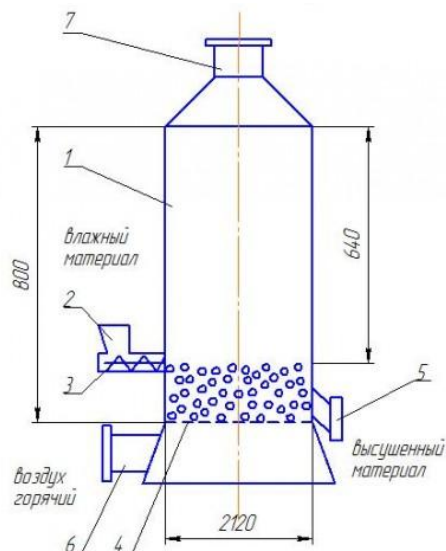


Рисунок 2.2 – Схема сушарки киплячого шару

- два паралельно розташованих листа (перфорованих), проміжок між якими заповнений вогнетривким подрібненим матеріалом, але ця решітка може забиватися висушуються матеріалом;

- перфоровані, горизонтально укладені труби (для частинок).

Якщо на решітку насипати шар зернистого матеріалу і продувати знизу через сітку і шар матеріалу повітря зі швидкістю трохи більшою, ніж швидкість витання середньої за діаметром частинки матеріалу, то шар зважується, збільшуючись в розмірі, простір між частками збільшується, і частинки в межах шару активно переміщуються, набуваючи вигляду киплячої рідини. Такий шар також називають псевдозрідженим, тому що він набуває властивість плинності (як рідина) за рахунок зникнення тісних контактів між частинками.

Недоліки сушарок киплячого шару:

- підвищена витрата електроенергії для створення високої швидкості сушильного агента, з метою утворення «киплячого» шару;
- дещо підвищена питома витрата теплоти;
- у деяких конструкцій нерівномірне сушіння полідисперсного матеріалу, обумовлене різним часом перебування окремих частинок в зоні сушіння.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3 Технологічні розрахунки апарату

Вихідні дані: продуктивність по вологому матеріалу – 6 000 кг/год.; вологість матеріалу: початкова – 4,5 % мас.; кінцева – 0,5 % мас.; температура матеріалу: початкова – 20 °С; кінцева – 70 °С; сушильний агент – топкові газы; температура сушильного агента: початкова – 190 °С; кінцева – 90 °С; розміри частинок матеріалу: максимальний – 2 мм; мінімальний – 0,3 мм; теплові втрати – 15 %

**Визначення параметрів топкових газів.** У якості палив використовують топочні газы наступного складу (у % (об.)): 92,0 CH<sub>4</sub>; 0,5 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>; 5H<sub>2</sub>; 1 CO; 1,5 N<sub>2</sub>.

Теоретична кількість сухого повітря L<sub>0</sub>, що витрачається на спалювання 1 кг палива, дорівнює:

$$L_0 = 138 (0,0179 \text{ CO} + 0,24 \text{ H}_2 + \sum(m+(n/4) \text{ C}_m\text{H}_n)/(12 m + n), \quad (2.1)$$

де склади горючих газів виражені в об'ємних частках. Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$L_0 = 138 * [(0,0179 * 0,01 + 0,24 * 0,09 + (1 + (4/4) * 0,92) / (12 * 1 + 4) + (2 + (6/4) * 0,05) / (12 * 2 + 6)] = 17,68 \text{ кг / кг.}$$

Для визначення теплоти згоряння палива скористаємося характеристиками горіння простих газів.

Кількість тепла Q<sub>v</sub>, що виділяється при спалюванні 1 м<sup>3</sup> газу, дорівнює:

$$Q_v = 0,92 * 35741 + 0,005 * 63797 + 0,05 * 10810 + 0,01 * 12680 = 33868 \text{ кДж / (м}^3\text{Т)}. \quad (2.2)$$

Щільність газоподібного палива ρ<sub>T</sub>:

$$\rho_T = \frac{\sum c_m H_n M_i}{v_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_T} \quad (2.3)$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 2.1 – Склад газу та тепловий ефект реакції

Газ	Реакція	Тепловий ефект реакції, кДж
Водень	$H_2 + 0,5O_2 = H_2O$	10810
Оксид вуглеводу	$CO + 0,5 O_2 = CO_2$	12680
Метан	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	35741
Ацетилен	$C_2H_2 + 2,5O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$	58052
Етилен	$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$	59108
Етан	$C_2H_6 + 3,5O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$	63797
Пропан	$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$	91321
Бутан	$C_4H_{10} + 6O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$	118736
Сірководень	$H_2S + 1,5O_2 = SO_2 + H_2O$	23401

де  $M_i$  – мольна маса палива, кмоль/кг;

$t_r$  – температура палива, рівна 20°C;

$v_0$  – мольний об'єм, рівний 22,4 м<sup>3</sup>/кмоль.

Підставивши, отримаємо:

$$\rho_T = \frac{(0,92 \cdot 16 + 0,005 \cdot 30 + 0,05 \cdot 2 + 0,01 \cdot 28 + 0,015 \cdot 28)273}{22,4(273 + 20)} = 0,65 \text{ кг/м}^3$$

Кількість тепла, що виділяється при спалюванні 1 кг палива:

$$Q = Q_v / \rho_T = 33868 / 0,652 = 51945 \text{ кДж / кг.} \quad (2.4)$$

Маса сухого газу, що подається в сушильний барабан, в розрахунку на 1 кг спалюваного палива визначається загальним коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$ , необхідного для спалювання палива і розведення топкових газів до температури суміші  $t_{cm} = 190$  °С.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34



Значення  $\alpha$  знаходять з рівнянь матеріального і теплового балансів. Рівняння матеріального балансу:

$$1 + L_0 = L_{c.g} + \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n \quad (2.5)$$

де  $L_{c.g}$  – маса сухих газів, що утворюються при згорянні 1 кг палива;

$C_m H_n$  – масова частка компонентів, при згорянні яких утворюється вода, кг/кг.

Рівняння теплового балансу:

$$Q\eta + c_T t_T + \alpha L_0 I_0 = [L_{c.g} + L_0(\alpha - 1)]i_{c.g} + \left[ \alpha L_0 x_0 + \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n \right] i_n \quad (2.6)$$

де  $\eta$  – загальний коефіцієнт корисної дії, що враховує ефективність роботи топ-ки (повноту згорання палива і т.д.) і втрати тепла топкою в навколишнє середо-вище, що приймається рівним 0,95;

$c_T$  – теплоємність газоподібного палива при температурі  $t_T = 20$  °С, рівна 1,34 кДж/(кг\*К);

$I_0$  – ентальпія свіжого повітря, кДж/кг;

$i_{c.g}$  – ентальпія сухих газів, кДж/кг;  $i_{c.g} = c_{c.g} * t_{c.g}$ ;

$c_{c.g}$ ,  $t_{c.g}$  – відповідно теплоємність і температура сухих газів:  $c_{c.g} = 1,05$  кДж/(кг\*К),  $t_{c.g} = 190$  °С;

$x_0$  – вологовміст свіжого повітря, кг/кг сухого повітря, при температурі  $t_0 = -8,61$  °С і відносній вологості  $\phi_0 = 85,82$  %;

$i_n$  – ентальпія водяної пари, кДж/кг;  $i_n = \Gamma_0 + c_n * t_n$ ;

$\Gamma_0$  – теплота випаровування води при температурі 0 °С, рівна 2500 кДж/кг;  $c_n$  – се-редня теплоємність водяної пари, рівна 1,97 кДж/(кг\*к);

$t_n$  – температура водяної пари;  $t_n = t_{c.g} = t_{cm} = 190$  °С.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вирішуючи спільно рівняння, отримаємо:

$$Q_{\eta} + c_T t_T - i_{c.r} \left( 1 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n \right) - \alpha = \frac{-i_n \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n}{L_0(i_{c.r} + i_0 x_0 - I_0)} \quad (2.7)$$

Перерахуємо Компоненти палива, при згорянні яких утворюється вода, з об'ємних часток в масові.

$$CH_4 = 0,92 \cdot 16 \cdot 273 / [22,4 \cdot 0,652(273 + 20)] = 0,939 \quad (2.8)$$

$$C_2H_6 = 0,005 \cdot 30 \cdot 273 / [22,4 \cdot 0,652(273 + 20)] = 0,0096 \quad (2.9)$$

$$H_2 = 0,05 \cdot 2 \cdot 273 / [22,4 \cdot 0,652(273 + 20)] = 0,0064 \quad (2.10)$$

Кількість вологи, що виділяється при згорянні 1 кг палива, дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n &= \\ &= \frac{9 \cdot 4}{12 \cdot 1 + 4} \cdot 0,939 + \frac{9 \cdot 6}{12 \cdot 2 + 6} + 0,0096 + 0,0064 = 2,19 \text{ кг/кг} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Коефіцієнт надлишку повітря знаходимо за рівнянням:

$$\alpha = \frac{51945 - 0,95 + 1,34 \cdot 20 - 1,05 \cdot 200(1 - 2,19) - (2500 + 1,97 \cdot 190) 2,19}{17,68(1,05 \cdot 190 + (2500 + 1,97 \cdot 190) 0,0092 - 41,9)} = 11,6 \quad (2.12)$$

Загальна питома маса сухих газів, одержуваних при спалюванні 1 кг палива і розведенні топкових газів повітрям до температури суміші 190 °С, дорівнює:

$$\begin{aligned} G_{c.r} &= 1 + \alpha L_0 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n \\ G_{c.r} &= 1 + 11,6 \cdot 17,68 - 2,19 = 203,9 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Питома маса водяної пари в газовій суміші при спалюванні 1 кг палива:

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\text{п}} = \sum \frac{9n}{12m + n} C_m H_n - \alpha x_0 L_0$$

$$G_{\text{п}} = 2,19 + 11,6 \cdot 0,0092 \cdot 17,68 = 4,08 \text{ кг / кг} \quad (2.15)$$

Вологовміст газів на вході в сушарку ( $x_1 = x_{\text{см}}$ ) на 1 кг сухого повітря дорівнює:

$$x_1 = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{с.г}}} \quad (2.16)$$

$$x_1 = \frac{4,08}{203,9} = 0,02 \text{ кг / кг}$$

Ентальпія газів на вході в сушарку:

$$I_1 = \frac{Q\eta + c_{\text{г}} t_{\text{г}} + \alpha L_0 I_0}{G_{\text{с.г}}} \quad (2.17)$$

$$I_1 = \frac{51945 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 20 + 11,6 \cdot 17,68 \cdot 41,9}{203,9} = 284,3 \text{ кДж}$$

Оскільки коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  великий, фізичні властивості газової суміші, використовуваної в якості сушильного агента, практично не відрізняються від фізичних властивостей повітря. Це дає можливість використовувати в розрахунках діаграму стану вологого повітря  $I - x$ .

### Матеріальний баланс сушильної установки.

Переведемо продуктивність у кг/с:

$$G_{\text{п}} = \frac{6000}{3600} = 1,67 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.18)$$

Продуктивність сушарки по висушеному матеріалу:

$$G_{\text{к}} = G_{\text{п}} \frac{100 - u_{\text{п}}}{100 - u_{\text{к}}} = 1,67 \cdot \frac{100 - 4,5}{100 - 0,5} = 1,59 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (2.19)$$

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $G_k$  - продуктивність сушарки по висушеному матеріалу, кг / с;

$G_n$  - продуктивність сушарки по вологому матеріалу, кг / с;

$u_n$  - початкова вологість матеріалу, % мас;

$u_k$  - кінцева вологість матеріалу, % мас.

Кількість випаровуваної вологи:

$$W = 1,67 - 1,59 = 0,08 \text{ кг/с} \quad (2.20)$$

де  $W$  – витрата вологи, кг / с.

### Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки.

Рівняння внутрішнього теплового балансу сушарки:

$$\Delta = c_v * \theta_n - (q_m + q_v) = 4,19 * 20 - (186,9 + 28,04) = -131,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (2.21)$$

де  $c_v$  - теплоємність води (вологи) в матеріалі,  $c_v = 4,19$  кДж/(кг \* К);

$\theta_n$  - температура вологого матеріалу, °С;

$q_m$  - питоме підведення тепла з висушуванням матеріалом, кДж / кг вологи;

$q_v$  - питомі втрати тепла в навколишнє середовище, кДж / кг вологи.

