

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Операційне відділення цеху виробництва суперфосфату. Розробити та модернізувати пневматичний класифікатор для видалення дисперсної фази

Виконав:

студент групи ХМ.м-21/2

Гринько Дмитро Костянтинович

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

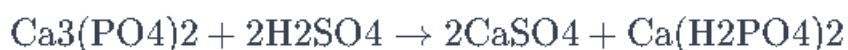
	С.
ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	6
1.1 Основні методи класифікації матеріалів	6
1.2 Аналіз обладнання для розділення сипких матеріалів	8
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	15
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	15
2.2 Теоретичні основи процесу	17
2.3 Опис конструкції проектного апарата	20
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата	21
2.5 Гідравлічні розрахунки	31
2.6 Вибір допоміжного обладнання	33
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	40
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	40
3.2 Розрахунки на міцність та стійкість	42
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	48
4.1 Обґрунтування компоновки основного та допоміжного обладнання	48
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання	51
5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	56
5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу	56
5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання	59
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	62
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва	62

	3
6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	75
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Виробництво чистих фосфорних добрив у світі обмежене порівняно з комплексними мінеральними добривами, які включають фосфор, азот і калій. Фосфор виготовляється в основному у вигляді різних сполук, які потім використовуються для створення комплексних мінеральних добрив.

Суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ – це одне з основних фосфорних добрив, яке виробляється за допомогою обробки сірчаною кислотою тонко розмеленого апатиту або фосфориту. Основна реакція виглядає приблизно так:



Містить 16–20% P_2O_5 (фосфатного ангідриду), що робить його ефективним джерелом фосфору для рослин. Майже вся фосфорна кислота, яка міститься в суперфосфаті, розчиняється у воді. Це сприяє легкому засвоєнню фосфору рослинами. У складі суперфосфату можуть бути інші харчові елементи, такі як азот (близько 6%), сірка (10%), кальцій (17%), магній (0,5%). Ці елементи допомагають покращити живлення рослин і підтримувати їх здоров'я та розвиток.

Суперфосфати використовуються для підживлення рослин, покращення родючості ґрунтів та збільшення врожайності. Їх велике застосування пов'язане з ефективністю та доступністю для рослин, а також різноманіттям харчових елементів, які вони можуть надавати.

Гранулювання суперфосфату впливає на характеристики цього добрива, зокрема на вміст вільної фосфорної кислоти та вологи. Основні етапи гранулювання можуть включати змішування суперфосфату з додатковими компонентами (якщо необхідно), формування гранул та їх висихання. У результаті цього процесу вільна фосфорна кислота може нейтралізуватися, і вміст вільної кислоти може зменшитися. Також, завдяки висиханню гранул,

волога може бути зменшена до 1–4%. Гранулювання допомагає створити більш зручні форми добрива для застосування та зберігання.

Проектування і модернізація класифікатора для видалення дрібної фракції є важливим завданням у сфері обробки матеріалів. Для цього необхідно:

1. Розглянути характеристики зернистих матеріалів, які будуть оброблятися, такі як розмір, щільність, форма та інші параметри. Це допоможе підібрати оптимальні параметри для сепарації.
2. Врахувати принципи дії гравітаційних і інерційних сил у пневмокласифікаторі. Оптимізувати конструкцію для ефективного відділення дрібної фракції від більших.
3. Вивчити аеродинамічні параметри потоку газу, такі як швидкість, тиск та температуру. Це важливо для правильного розподілу та сепарації матеріалів.
4. Розглянути можливість використання різних класифікаційних зон для різних розмірів частинок. Це може підвищити точність сепарації.
5. Вибрати відповідні матеріали для конструкції сепаратора, які витримають вплив абразивних матеріалів та забезпечать тривалий термін служби.
6. Розглянути можливість введення системи моніторингу та контролю, яка дозволяє в режимі реального часу відстежувати ефективність сепарації та здійснювати необхідні корекції.
7. Оптимізувати дизайн для максимальної енергоефективності, зменшуючи споживання енергії та втрати тепла.

У даній кваліфікаційній роботі [1] досліджено операційне відділення цеху виробництва суперфосфату, спроектовано пневматичний класифікатор для видалення дисперсної фази.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Основні методи класифікації матеріалів [2–5]

Технологічні процеси класифікації допомагають у досягненні бажаних характеристик і розмірів матеріалів, що є критичним для подальших етапів виробництва.