Питоме підведення тепла в сушильний барабан з висушуванням матеріалом дорівнює:

$$q_m = \frac{G_k * c_m * (\theta_k - \theta_n)}{W} = \frac{1,59 * 0,187 * (70 - 20)}{0,08} = 186,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (2.22)$$

де  $c_m$  - теплоємність висушуваного матеріалу ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ),

$c_m = 0,187$  кДж/(кг \* К);

$\theta_k$  і  $\theta_n$  – температури вологого і висушеного матеріалу, °С;

$G_k$  - маса висушеного матеріалу, кг / с.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Питомі втрати тепла в навколишнє середовище приймемо рівними 15% від витрат теплоти на нагрівання висушеного матеріалу до кінцевої температури матеріалу, тобто:

$$q_v = 0,15 \cdot q_m = 0,15 \cdot 186,9 = 28,04 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad (2.23)$$

Запишемо рівняння робочої лінії сушіння

$$I = I_1 + \Delta \cdot (x - x_1) = I_1 - 131,2 \cdot (x - x_1) = \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (2.24)$$

За I-D-діаграмою станів вологого повітря за відомими параметрами навколишнього повітря  $t_0 = 10^\circ\text{C}$  і  $\phi_0 = 50\%$  знаходимо вологовміст  $x_0 = x_1$  і ентальпію  $I_1$  свіжого повітря.

$x = 0,04 \text{ кг / кг}$  – взяли довільно;

$x_0 = x_1 = 0,004 \text{ кг / кг}$ ;

$I_1 = 33,9 \cdot 4,187 = 140,26 \text{ кДж / кг}$ ;

$x_2 = 0,0225 \text{ кг / кг}$ ;

$I_2 = 131,89 \text{ кДж / кг}$ .

Витрата сухого повітря на сушку:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} = \frac{0,8}{0,0225 - 0,004} = 4,3 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.25)$$

Середня температура повітря в сушарці:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{190 + 90}{2} = 140^\circ\text{C} \quad (2.26)$$

Середній вологовміст повітря в сушарці:

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{0,004 + 0,0225}{2} = 0,013 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad (2.27)$$

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня щільність сухого повітря:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{M_{\text{св}}}{V_{\text{м}}} * \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{ср}}} = \frac{29}{22,4} * \frac{273}{273 + 140} = 0,86 \text{ кг/м}^3, \quad (2.28)$$

де  $M_{\text{св}}$  - молярна маса повітря,  $M_{\text{св}} = 29$  г/моль;

$V_{\text{м}}$  - молярний об'єм,  $V_{\text{м}} = 22,4$  л / моль;

$T_0$  - температура,  $T_0 = 273$  К.

Середня щільність водяної пари:

$$\rho_{\text{вп}} = \frac{M_{\text{в}}}{V_{\text{м}}} * \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{ср}}} = \frac{18}{22,4} * \frac{273}{273 + 140} = 0,53 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad (2.29)$$

де  $M_{\text{в}}$  - молярна маса води,  $M_{\text{в}} = 18$  г/моль.

Середня об'ємна продуктивність по повітрю:

$$V = \frac{L}{\rho_{\text{св}}} + \frac{x_{\text{ср}} * L}{\rho_{\text{вп}}} = \frac{4,32}{0,86} + \frac{0,013 * 4,32}{0,53} = 5,16 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.30)$$

## 2.4 Конструктивні розрахунки апарату

Ефективна швидкість початку псевдозрідження:

$$w_{\text{пс}} = Re * \frac{\mu_{\text{ср}}}{\rho_{\text{ср}} * d_{\text{макс}}} = 59,8 * \frac{0,00002245}{0,86 * 0,002} = 0,78 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.31)$$

де критерій Архімеда:

$$Ar = \frac{d_{\text{макс}}^3 * \rho_{\text{ср}} * g * \rho_{\text{м}}}{\mu_{\text{ср}}^2} = \frac{0,002^3 * 0,86 * 9,81 * 1766}{0,00002245^2} = 235331,24 \quad (2.32)$$

де  $d_{\text{м}}$  - максимальний діаметр частинок твердого сульфату амонію, м;

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\rho_M$  - густина частинок висушуваного матеріалу,  $\rho_M = 1766 \text{ кг/м}^3$

$\mu_{cp}$  - в'язкість сушильного агента при середній температурі,

$\mu_{cp} = 0,00002245 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;

$g$  - прискорення вільного падіння,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} = \frac{235331,24}{1400 + 5,22\sqrt{235331,24}} = 59,8 \quad (2.33)$$

Критерій  $Ar$  для найменших розмірів частинок:

$$Ar = \frac{d_{min}^3 * \rho_{св} * g * \rho_M}{\mu_{cp}^2} = \frac{0,0003^3 * 0,86 * 9,81 * 1766}{0,00002245^2} = 794,24,$$

де  $d_{min}$  - мінімальний діаметр, м.

Критерій Рейнольдса для найменших розмірів частинок:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} = \frac{794,24}{1400 + 5,22\sqrt{794,24}} = 0,51$$

Швидкість вільного витання (віднесення):

$$\begin{aligned} w_{св} &= \frac{\mu_{cp}}{d_{min} * \rho_{ср}} * \frac{Ar}{M_B + 0,575\sqrt{Ar}} = \\ &= \frac{0,00002245}{0,0003 * 0,86} * \frac{794,24}{18 + 0,575\sqrt{794,24}} = 2,03 \text{ м/с} \end{aligned} \quad (2.34)$$

Граничне число псевдозрідження:

$$K_{пр} = \frac{w_{св}}{w_{пс}} = \frac{2,03}{0,78} = 2,59 \quad (2.35)$$

Прийmemo  $K_w = 3$ .

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

Робоча швидкість сушильного агента:

$$w = K_w * w_{\text{ПС}} = 3 * 0,78 = 2,35 \text{ м/с} \quad (2.36)$$

Діаметр сушарки:

$$d = \sqrt{\frac{V}{w * 0,785}} = \sqrt{\frac{5,16}{2,35 * 0,785}} = 1,67 \text{ м} \quad (2.37)$$

Приймаємо  $d = 2 \text{ м}$ .

### Розрахунок висоти киплячого шару та сушарки.

Рівновагу вмісту води  $x^*$  визначаємо за I-D діаграмою як абсцису точки перетину робочої лінії сушіння з лінією постійної відносної вологості  $\phi=100\%$ . Величина  $x^* = 0,0345 \text{ кг / кг}$ .

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \frac{0,0345 - 0,0255}{0,0345 - 0,004} = 0,39 \quad (2.38)$$

Критерій Рейнольдса для робочої швидкості:

$$Re = \frac{w * d_{\text{макс}} * \rho_{\text{св}}}{\mu_{\text{ср}}} = \frac{2,35 * 0,002 * 0,86}{0,00002245} = 179,5 \quad (2.39)$$

Порозність псевдозрідженого шару:

$$\varepsilon = \left[ \frac{18 * Re + 0,36 * Re^2}{Ar} \right]^{0,21} = \left[ \frac{18 * 179,5 + 0,36 * 179,5^2}{235331,24} \right]^{0,21} = 0,52 \quad (2.40)$$

Коефіцієнт дифузії водяної пари:

$$D = D_{20} * \frac{T_0 + t_{\text{ср}}}{T_0} = 21,9 * 10^{-6} * \frac{273 + 140}{273} = 3,31 * 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}, \quad (2.41)$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



де  $D_{20}$  - коефіцієнт дифузії водяної пари при  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $D_{20} = 21,9 * 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Дифузійний критерій Прандтля:

$$Pr' = \frac{\mu_{\text{ср}}}{\rho_{\text{св}} * D} = \frac{0,00002245}{0,86 * 3,31 * 10^{-5}} = 0,79 \quad (2.42)$$

Коефіцієнт масовіддачі:

$$\begin{aligned} \beta_y &= \frac{D}{d_{\text{макс}}} (2 + 0,51 * (Re^{0,52} * Pr^{0,33})) = \\ &= \frac{3,31 * 10^{-5}}{0,002} (2 + 0,51 * (179,5^{0,52} * 0,79^{0,33})) = 0,149 \text{ м/с} \end{aligned} \quad (2.43)$$

Висота псевдозрідженого шару:

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \exp \left[ - \frac{\beta_y}{w * \rho_{\text{св}}} * \frac{6(1-\varepsilon)}{d_3} * h \right]; \quad (2.44)$$

$$h = 0,01 \text{ м}$$

Діаметр отвору розподільної решітки вибираємо  $d_0 = 3 \text{ мм}$ .

$$H_{\text{ст}} = 20 * d_0 = 20 * 0,003 = 0,06 \text{ м} \quad (2.45)$$

Висота зони гідравлічної стабілізації:

$$H \approx 4H_{\text{ст}} = 4 * 0,06 = 0,24 \text{ м} \quad (2.46)$$

Висота псевдозрідженого шару з урахуванням гідростабілізації:

$$H = 80 * d_0 = 80 * 0,003 = 0,24 \text{ м} \quad (2.47)$$

Число отворів  $n$  в розподільній решітці:

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

$$n = \frac{d^2 * F_c}{d_0^2} = \frac{0,002^2 * 0,02}{0,003^2} = 88889, \quad (2.48)$$

де  $F_c$  - частка живого перетину решітки,  $F_c = 0,02$ .

Поперечний крок:

$$t' = 0,95 * d_0 * F_c^{-0,3} = 0,95 * 0,003 * 0,02^{-0,3} = 0,0092 \text{ м} \quad (2.49)$$

Поздовжній крок:

$$t'' = 0,866 * t' = 0,866 * 0,0092 = 0,008 \text{ м} \quad (2.50)$$

Висота сепараційного простору сушарки з псевдорозрідженим шаром:

$$H_c = 5 * H = 5 * 0,24 = 1,2 \text{ м} \quad (2.51)$$

## 2.5 Розрахунок гідравлічного опору сушарки

Гідравлічний опір знаходимо за рівнянням:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{пс}} + \Delta P_{\rho} = 2016 + 435,2 = 2451,2 \text{ Па}; \quad (2.52)$$

$$\Delta P_{\text{пс}} = \rho_m (1 - \varepsilon) g H = 1766 (1 - 0,52) 9,81 * 0,24 = 2016 \text{ Па} \quad (2.53)$$

Мінімальний допустимий гідравлічний опір решітки:

$$\Delta P_{\text{р min}} = \frac{\Delta P_{\text{пс}} * K_w^2 (\varepsilon - \varepsilon_0)}{[(K_w^2 - 1)(1 - \varepsilon_0)]} = \frac{2016 * 3^2 (0,52 - 0,4)}{[(3^2 - 1)(1 - 0,4)]} = 435,2 \text{ Па}, \quad (2.54)$$

де  $\varepsilon_0$  - порозність нерухомого шару,  $\varepsilon_0 = 0,4$ .

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гідравлічний опір обраної решітки:

$$\Delta P_p = \xi \left( \frac{w}{F_c} \right)^2 * \frac{\rho_{cp}}{2} = 0,56 * \left( \frac{2,35}{0,02} \right)^2 * \frac{0,86}{2} = 3322 \text{ Па} \quad (2.55)$$

Значення  $\Delta P_p$  перевищує мінімально допустимий гідравлічний опір решітки  $\Delta p_{p \text{ min}}$ . Решітка підходить.

## 2.6 Вибір допоміжного обладнання

Промислові циклон ЦН-15, як можна зрозуміти з назви, застосовуються в різних сферах промисловості. Це може бути хімічна, машинобудівна, нафтопереробна. Використовують ЦН-15 на підприємствах, де виробляють будівельні матеріали. Застосування ЦН-15 не обмежується.

Основне призначення універсальних циклонів ЦН-15 – очищення повітря та газо-повітряної суміші від сухого пилу. А з'являтися вона може через різні процеси: транспортування сипучих речовини, дроблення, спалювання паливо і т.п.

Для ефективної роботи універсальних циклонів концентрація пилу не повинна перевищувати 1000 г / м. Обмежень по сухому пилу немає. Чим більший розмір у пилових частинок, тим ефективнішою буде робота циклону.

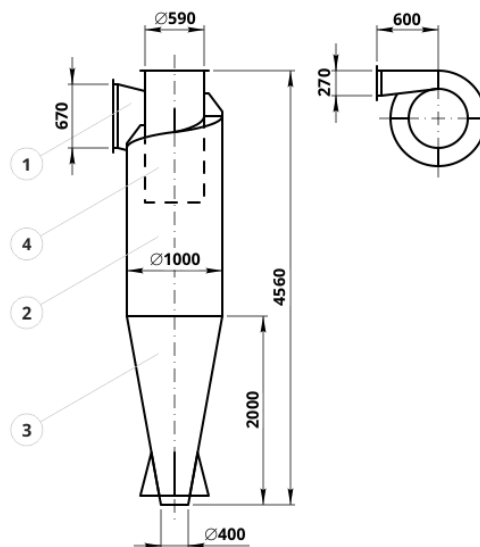


Рисунок 2.3 – Схема циклону типу ЦН-15

Ефективність - 85 ... 98% (частки пилю від 10 мкм) Продуктивність - 11 300 м<sup>3</sup> / год. Внутрішній діаметр - 1 000 мм. Кут нахилу вхідного патрубку - 15 °. Робоча температура - від -40 до 200°С. Виконання – одинарний. Комплектація: корпус циклону ЦН-15-1000 (1 шт.)

					ХІ.С.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

## Розділ 3

### Проектно-конструкторська частина

#### 3.1 Вибір конструкційних матеріалів [16]

Вибір конструкційних матеріалів проводиться на основі аналізу умов експлуатації обладнання, параметрів процесу, таких як температура, тиск, концентрація робочих середовищ та їх агресивність. Також обираючи матеріали заготовок враховують: механічні властивості матеріалів, хімічну стійкість, теплопровідність, технологічність у виготовленні та вартість матеріалу. Одним із найважливіших показників при виборі матеріалу є здатність матеріалу добре зварюватися, адже більшість нероз'ємних з'єднань при виготовленні хімічних апаратів виконують зварюванням. Хімічна промисловість відрізняється застосуванням агресивних речовин, а тому корозійна стійкість матеріалів є ключовим фактором при виборі матеріалу обладнання та визначає довголіття хімічного обладнання.

Вибір конструкційного матеріалу виконується так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечити високу якість та ефективну технологію виготовлення апарату. З огляду на температурні параметри процесу грануляції (до 200°C) тиск в апараті (до 0,6 МПа) та помірну агресивність суспензії посліду, в якості основного матеріалу для виготовлення апарату киплячого шару обираємо низьколеговану (з вмістом легуючих елементів до 2,5 %) сталь що поставляється у вигляді листового прокату товщиною (4-160 мм).

Листовий прокат – основний матеріал при виготовленні апаратів псевдозрідженого шару. З листової сталі виготовляють обичайки, днища, фланці, газорозподільчі решітки, тощо.

Сталь 16ГС – сталь конструкційна низьколегована для зварних конструкцій. Використовується для виготовлення апаратів, фланців, днищ, обичайок, судів. Поставляється у вигляді сталених листів. Характеризується гарною зварюваністю, високою міцністю та ударною в'язкістю, використовується в інтервалі температур

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+475^{\circ}\text{C}$ . Добре деформується в гарячому і холодному стані, легко піддається обробці різанням, добре зварюється всіма видами зварювання.

Сталь Ст3 – конструкційна вуглецева сталь звичайної якості. Застосовується для виготовлення збірників, насосів, несучих елементів зварних і незварних конструкцій, що працюють при температурах від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+425^{\circ}\text{C}$ . Добре зварюється усіма видами зварювання, не схильна до відпускнуї крихкості. Поставляється у вигляді листового та фасонного прокату,

Сталь 35Х – конструкційна легована сталь. Застосовується для виготовлення осей, валів, шестерень та інших поліпшуваних деталей. Обмежено зварювана, схильна до відпускнуї крихкості.

Пароніт – листовий матеріал прокладки, виготовлений пресуванням асбокаучукової маси, що складається з азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів. Застосовується для ущільнення фланцевих з'єднань.

### 3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність [17]

Номінальна товщина (S) стінки циліндричної обичайки корпусу і кришки визначається за залежністю:

$$S = \frac{PD}{2\varphi_p[\sigma]-P} + C \quad (3.1)$$

де P - розрахунковий тиск,  $P = 0,1$  МПа;

D - внутрішній діаметр корпусу апарату,  $D = 2$  м;

$\varphi_p$ - розрахунковий коефіцієнт міцності поздовжнього зварного шва, для стикових і таврових з'єднань з двостороннім суцільним проваром, що виконуються автоматичним зварюванням  $\varphi_p = 1$ ;

$[\sigma]$  - допустима напруга, для сталі Ст3сп3  $[\sigma] = 154$  МПа;

C - надбавка на корозію, величину якої приймають в залежності від корозійних властивостей середовища в межах 1-6 мм.

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$S = \frac{0,1 \cdot 2}{2 \cdot 1 \cdot 154 - 0,1} + 0,004 = 0,00465 \text{ м}$$

Приймаємо товщину стінки  $S = 5 \text{ мм}$ .

**Розрахунок фланцевого з'єднання.** Фланцевим штуцером називають короткий відрізок труби з привареним до нього фланцем, який слугує для приєднання труб і арматури до апарату. За допомогою штуцерів апарати можна з'єднувати один з одним безпосередньо. На рис. 3.1 наведений варіант приварки штуцера до корпусу апарату, який частіше застосовують, як найбільш простий і надійний.

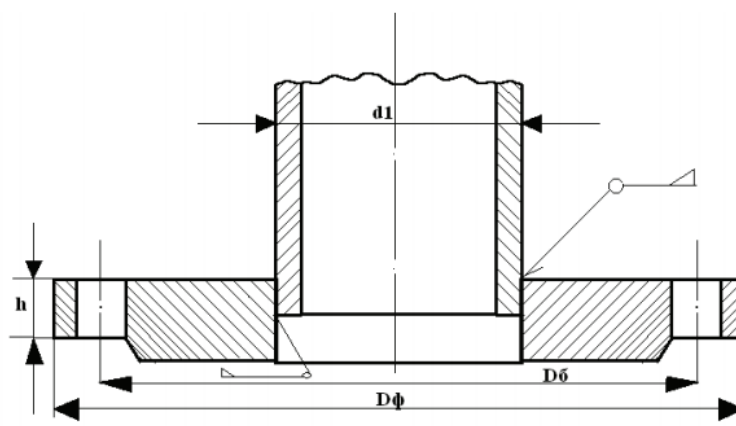


Рисунок 3.1 – Схема фланця плоского приварного

Приєднання трубної арматури до апарату, а також технологічних трубопроводів для підведення і відведення різних рідких або газоподібних продуктів проводиться за допомогою штуцерів.

Діаметр штуцерів для продукту:

$$d_{\text{пр}} = 1,13 \sqrt{\frac{G_{\text{к}}}{\rho_{\text{м}} w_{\text{св}}}} \quad (3.2)$$

де  $G_{\text{к}}$  – продуктивність по висушеному матеріалу,  $G_{\text{к}} = 1,59 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

$\rho_{\text{м}}$  - густина частинок висушеного матеріалу,  $\rho_{\text{м}} = 1766 \text{ кг/м}^3$

$w_{\text{св}}$  - швидкість продукту,  $w_{\text{св}} = 2,03 \text{ м/с}$

						XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
							49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$d_{\text{пр}} = 1,13 \sqrt{\frac{1,59}{1766 \cdot 2,03}} = 0,024 \text{ м} \quad (3.3)$$

Приймаємо Ø25x2 мм.

Діаметр штуцерів для сушильного агенту:

$$d_{\text{са}} = 1,13 \sqrt{\frac{L}{\rho_{\text{т}} \omega}} \quad (3.4)$$

де  $L$  – витрата сушильного агенту,  $L = 4,3 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

$\rho_{\text{т}}$  - густина сушильного агенту,  $\rho_{\text{т}} = 0,86 \text{ кг/м}^3$

$\omega$  - швидкість сушильного агенту,  $\omega = 15 \text{ м/с}$

$$d_{\text{са}} = 1,13 \sqrt{\frac{4,3}{0,86 \cdot 15}} = 0,652 \text{ м} \quad (3.5)$$

Приймаємо Ø730x3 мм.

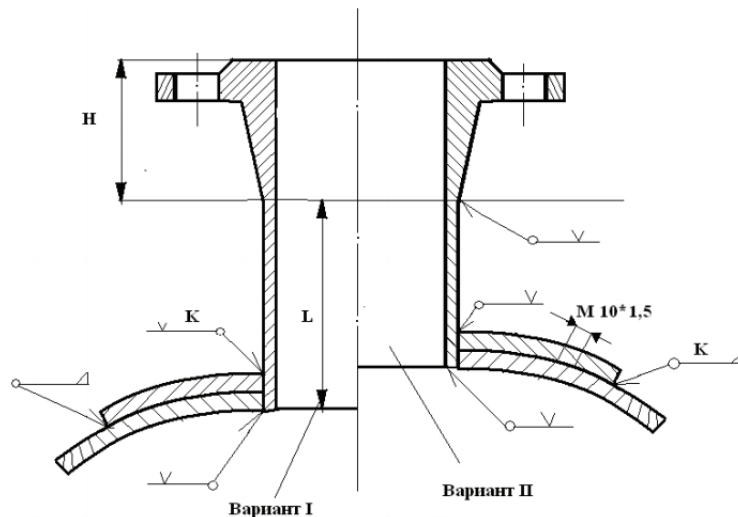


Рисунок 3.2 – Схема штуцера



**Вибір і розрахунок опори.** Сушарку як вертикальний апарат встановлюють на стійках (лапах) – високих металевих або залізобетонних опорних конструкціях та розміщують на підлозі в приміщенні. При цьому способі установки в корпусі апарату виникають місцеві напруги, які стискають і розтягують, що викликають вигини в перерізі апарату; тому необхідно враховувати їх і вживати відповідних заходів для запобігання стінки корпусу від зминання та інших видів деформацій.

Розрахункове навантаження, що сприймається опорою апарату, визначається за максимальною силою тяжіння його в умовах експлуатації або гідравлічного випробування (при заповненні апарату водою) з урахуванням можливих додаткових зовнішніх навантажень від сили тяжіння трубопроводів, арматури, внутрішньої або зовнішньої ізоляції, приводу перемішуючих пристроїв і т. д. При визначенні розрахункового навантаження на опори апаратів, що встановлюються на відкритих майданчиках, крім цього повинні бути враховані вітрові та можливі сейсмічні навантаження.

При проектуванні вертикальних апаратів вибирають типові конструкції лап по таблиці 1.2 ОСТ 26-665-72 залежно від розрахункового навантаження, що припадає на них:

$$G = \frac{G_{\max}}{n} \quad (3.6)$$

де  $G_{\max}$  – максимальна сила тяжіння апарату разом з вмістом при експлуатації або гідравлічних випробуваннях, кН;

$$G_{\max} = mg \quad (3.7)$$

$m$  – вага апарату,  $m = 200$  кг;

$$G_{\max} = 200 * 9,8 = 1960 \text{ кН}$$

$n$ -прийняте число лап,  $n = 10$ ;

$G$  - навантаження на одну лапу, кН.

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

$$G = \frac{1960}{10} = 196 \text{ кН}$$

Обираємо 10 опор-лап з навантаженням 250 кН с наступними розмірами:  $a = 400$  мм,  $a_1 = 500$  мм,  $b = 450$  мм,  $b_{\max} = 680$  мм,  $c = 60$  мм,  $h_{\max} = 1240$  мм,  $h_1 = 30$  мм,  $s = 25$  мм,  $d = 42$  мм.

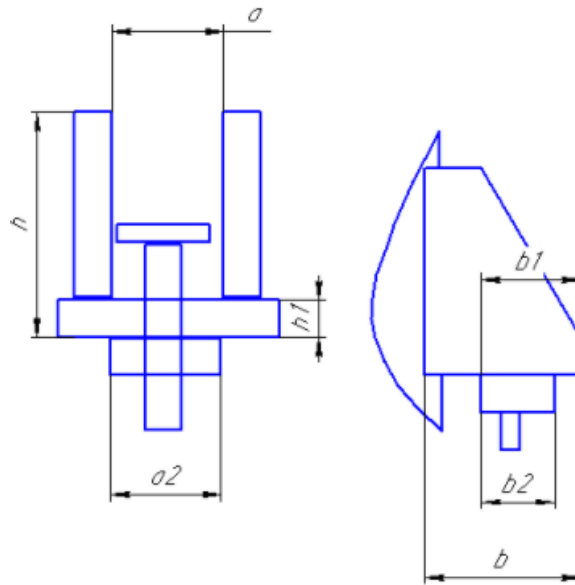


Рисунок 3.3 – Схема опора-лапи

**Розрахунок на вітрове навантаження.** До вітрового навантаження схильні апарати, встановлені на відкритому майданчику. Згідно ОСТ, розрахунку підлягають вертикальні апарати висотою 10 м і більше, а також ті, у яких

$$H_1/D < 5, \tag{3.8}$$

де  $H_1$ -повна висота апарату разом з опорою,  
 $D$  - його розрахунковий діаметр.