Основні переваги класифікації включають:

1. Однорідність матеріалу. Класифікація дозволяє отримати однорідні фракції, що є важливим для багатьох галузей, таких як будівельна та гірничодобувна промисловість.

2. Видалення забруднень. Процес класифікації дозволяє видаляти забруднення та високодисперсні частинки, що покращує якість кінцевого продукту.

3. Ефективність процесів. Якісна класифікація впливає на ефективність роботи інших машин і апаратів в технологічній схемі, забезпечуючи їхню стабільну і продуктивну роботу.

4. Вплив на техніко-економічні показники. Однорідність та правильний розмір матеріалів, отриманих завдяки класифікації, мають прямий вплив на техніко-економічні показники виробництва.

5. Мінімізація втрат сировини. Оптимальна класифікація допомагає мінімізувати втрати сировини та оптимізувати витрати виробництва.

6. Підвищення продуктивності. Висока міра розділення впливає на продуктивність процесів та забезпечує ефективну роботу виробництва.

Загальною метою є досягнення оптимальних техніко-економічних показників та виготовлення продукції високої якості. Процес класифікації є ключовим елементом для досягнення цих цілей у великому спектрі галузей промисловості.

У процесах розділення використовують різні методи для поділу матеріалів на фракції. Серед найпоширеніших це: механічний, гідравлічний та пневматичний методи.

Механічний метод (грохочення) яскраво відображає його основні принципи та особливості. Дійсно, грохочення є одним із найпоширеніших механічних методів для розділення матеріалів за їхнім розміром. Грохочення забезпечує розділення матеріалів, розсипаних на поверхні сита, залежно від розміру частинок. Використання сит з певним розміром отворів визначає геометричну характеристику отриманих фракцій.

Природа грохочення призводить до зменшення ефективності, особливо для частинок менших розмірів. На жаль, метод має свої обмеження, такі як низька ефективність для менших частинок, шум, запиленість та знос сит.

Грохочення вважається економічно вигідним та простим у використанні. Цей метод залишається важливим і широко використовуваним в ряді промислових галузей, де необхідно розділяти матеріали за їхнім розміром.

Гідравлічна класифікація ґрунтується на тому, що різні фракції суміші мають різні швидкості осадження в рідині під дією гравітації. Головною сферою застосування гідравлічної класифікації є збагачення корисних копалин в гірництві. Гідравлічна класифікація менш поширена в хімічній промисловості через зміну властивостей матеріалу при його зволоженні.

Одним із основних недоліків методу є утворення великих об'ємів шламових вод, що вимагає значних енергетичних витрат на подальшу обробку.

Важливим аспектом є енергоефективність та витрати на обробку матеріалу під час гідравлічної класифікації. Цей метод залишається важливим у багатьох виробничих галузях, де необхідно розділяти матеріали за їхніми фізичними характеристиками.

Пневматична класифікація ґрунтується на різниці у швидкостях підняття частинок різних фракцій в потоці повітря. Цей інноваційний метод вирізняється від більш традиційних механічних та гідравлічних підходів і має чимало переваг. На відміну від механічного класифікування в повітрі, пневматична

техніка дозволяє поділити матеріал на фракції, враховуючи комплексні фізико-механічні властивості частинок, такі як розмір, форма, шорсткість поверхні і густина.

Особливі переваги цього методу проявляються у порівнянні з гідравлічною класифікацією. Пневматичний спосіб розділення надає можливість отримувати продукцію у сухому вигляді, що ефективно зменшує енергоспоживання технологічних процесів, що проводяться. Такі ключові особливості пневматичної класифікації визначають її високий рівень ефективності і роблять її популярним рішенням у різних галузях промисловості.

1.2 Аналіз обладнання для розділення сипких матеріалів [5–8]

Існують дві основні техніки пневматичної класифікації: гравітаційна та відцентрова. Відцентровий метод успішно застосовується при розділенні матеріалів з тонкою дисперсією, де граничний розмір частинок становить менше 0,1 мм. З іншого боку, гравітаційна класифікація забезпечує розділення сумішей, у яких розміри частинок коливаються від 0,1 до 5 мм. Цей метод часто застосовується у виробництві мінеральних добрив, а також в електродній, харчовій, зернопереробній та інших галузях промисловості.