Через те, що висота проєктованого апарату

$$H_1 = 5850 + 1240 = 7090 \text{ мм} \tag{3.9}$$

менша за 10 м та

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$H_1/D = 7090 / 2000 = 3,545 < 5, \quad (3.10)$$

то розрахунок на вітрове навантаження виконувати не потрібно.

**Зміцнення отворів.** Розрахунковий діаметр зміцнюючого елемента для циліндричної обичайки  $D_p = D = 2000$  мм.

Розрахунковий діаметр круглого отвору штуцерів:

- так як для циліндричної обичайки вісь отвору нормальна до її осі, розрахунковий діаметр отвору

$$d_p = d + 2c_{ш} = 730 + 2 \cdot 1 = 732 \text{ мм}, \quad (3.11)$$

де  $c_{ш} = 1$  мм – надбавка на корозію до розрахункової товщині стінки штуцера.

Виконавчу  $s$  і розрахункову  $s_p$  товщину зміцнюваної оболонки визначають за формулами:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \\ \frac{1,1 \cdot p \cdot D}{2[\sigma]} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,85 \cdot 2000 \cdot 10^{-2} = 17; \\ \frac{1,1 \cdot 0,1 \cdot 2000}{2 \cdot 126} = 0,87 \end{array} \right. = 17 \cdot 10^{-2} \quad (3.12)$$

$$s = s_p + c + c_0 = 17 + 1 + c_0 = 20 \text{ мм},$$

де  $[\sigma] = 126$  МПа – допустима напруга;

$K_2 = 0,85$  – коефіцієнт, знаходиться за номограмою при відомих розрахункових коефіцієнтах;

$p$  – розрахунковий тиск,  $p = 0,1$  МПа.

Розрахункову  $s_{ш,p}$  і виконавчу  $s_{ш}$  товщину стінки штуцера знаходять як:

$$s_{ш,p} = \max \left\{ \begin{array}{l} K_2 \cdot d_p \cdot 10^{-2}; \\ \frac{1,1 \cdot p \cdot d_p}{2[\sigma]} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,73 \cdot 732 \cdot 10^{-2} = 5,3; \\ \frac{1,1 \cdot 0,1 \cdot 732}{2 \cdot 126} = 0,32 \end{array} \right. = 5,3 \cdot 10^{-2} \quad (3.13)$$

$$s_{ш} = s_{ш,p} + c + c_0 = 5,3 + 1 + c_0 = 7 \text{ мм}, \quad (3.14)$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

де  $K_2 = 0,73$  – коефіцієнт, знаходиться за номограмою при відомих розрахункових коефіцієнтах.

У розрахунках за формулою  $s_{ш} = s_{рш} + c + c_0$  необхідно домогтися (для забезпечення зручності зварювання) виконання умови  $s_{ш} = s$ , тому  $s_{ш} = 20$  мм.

Розрахункова довжина зовнішньої  $l_{1p}$  і внутрішньої  $l_{2p}$  частин штуцера, що беруть участь у зміцненні отвору,

$$l_{1p} = \min \left\{ \frac{l_1}{1,25\sqrt{d(s_{ш} - 1)}} = \min \left\{ \frac{200}{1,25\sqrt{732(20 - 1)}} = 147,4; \right. \right. \quad (3.15)$$

$$l_{2p} = \min \left\{ \frac{l_2}{0,5\sqrt{d(s_{ш} - 1)}} = \min \left\{ \frac{60}{0,5\sqrt{732(20 - 1)}} = 58,9; \right. \right. \quad (3.16)$$

Розрахункова довжина утворює оболонки в зоні зміцнення

$$L_0 = \sqrt{D_p(s_{y.p} + s + c)} = \sqrt{2000(10 + 20 + 1)} = 249 \text{ мм} \quad (3.17)$$

де  $s_{y.p} = 10$  мм-розрахункова товщина накладного кільця, визначається методом послідовних наближень з умови зміцнення отвору. Як правило,  $s_{y.p} < s_y < s$ , тому приймаємо  $s_y = s_{y.p} = 10$  мм (тут  $s_y$ -виконавча товщина накладного кільця).

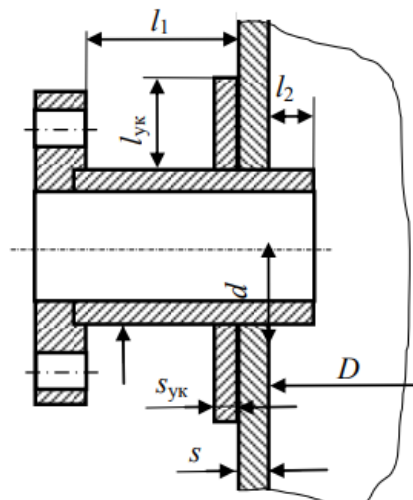


Рисунок 3.4 – Конструкція зміцнення отвори накладним кільцем і потовщенням стінки штуцера

## Розділ 4

### Будівельно-монтажна частина

#### 4.1 Монтаж основного обладнання [18, 19]

Роботи по будівництву споруд та будівель доручають будівельній організації – генеральному підрядчику. Ця організація долучає в якості субпідрядників спеціалізовані організації для виконання монтажних, сантехнічних, електротехнічних, теплоізоляційних та інших робіт.

Для виконання монтажних робіт розробляється проект проведення робіт (ППР), який містить:

- відомості про об'єми монтажних робіт та кошторисно-фінансові розрахунки за трудовими затратами;
- об'єми виготовлення металоконструкцій і трубопроводів, а також трудові витрати на їх виготовлення і монтаж;
- технічні рішення по монтажу обладнання із застосуванням вантажопідйомних кранів і засобів механізації;
- графік суміщеного проведення будівельних, монтажних і спеціальних робіт, що виконуються всіма організаціями на об'єкті; робочі креслення металоконструкцій і трубопроводів, а також схеми і технологічні карти на послідовність монтажу металоконструкцій і трубопроводів;
- перелік монтажного обладнання, механізмів, інструментів та матеріалів, необхідних для виконання монтажних робіт;
- креслення на необхідні помости, ліса, драбини та площадки для виконання робіт на висоті;
- перелік заходів з техніки безпеки і охорони праці.

Монтаж грануляційних установок киплячого шару проводять за допомогою самохідних стрілових кранів. Після установки обладнання на фундамент проводять вивірку за відхиленнями від проектних осей і відміток в горизонтальному і вертикальному напрямках. Вибір способу провадження монтажних робіт і використо-

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

вуваних механізмів залежить від конструкції, маси і габаритів обладнання. При монтажі апаратури застосовують наступні методи монтажу.

*Метод ковзанням* без відриву від землі застосовується для установки вертикальних апаратів за допомогою самохідних кранів або щогл. Апарат підводиться за монтажні пристрої, закріплені на корпусі вище центру ваги (рис. 4.1 а). Нижня частина апарату, укладена на сани або візок, при підйомі підтягують трактором або лебідкою до фундаменту.

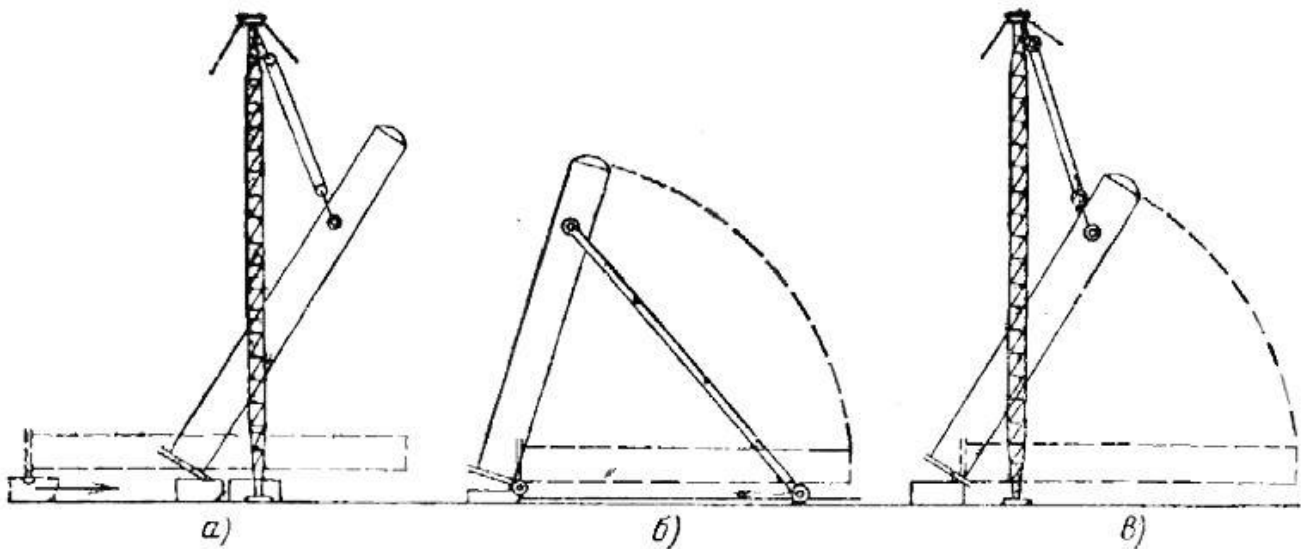


Рисунок 4.1 - Схеми монтажу колонної апаратури

а - методом підйому і ковзання; б - методом витискання; в - методом повороту навколо шарніра

Вантажопідйомність крану повинна бути не менше маси апарату.

*Метод повороту навколо шарніра* (рис. 4.1 в). Шарнір розташований поблизу фундаменту і закріплений до нього. Нижній кінець апарату з'єднаний з шарнірним пристроєм. При підйомі за верхівку апарат повертається на шарнірі і при досягненні вертикального положення своєю основою встановлюється на фундамент. Такий спосіб дозволяє піднімати апарати значно більшої маси в порівнянні з вантажопідйомністю монтажних кранів або механізмів.

*Метод витискання* (рис. 4.1 б) – різновид методу повороту навколо шарніра. Штовхачі закріплені за допомогою шарніра до корпусу апарата. Нижні кінці штовхачів встановлюються на колії. При роботі лебідки кінці штовхачів рухаються по

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

рейках і піднімають апарат до вертикального положення. Цей метод застосовується в обмежених умовах, коли не можна використовувати вантажопідйомні крани і неможливо встановити щогли з розтяжками

Послідовність подачі деталей і вузлів гранулятора в монтажну зону відображається в технологічній монтажній карті або в окремому графіку. У графіку вказуються: час подачі деталей і вузлів; місце, до якого деталь або вузол повинні бути подані; застосовувані транспортні та підйомні засоби і трудові витрати. Запас деталей в монтажній зоні не повинен перевищувати 2-3 змінної потреби. Складування вузлів і деталей в монтажній зоні повинно проводитися так, щоб не заважати виконанню монтажних робіт. Подачу деталей до місця монтажу бажано проводити в зміну, вільну від монтажу.

Монтаж грануляторів киплячого шару зводиться по суті до установки апарату на фундамент або опорну металоконструкцію, вивірки його, випробуванню на міцність і щільність з'єднань (швів, фланців, прокладок) і приєднання його до комунікацій.

Установку на фундамент можна проводити будь-яким наявним механізмом достатньої вантажопідйомності: мостовими кранами, тельферами, електроталіями, автокранами, щоглами і т. д. При відсутності зазначених механізмів в зоні монтажу можуть бути застосовані ручні талі, домкрати та інші прості такелажні пристрої.

Встановлений апарат піддається вивірці по осях, висотним відміткам і орієнтації штуцерів і патрубків щодо комунікацій.

Допустимі відхилення по осях і висоті лежать в межах  $\pm 2$  мм для апаратів, що стоять групами, і  $\pm 5$  мм для окремо розташованих апаратів.

Під час вивірення апаратів за базу приймають фланці горловини і штуцери. Вивірка апарату здійснюється: по осях за допомогою нівеліра або гідростатичного рівня; по відстані між апаратами - за допомогою сталевий рулетки.

Основна увага при монтажі має приділятися щільності фланцевих з'єднань. Установка прокладок на місце повинна проводитися дуже ретельно, робоча поверхня фланців повинна бути очищена від бруду та іржі. Для того щоб прокладка не змістити зі свого місця (при плоских фланцях), її прив'язують до фланця нитками.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Мідні і сталеві прокладки повинні бути прокалені і очищені від окалини, бруду та іржі. Поверхні металевих прокладок не повинні мати раковин, задирів, глибоких подряпин і інших пошкоджень. Ширина металевих прокладок повинна бути на 0,1–0,2 мм менше ширини паза. Паронітові прокладки перед установкою на місце проварюють в рослинній олії при температурі не вище 300°C до їх розм'якшення.