Відцентровий підхід виявляється особливо ефективним у випадках, коли необхідно розділити високодисперсні матеріали з надзвичайно дрібними частинками. Завдяки використанню центробежних сил він може працювати з частинками, які мають розмір менше 0,1 мм, забезпечуючи точне і ефективне розділення. На відміну від цього, гравітаційний метод, який базується на відмінностях у вагах частинок, ідеально підходить для розділення більших частинок у розмірному діапазоні від 0,1 до 5 мм. Це робить його важливим інструментом в різних галузях виробництва, де важлива точність та якість розділення матеріалів.

Гравітаційні класифікатори поділяються на кілька типів в залежності від різноманітних конструктивних характеристик. Автори Є.В. Донат та А.І. Голобурдін виділяють три основних типи апаратів метальної дії, які включають апарати з висхідним потоком повітря, апарати з горизонтальним напрямком потоку повітря та багатоступінчасті класифікатори. Автори розрізняють ці апарати за конструктивними особливостями, розглядаючи їхні поличні контакти, наявність псевдозрідженого шару чи вільного перетину.

Інша класифікація від Н.І. Зверєва та С.Г. Ушакова виділяє зигзагоподібні, протитечійні, горизонтальні та підйомні класифікатори. Зокрема, каскадні, протитечійні, поворотні і поперечно-потоківі апарати утворюють чотири основні групи цієї класифікації. Дослідження М.Д. Барського доповнює зазначені класифікації, представляючи найбільш повний огляд принципів роботи, сфер застосування та недоліків різних типів гравітаційних класифікаторів.

Враховуючи різноманітність видів апаратів, класифікації, які обговорені в роботі, надають зрозумілу структуру та ретельне розглядання різних аспектів їхнього функціонування. Наприклад, каскадні апарати можуть включати поличні та зигзагоподібні класифікатори, а поперечно-потоківі апарати можуть об'єднувати у собі пристрої з косими потоками. Таким чином, подані класифікації становлять інтегрований підхід до розуміння різноманітності гравітаційних класифікаторів у сучасних дослідженнях.

Процес класифікації у простих за конструкцією поперечно-потоківих апаратах, незважаючи на їхню простоту, може забезпечувати значну продуктивність. У цих апаратах класифікація на фракції відбувається в потоці газу, що направлений горизонтально. Матеріал, який підлягає класифікації, завантажують у верхню частину апарата, де його захоплює горизонтальний потік повітря. Підхоплені частинки переміщуються вздовж потоку і випадають на дно апарата.

Кожна частинка подолає певну відстань, перш ніж вийде з потоку, що залежить від її розміру та дії результуючої сили, що впливає на кожну

частинку. Більші частинки проходять меншу відстань, ніж дрібніші. У днищі апарата розташовані бункери для збору випадających частинок, і вони розташовані на різній відстані від точки введення.

З урахуванням швидкості потоку, концентрації крупної фракції в суміші та відстані, на якій розташовані бункери в днищі, можна впливати на проходження процесу, що дозволяє отримувати фракцію з необхідною граничною крупністю. Однак основним недоліком таких класифікаторів є нечітке визначення межі розділення, яка змінюється в широких межах, що призводить до зменшення ефективності цієї конструкції.

Під час переміщення суміші по потоку, частинки взаємодіють між собою, передаючи енергію одна одній. Це може призводити до забивання крупною фракцією дрібною, що у кінцевому результаті впливає на якість кінцевого продукту.

При порівнянні поворотних апаратів з поперечно-потокowymi відзначається значне покращення продуктивності та ефективності на користь перших. Введення суміші матеріалу в апарат відбувається при певній швидкості, що разом із швидкістю руху потоку повітря в апараті дозволяє досягти необхідного рівня розділення. Виділений сепараційний канал у таких апаратах розташований під кутом до горизонту. Ця конструкція дозволяє уникнути згусткування матеріалу в місці його введення і направляє дрібні частинки до точки їх виведення з апарату.

Висхідний потік повітря піднімає дрібні частинки в верхню частину апарату, звідки вони відводяться, тоді як великі частинки осідають у нижній частині апарату. Поміж недоліків цих апаратів можна відзначити налипання пилу на стінках апарату, нерівномірний розподіл локальних швидкостей у сепараційному каналі та неможливість повністю руйнувати згустки частинок, які утворюються під час класифікації.

Пневмокласифікатори з киплячим шаром знайшли широке застосування в промисловості, особливо у сферах, де важливо ефективно розділяти частинки за їхніми розмірами. В порівнянні з протитечійними класифікаторами, в яких

контакт фаз є обмеженим, пневмокласифікатори з киплячим шаром відзначаються великою ефективністю через значне збільшення часу контакту фаз.

У цих апаратах частинки розділяються за висотою псевдозрідженого шару та над ним. Конструктивно вони складаються з шахти, у нижній частині якої розташована газорозподільна решітка з живим перетином приблизно 5-10%. Регулюючи розмір живого перетину, можна здійснювати різні режими роботи апарата, що впливає на взаємодію повітряного потоку з частинками.

Під час проходження повітряного потоку через решітку збільшується його несуча здатність, оскільки відбувається збільшення швидкості потоку в момент проходження через отвори решітки. Матеріал піднімається над решітками, що впливає на порізність в прирешіточному шарі. Однак, для забезпечення повноти виходу тонкого продукту, дрібні частинки повинні "встигнути" досягти верхньої межі шару, що ускладнюється їхнім переміщенням через нього через високу концентрацію частинок. Це вимагає достатнього часу перебування частинок в шарі або, відповідно, невеликої висоти шару, що зводить на невелику продуктивність та збільшення габаритів апарату.

Модернізація вертикального каналу апарату за допомогою пересипних полиць або додаткових решіток відкриває можливості для реалізації каскадного принципу розділення матеріалів. Цей підхід сприяє більш ефективному розподілу матеріалу по перетину корпусу завдяки утворенню вихорів на кожному рівні каскадів. Один із прикладів каскадного класифікатора - зигзаг Кайзера, в якому за рахунок обертання потоку газу виникають відцентрові сили, і розпочинається циркуляція частинок. Важливою особливістю цього класифікатора є можливість реалізації процесу каскадної класифікації в одному корпусі.

Апарат має форму порожнистої вертикальної шахти, що складається з зигзагоподібних секцій. Матеріал вводиться через похилий патрубок, розташований усередині корпусу, і продувається повітряним потоком, що

надходить з нижньої частини апарату. Оптимальною зоною розділення частинок є вигини каналу. Благодаря різким поворотам потоку у каналі утворюються вихори, які витягують до себе частинки матеріалу при обертанні. Потік матеріалу, проходячи вихідні воронки, розділяється на дві частини - легшу і важчу. Ці частинки рухаються в різні боки під впливом вихору. При контакті зі стінками каналу, більш великі частинки потрапляють у зону з меншою швидкістю і опускаються вниз, тоді як дрібніші частинки виводяться вгору у струмі розганеного повітря.

У процесі роботи вигнуті канали кожної секції сприяють подальшому покращенню якості розділення матеріалу. Важливими параметрами є концентрація матеріалу, швидкість повітря та кількість секцій апарату, які впливають на якість процесу та кінцевий продукт.

З метою підвищення продуктивності процесу розділення сипучих матеріалів та розширення області його застосування, намічається новий напрямок удосконалення каскадних пневмокласифікаторів. Це вдосконалення в основному полягає в створенні нових контактних елементів, комбінуванні різних типів апаратів в одному корпусі та встановленні додаткових елементів очищення в зоні розділення.

Хоча контактні елементи представляють собою локальні опори під час руху висхідного повітряного потоку, що може впливати на ефективність апарату, спостерігається тенденція до вдосконалення їх конструкції та функціональності. Зокрема, нові контактні елементи дозволяють забезпечити більш ефективний контакт фаз, сприяючи оптимізації процесу розділення матеріалів.

Однак, варто враховувати, що збільшення кількості полиць в апараті може призвести до інтенсифікації контакту фаз, але разом з тим збільшує гідравлічний опір, що, в свою чергу, впливає на енерговитрати. Здебільшого, це представляє собою компромісний процес, де оптимальний баланс між інтенсивністю контакту та енергоефективністю визначається з урахуванням конкретних умов і вимог виробництва.

Отже, подальше вдосконалення каскадних пневмокласифікаторів не лише враховує важливість нових контактних елементів та комбінації різних типів апаратів, але і розв'язує проблеми, пов'язані з енерговитратами та гідравлічним опором, забезпечуючи оптимальну продуктивність процесу розділення.

Більшість з розглянутих апаратів взагалі дозволяють здійснювати процес розділення матеріалу на дві фракції, використовуючи різницю у швидкостях витання крупних та дрібних частинок. Також, деякі з цих апаратів володіють можливістю відбору фракцій в залежності від їхнього розташування по висоті апарату, що дозволяє отримувати різноманітні фракції за розміром. Ці функції реалізуються за допомогою додаткових уловлювачів, полиць та відбійників.