Болти фланцевих з'єднань повинні бути справними, не мати зірваних і пошкоджених ниток різьблення; у головок болтів не допустимі подрізи і тріщини в місці переходу в тіло болта. Болти слід затягувати рівномірно спочатку хрестоподібно під кутом 90°, а потім послідовно один за іншим по колу. При затягуванні болтів рекомендується користуватися ключами з обмежувачем зусилля затяжки. Під гайки болтів рекомендується ставити шайби (під гайки апаратів, які відчувають вібрації, слід ставити пружинні шайби).

Для апаратів, що працюють при тиску до 50 атм. і температурах до 435°C, застосовуються болти, виготовлені зі сталі марок 35 і 40 і гайки зі сталі 25 і 30.

Змонтований апарат піддається гідравлічним випробуванням та передається у експлуатацію.

#### **4.2 Проведення ремонтних робіт основного технологічного обладнання [19]**

У процесі експлуатації технологічного обладнання спостерігаються відхилення від норми в роботі обладнання і вихід його з ладу. Для підтримки обладнання в робочому стані передбачена система технічного обслуговування і ремонтів. Передбачено капітальний і технологічний ремонт обладнання.

Технологічний ремонт - це ремонт, який здійснюється в процесі експлуатації для забезпечення працездатності обладнання, що складається в заміні і відновленні окремих його частин і їх регулювання. Заміна сальникової набивки в вузлах запірної арматури і печі грануляційного апарату.

					<i>Лист</i>
					58
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>XI.C.00.00.00 ПЗ</b>



Капітальний ремонт - це ремонт, який здійснюється з метою відновлення ресурсу обладнання з заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові, їх регулювання.

Технічне обслуговування (ТО) - це комплекс заходів, спрямованих на підтримку працездатності основного і допоміжного технологічного обладнання. ТО складається з комплексу робіт по виконанню операцій, пов'язаних з пуском і зупинкою апаратів, щомісячним відходом і наглядом за механізмами, а також ремонтів і направлено на підтримку обладнання в робочому стані.

Система ремонтів включає в себе технологічний огляд, поточний, середній і капітальний ремонти.

Капітальний ремонт гранулятора киплячого шару складається з наступних операцій:

1) Роз'єднують фланцеві стики, знімається трубна обв'язка, оглядове скло, кришки люків, форсунки, кришку апарату, верхню та середню секцію апарату, перфоровану газорозподільчу решітку.

2) Встановлюють заглушки. Очищають та промивають апарат та газорозподільчу решітку. Розбраковують деталі, дефектні деталі замінюються. Виготовляють комплект прокладок. Встановлюють перфоровану решітку, прокладки, середню частину апарату, форсунки, верхню кришку апаратів, оглядові вікна, люки.

Знімають заглушки. З'єднують фланцеві стики та встановлюють трубну обв'язку. Випробовують апарат та здають його в експлуатацію, після заповнення відповідних ремонтних документів.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## Розділ 5

### Інформаційне та апаратурне забезпечення автоматизованого керування

#### 5.1 Вибір та обґрунтування параметрів контролю, регулювання та вимірювання [20]

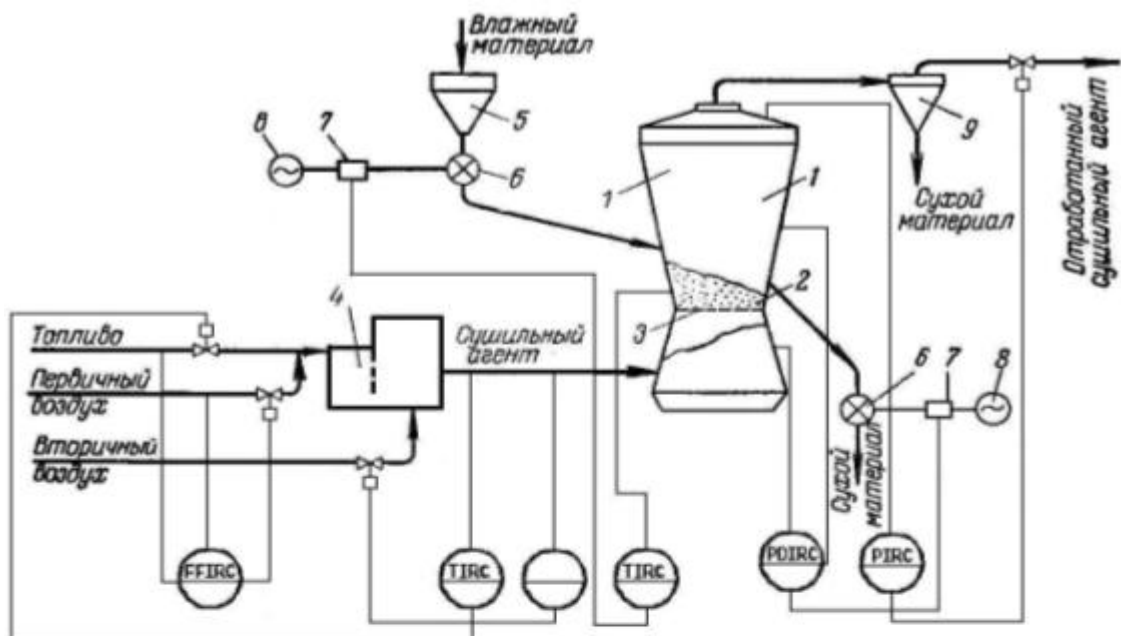
Характерною особливістю таких сушарок є мала теплова інерція і пов'язані з цим великі швидкості зміни параметрів, що часто унеможлиблює управління процесом вручну. Температура в киплячому шарі досить точно характеризує кінцеву вологість матеріалу, так що, регулюючи температуру шару, можна забезпечити необхідне значення показника ефективності. На практиці здійснюють два способи регулювання температури шару:

- зміною завантаження вологого матеріалу;
- зміною витрати сушильного агента.

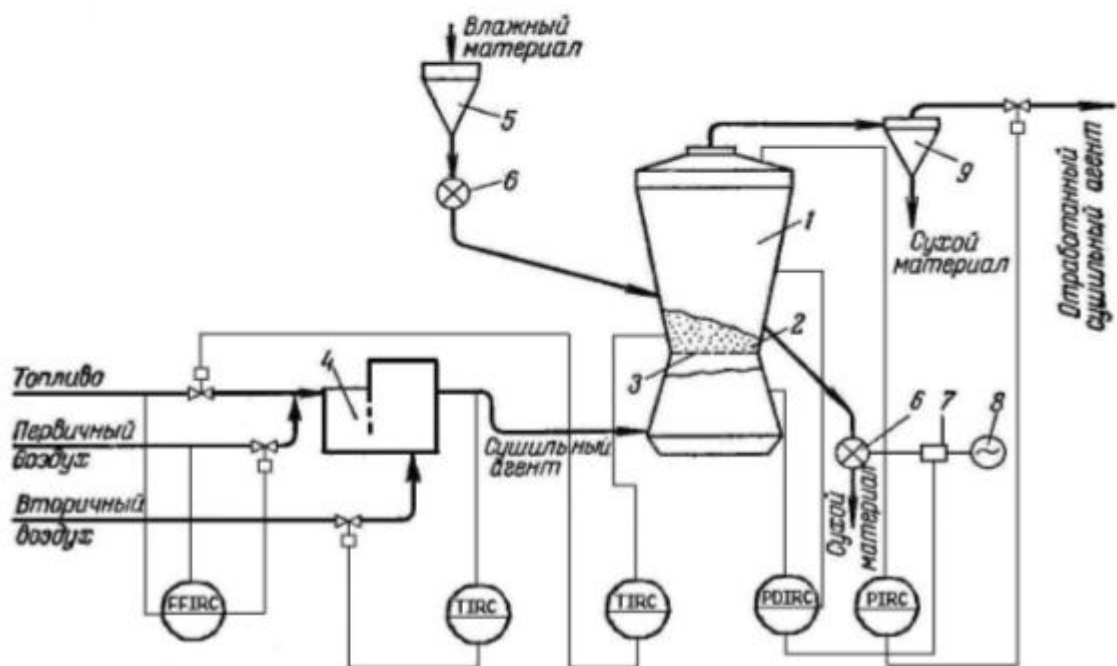
При використанні першого способу може автоматично збільшитися продуктивність сушарки (у разі зменшення початкової вологості матеріалу). Однак у цьому випадку між сушаркою та попереднім технологічним апаратом повинен бути поміщений проміжний бункер, що небажано, а часто і просто неприпустимо (через тенденцію вологого матеріалу до свободоутворення та зависання в бункері). Схема автоматичного управління роботою такої сушарки (див. рис. 5.1 а) включає вузли регулювання співвідношення витрат палива і первинного повітря, температури сушильного агента на вході в сушарку, витрати сушильного агента, температури киплячого шару, рівня киплячого шару і розрідження в сушарці.

Регулювання рівня шару забезпечує певний час перебування матеріалу в сушарці та виключає винесення матеріалу із сушильним агентом. При цьому досягається постійний гідродинамічний опір шару та оптимальний аеродинамічний режим процесу сушіння. Регулювання рівня шару здійснюється за допомогою регулятора перепаду тисків під решіткою та у верхній частині апарату.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60



а



б

Рисунок 5.1 – Схема регулювання процесу в сушарках із киплячим шаром:  
 а – регулювання температури зміною подачі сирого матеріалу; б – регулювання температури зміною витрати сушильного агента; 1 – сушарка; 2 – киплячий шар; 3 – решітка; 4 – топка; 5 – проміжний бункер; 6 – живильники; 7 – варіатори; 8 – електродвигуни; 9 – циклон

Регулятори температури шару та перепаду тиску впливають на варіатори 7, що змінюють швидкість обертання барабанів ло-пасних живильників 6.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Регулювання рівня шару забезпечує певний час перебування матеріалу в сушарці та виключає винесення матеріалу з сушильним агентом. При цьому досягається постійний гідродинамічний опір шару та оптимальний аеродинамічний режим процесу сушіння. Регулювання рівня шару здійснюється за допомогою регулятора перепаду тисків під решіткою і у верхній частині апарату. Регулюючий вплив вноситься шляхом зміни витрати матеріалу, що виводиться із сушарки. Регулятори температури шару та перепаду тиску впливають на варіатори 7, що змінюють швидкість обертання барабанів лопатевих живильників 6.

При використанні другого способу регулювання температури шару регулюючий вплив вноситься зміною витрати палива, температура сушильного агента на вході в сушарку регулюється зміною витрати вторинного повітря (рис. 5.1 б).

## 5.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації

Досвід пуску і налагодження ряду установок для сушіння солей в киплячому шарі показав, що надійність управління роботою установок значною мірою залежить від правильного вибору регулюючих органів, апаратного оформлення вузлів завантаження вологого матеріалу і вивантаження сухого продукту, а також способу регулювання продуктивності цих вузлів.

Раціональними органами для регулювання витрати загального повітря газів, що відходять, слід вважати осьові напрямні апарати, що встановлюються на всосі вентилятора і димососа. Регулювання витрати первинного повітря доцільно здійснювати за допомогою розподільчого клапана (типу перекидного шибера на повітропроводах для загального та первинного повітря).

Необхідна увага має бути приділена конструктивному виконанню кута подачі вологого матеріалу. Труднощі, з якими доводиться стикатися при дозуванні вологих та сипких матеріалів, добре відомі. На цій позиції виправдало себе застосування традиційних пірамідальних бункерів у поєднанні зі стрічковими живильниками, ємність бункера повинна забезпечувати роботу установки при номінальному навантаженні протягом 10–15 хв. У ряді випадків можна використовувати живильники скребкового типу, які дозволяють створити розвинену по довжині жи-

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вильника площу розвантажувальної горловини, при цьому стінки бункера виконуються з невеликими кутами до вертикалі. Скребкові живильники широко застосовуються в енергетиці, кольоровій металургії та інших галузях промисловості.

Як зазначалося вище, кращою апаратурою для автоматизації установок КШ є електронна апаратура. Стосовно умов автоматизації процесу сушіння до переваг цієї апаратури слід віднести, що вона, включаючи в себе порівняно невелику кількість уніфікованих блоків, дозволяє здійснити регулювання температури, витрати рівня та інших параметрів, реалізувати каскадні схеми регулювання, виконати дистанційне управління регулюючими органами. Апаратура має достатній вибір виконавчих механізмів як по конструктивним оформленням, так і по перестановочним зусиллям.

Контроль температур на установці КШ повинен здійснюватися тільки за допомогою малоінерційних термопар. Термопару, призначену для контролю температури шару, вводять у шар на довжину близько  $1/3$  діаметра решітки і встановлюють з невеликим нахилом ( $5-10^\circ$ ) до центру апарату. Кінець термопари повинен знаходитися на рівні 100–150 мм від решітки.

Термопари для вимірювання температури теплоносія часто помилково встановлюють у безпосередній близькості від газорозподільних решіток. Така установка, внаслідок променистого теплообміну термопари та решітки, спричиняє значні похибки у вимірі температури газу. Помилка може досягати кількох десятків, а іноді й сотень градусів. Тому найбільш доцільним місцем для встановлення цієї термопари є газохід, що з'єднує топку з підрешітним простором апарату КШ. У цьому випадку необхідно також вжити заходів для захисту термопари від променистого теплообміну з топкою.

При компонуванні топок в підрешітному обсязі апаратів КШ термопара також повинна бути надійно захищена (наприклад, за допомогою спеціальних козирків з вогнетривкої цегли) від променистого теплообміну з решіткою та топкою.

Термометр опору, що контролює температуру газів, не слід встановлювати на апараті. Цей замір потрібно виконати у найбільш вузькому місці тракту газів, що відходять (перед циклонами).

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63

Вимір перепаду тиску здійснюють дифманометрами. Особливу увагу треба звернути на виконання та встановлення добірних пристроїв на запиленому газі – при вимірі розрідження в апараті та перед димососом.

Добірні пристрої виконуються з відрізків труб великого діаметра і встановлюються, по можливості, вертикально. Відбір розрідження в апараті розміщується на верхній кришці, а відбір напору теплоносія – безпосередньо під решіткою.

Вимірювання витрати повітря бажано виконати за допомогою нормальних діафрагм, передбачаючи для їх встановлення необхідні прямі ділянки. У разі труднощів з розміщенням діафрагми для контролю витрати загального повітря можна застосувати вхідну діафрагму, що встановлюється на всмоктуванні вентилятора. Методика розрахунку вхідних діафрагм нормована.

### **5.3 Розробка автоматичного керування процесом сушіння полідисперсних гранул сульфату амонію у зваженому (псевдозрідженому) шарі**

Розробка відноситься до техніки сушіння, а саме до способів автоматичного управління процесами сушіння, і може бути використане в харчовій, хімічній та суміжних з ними галузях промисловості. Спосіб автоматичного управління процесом сушіння полідисперсних матеріалів у зваженому (псевдозрідженому) шарі, передбачає підсушування (сушіння) матеріалів і полягає у вимірюванні витрати, вологості та температури вихідного матеріалу, витрати та вологості висушеного матеріалу, вмісту вологи, температури і витрати теплоносія, що надходить на сушіння, вологовмісту теплоносія після сушіння. При цьому інформація з датчиків, що вимірюють витрату, вологість і температуру вихідного матеріалу, витрату і вологість висушеного матеріалу, вологовміст, температуру і витрату теплоносія, що надходить на сушіння, вологовміст теплоносія після сушіння, подається в мікропроцесор, який встановлює температурний режим та режим подачі теплоносія на сушіння та оптимальну витрату вихідного матеріалу.

У той же час цей спосіб передбачає підсушування вихідного матеріалу в вихровій сушарці, а сушіння – в сушилці зі зважено-закрученим шаром, а корекція режиму керування здійснюється на чотирьох рівнях: спочатку на перших трьох рів-

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

нях, в трьох зонах сушіння, тангенціально підведеними потоками теплоносія, а потім коригують на четвертому рівні впливом на витрату і температуру осьового потоку теплоносія. Технічним результатом розробки є підвищення якості готового продукту, оперативності та надійності управління, зниження енергетичних витрат на одиницю маси готового продукту.

Найбільш близьким до пропонованого по технічній сутності і планованого результату є спосіб автоматичного управління процесом сушіння дисперсних матеріалів в активному гідродинамічному режимі, що містить підсушку за рахунок тепла відпрацьованого теплоносія і сушіння матеріалу і що заключається у вимірі витрати, вологості і температури вихідного матеріалу, що надходить у сушарку, витрати і вологості висушеного матеріалу, вологовмісту, температури і витрати теплоносія, що надходить в сушарку, вологовмісту теплоносія після сушіння. При цьому інформація з датчиків, що вимірюють витрату, вологість і температуру вихідного матеріалу, що надходить в сушарку, витрату і вологість висушеного матеріалу, вологовміст, температуру і витрату теплоносія, що надходить в сушарку, вміст води теплоносія після сушіння подається в мікропроцесор, який по закладеному в нього алгоритму в залежності від кількості води і тепла, що містяться у вихідному і висушеному матеріалі, встановлює температурний режим і режим подачі теплоносія на вході в сушарку за допомогою виконавчих механізмів калориферів і вентиляторів з метою забезпечення заданих параметрів матеріалу, що висушується.

Так само додатково використовують датчики, що вимірюють споживану потужність вентиляторів і калориферів, інформація з яких подається на мікропроцесор, який безперервно визначає сумарні енергетичні витрати на одиницю маси матеріалу, що висушується, і якщо вони збільшуються, то зменшує температуру і витрату теплоносія, якщо зменшуються, то збільшує, а оптимальна витрата матеріалу визначається мінімізацією функції вартості енергетичних витрат. Крім того, корекцію режиму управління процесом сушіння здійснюють за двома рівнями, при цьому на першому рівні при відхиленні поточного значення кількості води, що випаровується в будь-якій зоні сушарки від заданого, впливають на температуру і витрату тангенціально підводиться потоку теплоносія, на другому рівні,

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якщо зміна температури і витрати тангенціально підводиться потоку теплоносія не забезпечує необхідної вологості висушеного матеріалу, впливають на витрату і температуру осьового потоку теплоносія.

Цей спосіб має ряд істотних недоліків порівняно з представленою розробкою:

- недостатньо висока якість готового продукту;
- тривалість проведення процесу сушіння;
- велика інерційність системи, тобто низька точність і надійність управління процесом сушіння через випадкові збурення з боку роботи обладнання;
- неможливість оптимального управління процесом сушіння;
- нераціональне використання теплоенергетичного та матеріального потенціалу.

Технічним завданням розробки є підвищення якості готового продукту, оперативності та надійності управління, зниження енергетичних витрат на одиницю маси готового продукту. Поставлена задача досягається тим, що в запропонованому способі автоматичного керування процесом сушіння полідисперсних матеріалів у зваженому закрученому шарі, інформація з датчиків, подається в мікропроцесор, який по закладеному в нього алгоритму в залежності від кількості вологи і тепла, що містяться у вихідному і висушеному матеріалі, встановлює температурний режим і режим подачі теплоносія на сушіння за допомогою виконавчих механізмів калориферів і вентиляторів з метою забезпечення заданих параметрів матеріалу, що висушується. При цьому додатково використовують датчики, що вимірюють споживану потужність вентиляторів і калориферів, інформація з яких подається на мікропроцесор, який безперервно визначає сумарні енергетичні витрати на одиницю маси матеріалу, що висушується. Якщо вони збільшуються, то мікропроцесор зменшує температуру та витрату теплоносія, якщо зменшуються, то збільшує. Оптимальна витрата вихідного матеріалу визначається мінімізацією функції вартості енергетичних витрат, крім того, корекцію режиму управління процесом сушіння здійснюють спочатку тангенціально підведеними потоками теплоносія, на температуру і витрата якого впливають при відхиленні поточного значення кількості випаровуваної вологи в зонах сушарки зі зважено-закрученим шаром від заданого, а потім, якщо зміна температури і витрати тангенціально під-

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



ведених потоків теплоносія не забезпечує необхідної вологості висушеного матеріалу, впливають на витрату і температуру осьового потоку теплоносія. Новим є те, що спосіб передбачає підсушування вихідного матеріалу у вихровій частині сушарки, а сушіння – у частині сушарки зі зважено-закрученим шаром, причому корекцію режиму управління процесом сушіння здійснюють на чотирьох рівнях. Спочатку, на перших трьох рівнях, у трьох зонах сушіння, тангенціально підводимими потоками теплоносія, при цьому задане значення кількості вологи, що випаровується з полідисперсного матеріалу в сушарці з зависло-закрученим шаром, розраховують за формулою:

$$W = G_{BM} \left( 1 - \frac{100 - W_{дс}}{100 - W_{пс}} \right) \quad (5.1)$$

де  $W$  – кількість вологи, яку необхідно видалити в процесі сушіння, кг/год.;

$G_{BM}$  – кількість матеріалу, що надходить у сушарку зі зважено-закрученим шаром, кг/год.;

$W_{дс}$  і  $W_{пс}$  – відповідно вологість матеріалу до сушіння та після сушіння, %.

Потім коригують на четвертому рівні впливом на витрату і температуру осьового потоку теплоносія.

Технічний результат полягає у підвищенні якості готової продукції, оперативності та надійності управління процесом сушіння, зниженні енергетичних витрат на одиницю маси готового продукту.

На рис. 5.2 представлена схема, що реалізує пропонований спосіб автоматичного керування процесом сушіння.

Кількість вологи, що надходить з вихідним матеріалом, визначається мікропроцесором 50, виходячи з інформації про витрату і вологість вихідного матеріалу, що надходить з датчиків 22 і 15, встановлених по лінії 10 подачі вихідного матеріалу, за формулою:

$$W_{ИСХ} = G_{BM} \left( \frac{W_{дс}}{100} \right) \quad (5.2)$$

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						67
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

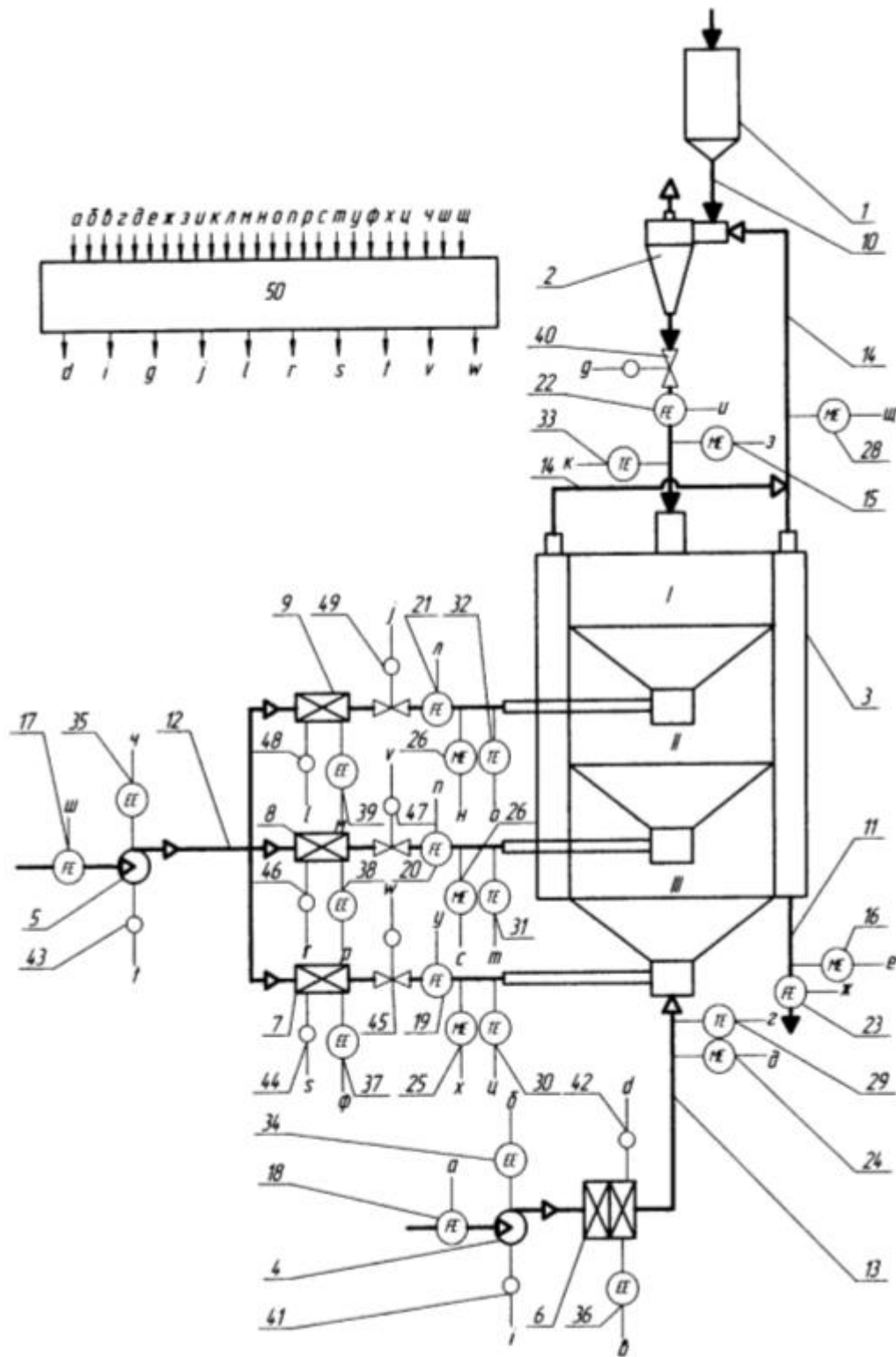


Рисунок 5.2 – Схема реалізації автоматичного управління процесу сушіння полідисперсних гранул сульфату амонію у псевдозрідженому шарі

де  $W_{исх}$  – кількість вологи, що надходить із вихідним продуктом, кг/год.