Важливо відзначити, що хоча такі апарати мають свої переваги у сфері розділення матеріалів, їхня ефективність є досить обмеженою. Межі розділення матеріалу в таких апаратах можуть значно коливатися, що в свою чергу призводить до зменшення якості одержуваних фракцій. Зміна параметрів висоти, наявність уловлювачів та полиць може викликати значні зміни у результатах розділення.

Нинішні напрямки вдосконалення таких апаратів включають в себе розробку більш ефективних та стабільних систем уловлювання та контролю, які зменшують вплив факторів, що призводять до коливань у межах розділення. Одночасно із цим, дослідження зорієнтовані на розширення функціональності апаратів, щоб підвищити точність та стабільність процесу розділення, і, таким чином, забезпечити високу якість отримуваних фракцій.

Після докладного аналізу різноманітних типів апаратів, призначених для розділення сипучих матеріалів, стає очевидним, що гравітаційні пневматичні класифікатори виявляються найбільш раціональними конструкціями за певних умов. Однак, для максимізації їхнього потенціалу, важливо здійснювати подальший розвиток, зосереджений на кількох ключових напрямках.

В першу чергу, важливо працювати над зменшенням металоємності апаратів, оскільки це може значно полегшити їхню конструкцію та знизити

вартість виробництва. Технологічні інновації у використанні легких, але міцних матеріалів можуть допомогти досягти цього результату.

Другим ключовим аспектом є зниження енергоємності апаратів. Розвиток більш ефективних систем передачі та використання енергії, оптимізація аеродинамічних параметрів та використання передових методів автоматизації можуть сприяти досягненню цієї мети.

Третім аспектом є зменшення гідравлічного опору та збільшення чіткості кордону розділення. Це може бути досягнуто за допомогою вдосконалення гідравлічної конструкції, оптимізації геометрії та використання передових математичних моделей для точного прогнозування процесів розділення.

Взяти разом, ці напрямки розвитку гравітаційних пневматичних класифікаторів можуть значно покращити їхню ефективність і впроваджуваність у різних сферах промисловості.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Операційне відділення цеху виробництва суперфосфату відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності виробничих процесів та виробництва в цілому. Це відділення відповідає за ряд критичних завдань та функцій.

Взагалі, операційне відділення цеху виробництва суперфосфату спрямоване на оптимізацію всіх аспектів виробничого процесу з метою досягнення високої продуктивності, якості та безпеки.

На рис. 2.1 представлено технологічну схему безперервного виробництва суперфосфату.

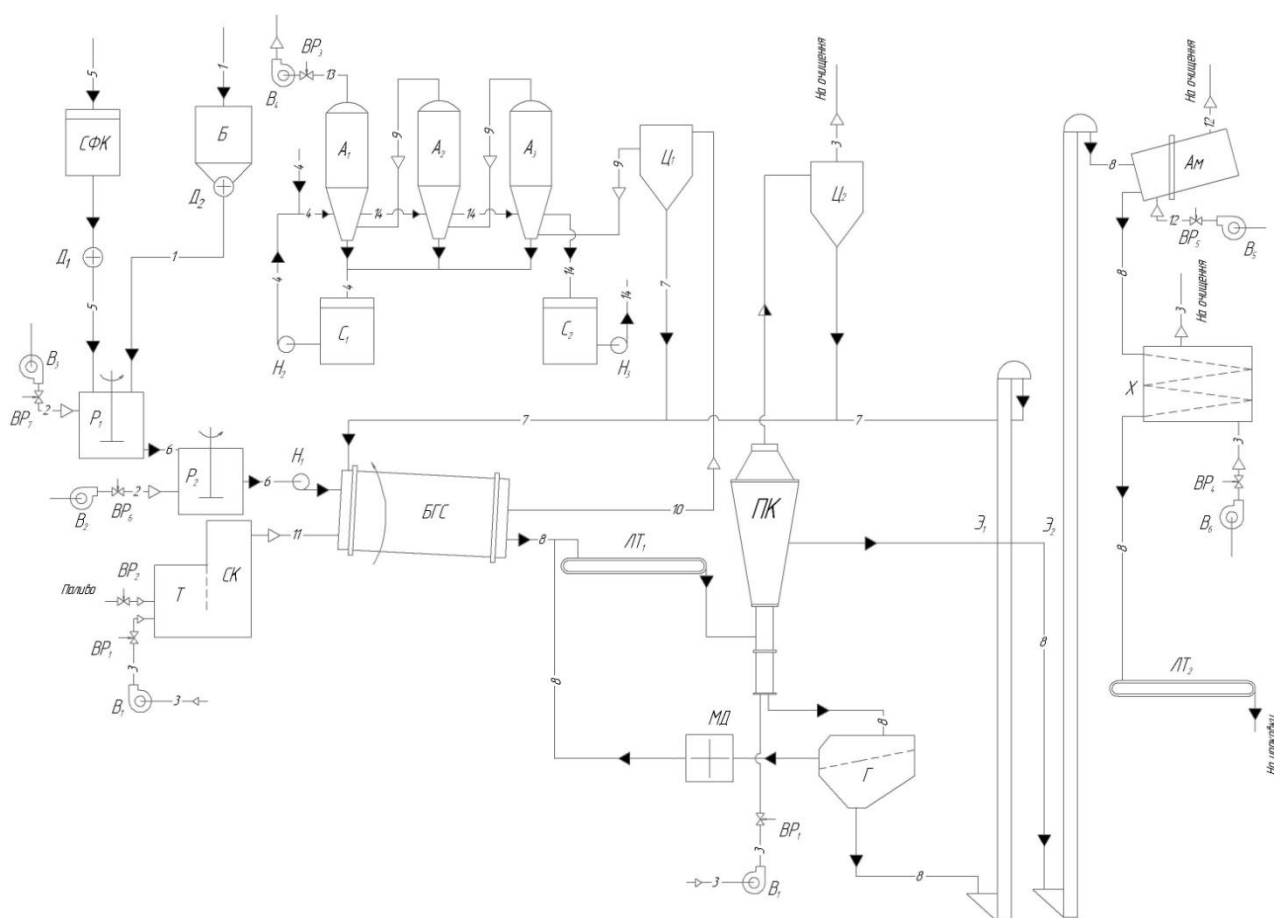


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва гранульованого суперфосфату

Цей виробничий процес передбачає безперервне введення фосфоритного борошна в реактор першого ступеня з використанням вагового дозатора. Одночасно з цим, фосфорну кислоту з концентрацією 35-37% P_2O_5 передають в цей реактор через дозатор із напірного бака. Отримана пульпа із реакції подається в реактор другого етапу. Обидва реактори обладнані трьохлопатевими мішалками для забезпечення ефективного перемішування реагентів. Введення гострої пари в обидва реактори сприяє оптимальному протіканню реакції, а регулювання розрідження на рівні 50–100 Па допомагає управляти умовами в реакторах для досягнення необхідних результатів.

Процес розкладання відбувається при температурі 90–105°C і триває мінімум одну годину.

Із реактора другого етапу пульпу, в якій вміст вологи становить 35%, транспортують за допомогою поглибної помпи в апарат БГС. У цьому апараті відбувається процеси сушіння та грануляції пульпи, а також подальший розклад фосфату. Важливо враховувати, що в апарат БГС також надходить ретур, і співвідношення мас між ретуrom і готовим суперфосфатом складає 3:1. Цей етап виробничого процесу сприяє отриманню якісного суперфосфату, оптимально гранульованого та розкладеного для подальшого використання.

Пульпу розпилюють за допомогою пневматичних форсунок, створюючи завісу навколо сухого ретуру. Процес формування та збільшення гранул здійснюється шляхом нашарування пульпи на дрібні частинки ретуру. Важливим етапом цього процесу є сушіння гранул, яке проводиться за допомогою гарячих газів. Температура вхідного потоку газів становить 600–700°C, в той час як температура вихідного потоку складає 110–120 °C. У результаті цього процесу отримується висушений продукт із вмістом вологи не більше 4%.

Отриманий сухий продукт проходить подальше розділення у пневмокласифікаторі для виділення різних фракцій. Велику фракцію направляють на гуркіт, а звідти в дробарку, де після подрібнення повертається в

пневмокласифікатор. Дрібну фракцію, відокремлену у пневмокласифікаторі, подають в циклон, а потім, як ретур, повертається в БГС.

Товарна фракція продукту, з гранулами розміром 1–4 мм, піддається нейтралізації аміаком у барабані. Після цього її охолоджують повітрям до температури 35–45°C за допомогою апарата КС і направляють на склад для подальшого використання.

Гази, які включають фтор та утворюються під час виробництва суперфосфату, проходять процес абсорбції в абсорберах, де вони поглинаються водою. Щоб видалити аміак з повітря, що надходить з аммонізатора, застосовують процес очищення з використанням фосфорної кислоти або води.