Таким чином, пропонуваній спосіб автоматичного управління процесом сушіння полідисперсних гранул сульфату амонію у псевдозрідженому шарі до-

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВОЛЯЄ:

- отримати готовий продукт вищої якості за рахунок оптимізації режимних параметрів процесу сушіння матеріалу у зваженому шарі;
- здійснити багаторівневе управління, завдяки чому підвищується оперативність і надійність управління в найбільш оптимальних діапазонах зміни параметрів режиму роботи сушарки;
- значно збільшити точність управління за рахунок використання інформації з датчиків вологості вихідного матеріалу 15 і висушеного 16 як коригувальних сигналів, при цьому підвищується чутливість системи управління процесом на випадкові обурення з боку роботи обладнання, більшу частину яких вдається повністю компенсувати;
- за рахунок використання тепла відпрацьованого теплоносія, при попереджувальному підсушуванні продукту в сушарці, забезпечити зниження енергетичних витрат на одиницю маси готового продукту;
- забезпечити раціональне використання теплоенергетичних ресурсів, варіюючи їх величиною в залежності від характеристик матеріалу, що висушується, і перебігу процесу.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях [21]

### 6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи обладнання

Механічні фактори: рухомі машини та механізми (збірники з мішалками, при-води, вали, висота, пересувні частини апаратів);

Електробезпека: можливість враження струмом при доторканні до кабелю, електричним приводам, та електрообладнанню, що знаходиться під напруженням; електронасоси, силові трансформатори, електродвигуни: мішалок, газодувок, статична електрика.

Небезпечні фактори: загазованість, запыленість (при розгерметизації циклонів, пилезбірників та трубопроводів) приміщень наявність отруйних та вибухонебезпечних речовин, термічна небезпека від нагрітих поверхонь топки та гранулятора.

Пожежна безпека: електромережі, природний газ, горючі речовини, високі температури, використання відкритого полум'я.

Хімічні фактори: речовини і сполуки азоту в вихідній речовині.

Шкідливі фактори: параметри мікроклімату, освітлення, шум (від гранулятора, газодувки, класифікатора, циклона, насосів, компресора), вібрація (від газодувки та насосів, компресора), повітря робочої зони, освітленість, потенційна небезпека зараження вірусами від сировини.

Джерелами механічної небезпеки є: електродвигуни, рухомі частини мішалок, вали газодувок та насосів. Робочих місць технологічного обслуговуючого персоналу на висоті більше ніж 1,5 метрів над рівнем підлоги немає. При ремонтних роботах на висоті більшій за 1,5 м над рівнем підлоги згідно “Інструкції по техніці безпеки, промислової санітарії та пожежної безпеки для працівників цеху грануляції органічних добрив” необхідно використовувати стаціонарні підмости, огороження та стаціонарні пояси безпеки. Працювати на висоті тільки в присутності дублера. Всі переходи, робочі та обслуговуючі площадки, кришки ємностей повинні бути оснащені перилами висотою 1м та огорожені бортом висотою не менше 0,15 м; відчинені монтажні прорізи повинні мати огороження зі зйомними перилами. Роботи по чистці та ремонту обладнання що приводиться в рух елект-

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

родвигунами, необхідно виконувати тільки після знеструмлення електродвигуна та вивіски попереджувального плакату “Не вмикати – працюють люди”.

Засобами захисту від механічних небезпек є: огороження суцільними кожухами і металевими сітками рухомих частин обладнання. Горизонтальні ремінні передачі захищаються з усіх боків, вертикальні - на висоту до 2-х м. Для запобігання нещасних випадків при ремонті і огляді похилих транспортерів необхідно встановлювати аварійні вимикачі. У виробництві використовується обладнання що працює під тиском (ресивер 5 атм.) виготовлення, монтаж, експлуатація, ремонт, гідравлічні випробування, реєстрація та технічний огляд обладнання та посудин під тиском повинні виконуватися згідно з «ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Забороняється експлуатація обладнання, що працює під тиском, з простроченим терміном експлуатації, без клейма, без вказівки наступного строку опосвідчення. Для безпеки експлуатації систем під підвищеним тиском застосовується запірна арматура, прилади контролю і запобіжні пристрої. На апараті повинні бути вказані наступні дані: допустимий тиск в апараті; дата, місяць і рік останнього гідравлічного випробування апарату; дата наступного гідравлічного випробування. У разі перевищення тиску на обладнанні, що працює під тиском, передбачений аварійний клапан.

Основні заходи захисту від впливу електричного струму:

1. Усунення небезпеки ураження при пробі на корпусі досягається використанням: захисного заземлення; занулення; захисного відключення.
2. Забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, для випадкового дотику: захист від переходу високої напруги в мережу низької напруги; захисне розділення мереж.
3. Застосування електрозахисних засобів персоналом при експлуатації установок.
4. Організація безпечної експлуатації електроустановок.

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею металевих неструмоведучих частин обладнання, які можуть опинитися під напругою.

Електродвигуни насосів, компресорів, газодувок живляться від електромережі з напругою 380 Вт та частотою струму 50 Гц. Вимоги до електрообладнання, пристосувань, монтажу та експлуатації лінії, проводок, електрообладнанню повинні

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідати “Правилам техніки безпеки при експлуатації електрообладнання споживачів”, “Правилам захисту від статичного струму у виробництвах хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості”. Надійність заземлення повинна регулярно перевірятися електролабораторією.

Концентрації шкідливих хімічних речовин в повітрі робочої зони виробничого приміщення в період виробництва добрив повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005-88, а саме: аміак – ГДК – 20 мг/м<sup>3</sup>, КО-1V, пари. Періодичність контролю над вмістом шкідливих речовин в повітрі робочої зони за ГОСТ 12.1005-88 п.4. Вимоги щодо методів та способів вимірювання концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони за ГОСТ 12.1005-88 п.5.

Вимоги щодо методів вимірювання та контролю показників мікроклімату за ГОСТ 12.1005-88 п. 2. Відповідно до санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених наказом МОЗ України. Показниками, котрі характеризують мікроклімат, є: температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря; інтенсивність теплового випромінювання.

Оптимальні показники мікроклімату поширюються на всю робочу зону, допустимі показники встановлюються диференційовано для постійних і непостійних робочих місць. Оптимальні і допустимі показники температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати значенням, зазначеним. У кабінах, на пультах і постах керування технологічними процесами, в залах обчислювальної техніки та інших виробничих приміщеннях при виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово-емоційним напруженням, повинні дотримуватися оптимальні величини температури повітря 22-24°C, його відносної вологості 60-40% і швидкості руху (не більше 0,1 м/с). Перелік інших виробничих приміщень, в яких повинні дотримуватися оптимальні норми мікроклімату, визначається галузевими документами, узгодженими з органами санітарного нагляду в установленому порядку. Визначення категорії робіт персоналу за важкістю, оптимальні і допустимі метеорологічні умови для робочої зони приміщення в додатку. Фактичні параметри мікроклімату відповідають нормативним вимогам «ДНАОП 0.03-3.15-86 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень N 4088-86».

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Коливання температури повітря по горизонталі в робочій зоні, а також протягом зміни допускаються до 4°C - при легких роботах, до 5°C - при середній тяжкості роботах до 6°C - при важких роботах, при цьому абсолютні значення температури повітря, виміряної на різній висоті і в різних ділянках приміщень протягом зміни, не повинні виходити за межі допустимих величин, зазначених у таблиці 5. Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного устаткування на постійних і непостійних робочих місцях не повинна перевищувати 35 Вт/м<sup>2</sup> при опроміненні 50% поверхні тіла і більше, 70 Вт/м<sup>2</sup> - при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50% і 100 Вт/м<sup>2</sup> - при опроміненні не більше 25% поверхні тіла.

При виробництві та зберіганні гранульованого сульфату амонію виробничі приміщення мають бути оснащені обігрівом, вентиляцією та кондиціонуванням згідно СНіП 2.04.05-91 та згідно ГОСТ 12.4.021-75. Санітарно-гігієнічний контроль систем вентиляції та промислових приміщень проводиться силами вентслужб або санітарних лабораторій згідно МУ 4425-87 в наступні строки:

- система місцевої витяжної та місцевої проточної вентиляції – 1 раз на рік;
- системи загальнообмінної механічної та природньої вентиляції – 1 раз на 3 роки.

Викиди забрудненого повітря в атмосферу мають відповідати вимогам ДСП 201-97. Вимоги до температури зовнішньої поверхні технологічного обладнання або огорожувальних засобів за ГОСТ 12.1.005-88 п. 1. 11. Температура поверхні апаратів при виробництві гранульованих добрив на місцях, де можливий контакт їх з персоналом, не повинна перевищувати 45°C.

Заходи, які використовуються на даному об'єкті, по нормалізації мікроклімату: вентиляція приміщення, кондиціонування повітря, застосування теплоізоляції устаткування (корпусу апарату грануляції, трубопроводів, топки) і раціональне розміщення обладнання. Роботи середньої та легкої категорії тяжкості 1Б та ПБ, відповідно допустимим параметрами мікроклімату вказано в додатку. В результаті вжитих заходів мікроклімат в приміщенні відповідає допустимим нормам згідно ГОСТ 12.1.006 - 88 і ДСН 3.36 - 042 - 99. Допустимі норми мікроклімату представлені в додатку. Відповідно до СНіП 2.04.05 – 92 в приміщенні передбачена загальнообмінна вентиляція для забезпечення встановлених метеорологічних умов і

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чистоти повітря. Для запобігання перевищення концентрації пилу в повітрі робочих приміщень повинна бути забезпечена безперервна ефективна робота систем приточно-витяжної вентиляції.

Усі виробничі приміщення повинні мати освітленість згідно розряду та підрозряду зорових робіт “Мінімальні рівні природнього та штучного освітлення за СНіП 11-4-79”. Мінімальні рівні освітленості для підприємства з виробництва вказані в додатку в таблиці 1. Згідно СНіП II - 4 - 89, для розряду робіт - середньої точності: коефіцієнт природнього освітлення (КПО) = 1,5%, для штучного освітлення освітленість. Також передбачено аварійне освітлення для продовження робіт при відключенні робочого освітлення. Для аварійного освітлення використовують лампи розжарювання з зарядкою від акумуляторів. Метод визначення освітленості робочих місць за ГОСТ 24940-81. При виробництві гранульованих органічних добрив вимоги до освітленості приміщення згідно СНіП 11-4-79, ред. 91 р., наведені в таблиці додатку.

Джерелами шуму і вібрації у виробничому приміщенні є насоси, мішалки, сушарка-гранулятор киплячого шару, компресор, газодувки, пневмокласифікатор. На робочому місці оператора, згідно ГОСТ 12.1.003 - 83 ССБТ, ДСН 3.36 - 042 - 99 і ГОСТ 12.1.012 - 90 ССБТ, рівні шуму і вібрації відповідають допустимим нормам.

Для зниження рівня шуму і вібрації можливо впровадити наступні заходи:

- Поліпшити умови експлуатації робочого обладнання;
- Провести роботи по зменшенню биття обертових вузлів і механізмів;
- Застосувати демпфуючі матеріали (гума, повсть і т.д.);
- Застосувати звукоізоляцію і віброізоляція обладнання;
- Застосувати звукопоглинаюче облицювання приміщення.

На робочих місцях обслуговуючому персоналу необхідно використовувати протишумові навушники гр “А” за ГОСТ 12.4.051-87. Вимоги до рівня вібрації на робочих місцях за ГОСТ 12.1.012-90.