2.2 Теоретичні основи процесу [9–11]

Для ефективного і стійкого транспортування газу разом із твердими домішками через трубопровід важливо утримувати оптимальну критичну швидкість газового потоку. Для розрахунку цієї швидкості запропоновано використовувати ряд формул, які дозволяють точно визначити параметри газового потоку.

Для точного визначення критичної швидкості газового потоку, при якій тверді частинки не осідають на дно горизонтального трубопроводу, можна скористатися емпіричними рівняннями:

$$W = 5,6 \cdot D^{0,34} \cdot d^{0,36} \cdot \left(\frac{\rho_T}{\rho} \right) \cdot m^{0,25}; \quad (2.1)$$

$$W = A \cdot \sqrt{\rho_T} + B \cdot L^2, \quad (2.2)$$

де D – діаметр трубопроводу, м;

d – середній діаметр частинок, м;

ρ_T – щільність частинок, $\text{кг}/\text{м}^3$ (у формулі (2.2) – $\text{т}/\text{м}^3$);

ρ – щільність газового потоку, $\text{кг} / \text{м}^3$;

m – масовий коефіцієнт суспензії, $\text{кг} / \text{кг}$;

L – довжина трубопроводу, м ;

A, B – емпіричні коефіцієнти.

З аналізу наведених рівнянь випливає, що ключовими факторами, які визначають швидкість горизонтального транспортування, є діаметр трубопроводу та коефіцієнт. Діаметр трубопроводу, визначаючи простір для руху газового потоку разом з твердими частинками, виявляє суттєвий вплив на ефективність транспортування.

Коефіцієнт, який представляє собою відсоток твердих частинок у газовому потоці, також має вагому роль у формуванні критичної швидкості. Його значення визначає, наскільки стійко відбувається утримання твердих частинок у газовому потоці.

Хоча довжина трубопроводу також впливає на транспортування, його внесок у порівнянні з діаметром та коефіцієнтом менший. Довжина трубопроводу визначає стан потоку та характер транспортування газопилового потоку, особливо при змінах температури вздовж трубопроводу. У таких випадках важливо розглядати середній стан потоку та враховувати фізичні властивості газового потоку при розрахунках швидкості. Такий підхід дозволяє забезпечити точність та ефективність горизонтального транспортування на всій довжині трубопроводу.

У процесі вертикального транспортування газопилового потоку можливе виникнення явища, відомого як завал. Це явище спостерігається при зниженні швидкості газового потоку до рівня, що перевищує критичне значення. Зниження швидкості призводить до збільшення щільності частинок в потоці, а також до збільшення їхньої концентрації.

На низьких швидкостях частинки газопилу можуть наближатися одна до одної, збільшуючи ймовірність їх взаємодії. В результаті цього в газовому потоці формується гідродинамічний слід перед рухомими частинками.

Зменшення лобового опору призводить до збільшення швидкості вітання частинок, що в свою чергу призводить до того, що частинки вибухають з газового потоку.

Це явище завалу може виникнути при недостатньому вантажопідйомності газового потоку, яка впливає на розділення та рух частинок в потоці. Оптимізація параметрів газового потоку, таких як швидкість та щільність, може допомогти запобігти виникненню завалу та підтримувати ефективність вертикального транспортування газопилового потоку.

Для визначення швидкості висхідного газового потоку, при якій виникає явище завалу під час транспортування, можна скористатися наступними формулами. Ці формули дозволяють точно визначити критичні параметри, при яких газопиловий потік стає нестійким і може спричинити виникнення завалу:

$$W = 10,5 + 0,57 \cdot U_B; \quad (2.3)$$

$$W = 1,4 \cdot m^{0,28} \cdot U_B, \quad (2.4)$$

де U_B – швидкість вітання часток заданого розміру, м/с.

Для ефективного та сталого транспортування газопилового потоку у вертикальному трубопроводі рекомендується визначати оптимальну швидкість газового потоку, використовуючи наступну формулу:

$$W = k \cdot U_B \quad (2.5)$$

де k – експериментальний коефіцієнт, вибір якого залежить від крупності частинок, що транспортуються.

До недоліків наведеної формули, крім невизначеності при виборі значень дослідного коефіцієнта " k " і параметра " m ", також варто відзначити відсутність обліку впливу на робочу швидкість газового потоку концентрації частинок.

Окрім цього, не враховано впливу діаметра трубопроводу та інших параметрів, які можуть ускладнювати рух частинок в газовому потоці.