Категорія виробничого приміщення за пожежною безпекою, згідно ОНТП - 24 - 86 категорія Д пожежонебезпечна. Сировина, що використовується і продукти пожежонебезпечних особливостей не мають. В процесі виробництва використовується для підігріву матеріалу топка що використовує в якості сировини гарно

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74



горючий матеріал – природній газ (метан). Для попередження вибухів і пожежі відповідно до ГОСТ 12.004 -91 необхідно виключати: джерела вибухонебезпечного середовища; джерела ініціювання вибуху (відкрите полум'я, тіла, які горять, електричні розряди, іскри від удару і т.д.). Пожежна безпека в приміщеннях забезпечується системою пожежного захисту і системою попередження пожежі.

В якості першочергових способів пожежогашіння використовуємо ручні вогнегасники типу ОУ - 2, ОУ - 5. Кількість вогнегасників розраховується за площею приміщення.

Таблиця 6.1 – Застосовувані у виробництві засоби пожежогашіння

Приміщення	Способи
Щити управління	Ручні вогнегасники ОУ – 2
	Ручні вогнегасники ОУ – 5

Ремонтні роботи в газонебезпечних місцях дозволяється проводити при наявності наряду-допуску на газонебезпечні роботи. Наряд-допуск складається начальником цеху у відповідності з “Інструкцією по організації та проведенню робіт в газонебезпечних місцях на підприємствах хімічної промисловості”. Вогневі роботи проводити згідно з вимогами “Інструкції по організації безпечного проведення вогневих робіт в цехах та на території підприємства”. При виконанні вогневих та газонебезпечних робіт необхідно встановити безперервний контроль за станом повітряного середовища в приміщеннях та закритих апаратах. Ремонтні роботи проводити згідно з інструкцією “ Про порядок безпечного проведення ремонтних робіт на підприємстві”. Дотримуватись вимог щодо зберігання та використання горючих та легкогорючих матеріалів. Забороняється зберігання промасленого ганчіря, ГСМ поблизу джерел горіння. Проїзди та проходи до приладів пожежогашіння та пожежних гідрантів повинні бути вільними. При виникненні пожежі приймаються міри щодо її ліквідації силами цехової дружини, викликається пожежна команда, при виникненні пожежі внаслідок несправності обладнання або електропроводки дана ділянка повинна бути негайно знеструмлена, тільки після цього приступити до гашіння пожежі. На фіксованих місцях цеху обладнуються та

укомплектовуються аптечки першої медичної допомоги з наявністю перев'язочних, нейтралізуючих та протиопікових засобів. Обслуговуючий персонал повинен мати спецодяг та індивідуальні засоби захисту згідно типових норм.

Кожен робітник повинен уміти надавати допомогу потерпілому в залежності від характеру нещасного випадку:

А) при потраплянні кислоти або кислих розчинів на тіло або в очі, ушкоджене місце необхідно швидко промити струменем чистої води та негайно звернутися в медпункт за медичною допомогою;

Б) при термічних опіках, незалежно від ступеня опіку, на вражене місце необхідно накласти стерильну пов'язку, не допускаючи пошкодження обпеченої шкіри, та негайно звернутися до лікаря;

В) при закритих переломах кісток кінцівок необхідно накласти шину або інший допоміжний матеріал (доску, планку) до пошкодженої кінцівки та викликати швидку допомогу;

Г) якщо працівник вражений електричним струмом, йому необхідно надати допомогу згідно "Інструкції по надаванню першої допомоги при враженні електричним струмом";

Д) при отруєнні, задусі природнім газом потерпілого необхідно вивести з загазованого середовища на свіже повітря, розстебнути одяг, дати понюхати нашати-рний спирт та відправити в медичний пункт, а при необхідності викликати лікаря.

## 6.2 Розрахунок захисного заземлення для стаціонарної установки

Для запобігання враженню струмом обслуговуючого персоналу всі апарати та механізми що використовують в процесі виготовлення добрив електричний струм (насоси, компресори, мішалки, мельниці, газодувки) повинні підлягати обов'язковому заземленню.

Розрахувати заземлення для стаціонарної установки. Заземлювачі заглиблені і розміщені в один ряд (глибина заглиблення  $h = 80$  см).

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Таблиця 6.2 – Вихідні дані до розрахунку захисного заземлення

Вихідні дані	
Показник	Труба
Довжина заземлювача, см	250
Діаметр заземлювача, см.	7
Ширина з'єднувальної смуги	7
Ґрунт N, год	Торф
Кліматична зона	II

#### Розв'язання

- У відповідності до вимог ПУЕ визначається допустимий опір розтіканню струму в заземленні  $R_z$ . Для мереж з напругою до 1000 В можна взяти  $R_z = 4$  Ом.
- Визначається питомий опір ґрунту, який рекомендовано для розрахунків,  $\rho_{\text{табл.}}$  (Ом·см). для торфу -  $\rho_{\text{табл.}} = 2000$  Ом·см.
- Визначаються підвищувальні коефіцієнти для труб (вертикальних заземлювачів)  $K_{\text{П.Т}}$  та для з'єднувальної смуги  $K_{\text{П.С}}$ , які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року залежно від наявності опадів. Приймаємо:  $K_{\text{П.Т}} = 1,8$ .  $K_{\text{П.С}} = 4,0$ .
- Визначається питомий розрахунковий опір ґрунту для вертикальних електродів (труб)  $\rho_{\text{розр.т}}$  з урахуванням несприятливих умов за допомогою підвищувального коефіцієнта:

$$\rho_{\text{розр.т}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_{\text{П.Т}}, \text{ Ом}\cdot\text{см} \quad (6.1)$$

$$\rho_{\text{розр.т}} = 2000 \cdot 1,8 = 3600 \text{ Ом}\cdot\text{см}. \quad (6.2)$$

- Визначається питомий розрахунковий опір ґрунту для горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги):

$$\rho_{\text{розр.п}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_{\text{П.С}}, \text{ Ом}\cdot\text{см}. \quad (6.3)$$

$$\rho_{\text{розр.с}} = 2000 \cdot 4 = 8000 \text{ Ом}\cdot\text{см.} \quad (6.4)$$

6. Визначається відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_3 + \frac{l_m}{2}, \text{ см,} \quad (6.5)$$

де  $h_3$  – глибина заглиблення труб, см;

$l_T$  – довжина вертикального заземлювача.

$$t = 80 + 250/2 = 205 \text{ см} \quad (6.6)$$

7. Визначається опір розтіканню струму для одиночного вертикального заземлювача, який розташований нижче від поверхні землі:

$$R_T = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр.Т}}}{l_T} \left( \lg \frac{2l_T}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l_T}{4t - l_T} \right), \text{ Ом.} \quad (6.7)$$

$$R_T = 0,366 \times \frac{3600}{250} \left( \lg \frac{2 \times 250}{7} + \frac{1}{2} \lg \left( \frac{4 \times 205 + 250}{4 \times 205 - 250} \right) \right) = 10,5 \text{ Ом.} \quad (6.8)$$

8. Визначається необхідна кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

$$n_T \cdot \eta_{e.T} = \frac{R_3}{R_T}. \quad (6.9)$$

$$n_T \cdot \eta_{e.T} = \frac{10,5}{4} = 2,63 \text{ шт.,} \quad (6.10)$$

прийmemo 3 шт.

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Визначається відстань між вертикальними заземлювачами  $L_T$  із співвідношення

$$c = \frac{L_T}{l_T}. \quad (6.11)$$

Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким:

$$C = 1. \quad L_T = l_T = 250 \text{ см.}$$

10. Визначаємо коефіцієнт екранування труб при числі труб  $n_T$  та відношенні:

$$c = \frac{L_T}{l_T} \cdot \eta_{eT} = 0,78. \quad (6.12)$$

11. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$n_{T.E} = \frac{R_T}{R_3 \cdot \eta_{E.T}}. \quad (6.13)$$

$$n_{T.E} = \frac{10,5}{4 \times 0,78} = 3,37 \text{ шт} \quad (6.14)$$

приймаємо 4 шт.

12. Визначаємо розрахунковий опір розтіканню струму при прийнятому числі вертикальних заземлювачів  $n_{T.E}$ :

$$R_{\text{розр.тр}} = \frac{R_T}{n_{T.E} \cdot \eta_{E.T}}. \quad (6.15)$$

$$R_{\text{розр.тр}} = \frac{10,5}{4 \times 0,78} = 3,37 \text{ Ом}. \quad (6.16)$$

13. Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_{3.C} = 1,05L_T(n_{T.E} - 1), \text{ см.} \quad (6.17)$$

$$L_{3.c} = 1,05 \cdot 250 \cdot (4-1) = 787 \text{ см.} \quad (6.18)$$

14. Визначаємо опір розтікання струму в з'єднувальній смузі:

$$R_{3.C} = 0,366 \frac{\rho_{розр.с}}{L_{3.C}} \lg \frac{2L_{3.C}^2}{h_3 \cdot b_C} \text{ Ом,} \quad (6.19)$$

$$R_{3.c} = 0,366 \times \frac{8000}{787} \lg \frac{2 \times 787^2}{80 \times 7} = 12,4 \text{ Ом.} \quad (6.20)$$

15. Визначаємо коефіцієнт екранування  $\eta_{E.3.C}$  для з'єднувальної смуги:  $\eta_{E.3.C} = 0,77$ .

16. Визначаємо розрахунковий опір для розтікання електричного струму в з'єднувальній смузі з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{розр.с} = \frac{R_{3.c}}{n_c \cdot \eta_{E.3.C}} \quad (6.21)$$

де  $n_c$  – кількість з'єднувальних смуг, у нас  $n_c = 1$ .

$$R_{розр.с} = \frac{12,4}{1 \times 0,77} = 16,1 \text{ Ом} \quad (6.22)$$

17. Визначаємо загальний розрахунковий теоретичний опір розтіканню струму від вертикальних заземлювачів та з'єднувальної смуги:

$$R_{заг.розр} = \frac{1}{\frac{1}{R_{розр.Г}} + \frac{1}{R_{розр.С}}} \quad (6.23)$$

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\text{заг.розр}} = \frac{1}{\frac{1}{4,49} + \frac{1}{16,1}} = 3,51 \text{ Ом}, \quad (6.24)$$

що менше  $R_3$ . Опір менше 4 Ом, отже заземлення розраховано правильно.

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		81

## Список літератури

1. Особливості, тонкощі та переваги використання сульфату амонію [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uapg.ua/ru/blog/osobennosti-tonkosti-i-preimushhestva-ispolzovaniya-sulfat-ammoniya/>
2. Матеріал з Вікіпедії. Сульфат амонію [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B0%D1%82\\_%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B0%D1%82_%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%8F)
3. Сульфат амонію. Застосування, властивості і характеристики [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://him-element.com.ua/news/51>
4. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студ. денної, заочної та дистанційної форм навчання / В.І. Склабінський, Я.Е. Михайловський, Р.О. Острога, М.С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
5. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / М.В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 429 с.
6. Романков П.Г. Сушка во взвешенном состоянии / П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская. – Изд. 2-е, пер. – Л. : Химия, 1968. – 204 с.
7. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. – М. : Химия, 1984. – 320 с.
8. Бувевич Ю.А. Струйное псевдооживление / Ю.А. Бувевич, Г.А. Минаев. – М. : Энергия, 1984. – 133 с.
9. Классен П.В. Основные процессы технологии минеральных удобрений / П.В. Классен, И.Г. Гришаев. – М. : Химия, 1990. – 304 с.
10. Соколовский А.А. Обезвоживание и грануляция растворов и суспензий в аппаратах кипящего слоя / А.А. Соколовский, Н.М. Плотникова,

					XI.C.00.00.00 ПЗ	Лист
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- А.С. Безруков. – Под ред. Б.С. Сажина // ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. Серия: Техника сушки во взвешенном слое. Вып. 1. – М.,1965. – 64 с.
11. Овчинников Л.Н. Интенсификация тепловых и массообменных процессов в гетерофазных средах : монография / Под ред. А.Г. Липина; Иван. гос. хим. технол. ун.-т. Иваново, 2009. – 164 с.
  12. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В.В. Кафаров, М.Б. Глебов. – М. : Высш. шк., 1991. – 400 с.
  13. Одинцов А.В. Расчет гранулометрического состава продукта при нанесении гетерофазной оболочки / А.В. Одинцов, А.Г. Липин, А.С. Кувшинова // Сб. трудов XXII международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-22». – Псков, 2009. – Т. 9, секция 10. – С. 147–148.
  14. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М. : Химия, 1971. – 784 с.
  15. Врагов А.П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : Навчальний посібник. – Суми : Вид-во СумДУ, 2007. – 256 с.
  16. Лазинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с.
  17. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.
  18. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.
  19. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.

20. Голубятников В. А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / В. А. Голубятников, В. В. Шувалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 2015. – 352 с.
21. Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.

					<i>XI.C.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		84