З метою вдосконалення даної формули та її відповідності реальним умовам, рекомендується розширити модель, додаючи додаткові члени, які враховують концентрацію частинок, діаметр трубопроводу та інші фактори, що можуть впливати на переміщення частинок в газовому потоці. Такий підхід дозволить отримати більш точні та адаптовані формули для практичних застосувань.

2.3 Опис конструкції проектованого апарата

На рис. 2.2 зображено продольний перетин запроєктованого пневматичного класифікатора.

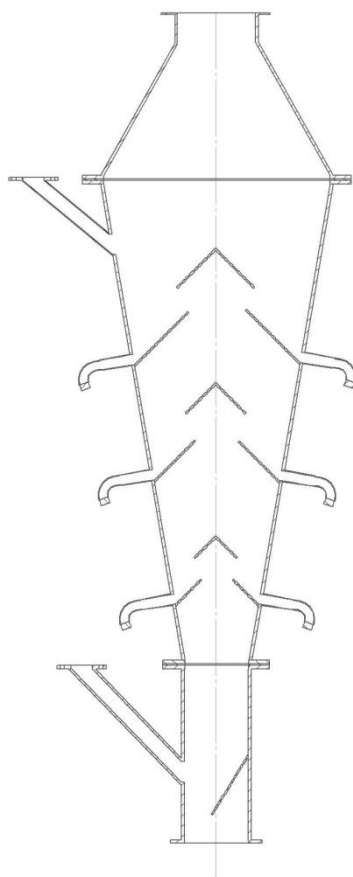


Рисунок 2.2 – Перетин поличного пневматичного класифікатора

Проектований апарат має компактну структуру, що включає в себе корпус, верхню кришку, камеру нижньої подачі матеріалу, відводи фракцій та спеціально розташовані похилі перфоровані полиці. Принциповим елементом є система подачі матеріалу через камеру нижньої подачі, яка забезпечує оптимальні умови для подальшого оброблення і розділення матеріалу в апараті.

Принцип роботи апарата полягає у наступному. Дрібнодисперсна частина, представлена фракцією, захоплюється потоком повітря та обтікає похилі перфоровані полиці, де відбувається ефективне її розділення. Цей процес зумовлений спеціальним розташуванням та налаштуванням похилих перфорованих полиць. Потім відсіяна фракція виводиться з апарату через бічні відводи, забезпечуючи чистоту та високу якість розділення матеріалу. Похилі перфоровані полиці виконують також функцію завихрення потоку, що сприяє ще більш ефективному розділенню частинок.

Для оптимального регулювання процесу, кут нахилу полиць може бути налаштований залежно від вимог конкретного завдання. Зазначеної дії служать для забезпечення оптимального руху матеріалу в апараті. Більша дисперсна фракція, що має більші розміри, видаляється з апарату в нижній частині і подальше виводиться за допомогою роздільного пристрою, що забезпечує ефективне розділення та вивід цієї фракції.

2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

Для проведення розрахунку швидкості потоку на виході пневмокласифікатора, спочатку необхідно виконати аналіз для кожної полиці відповідно до ситового аналізу. Цей процес включає в себе вивчення характеристик частинок у матеріалі, таких як їхні розміри та масові відсотки.

Спочатку проводимо ситовий аналіз для визначення розмірів частинок у матеріалі та їхніх масових відсотків у різних фракціях. Використовуючи отримані дані ситового аналізу, проводимо розрахунок для кожної похилої

перфорованої полиці. При цьому враховуємо кут нахилу полиці, щоб визначити, які частинки будуть видалені із потоку і через які відводи вони будуть виводитися.

Далі для кожної фракції розраховуємо швидкість потоку, яка буде необхідна для виведення цієї фракції через відповідні відводи полиці. Враховуємо фізичні властивості частинок та робочі параметри пневмокласифікатора. Після чого підсумуємо швидкості потоку для всіх фракцій та полиць, щоб отримати загальну швидкість потоку на виході пневмокласифікатора.

Цей розрахунок дозволить нам оптимально налаштувати процес роботи пневмокласифікатора для ефективного розділення різних фракцій матеріалу.

Виходячи з наданих даних про концентрацію частинок на виході пневмокласифікатора ($Y_d = 500 \text{ кг/м}^3$) і встановленого обмеження на вихід цільової фракції у провал (не більше 5%), ми можемо розрахувати потрібні параметри для оптимального функціонування апарата.

Фракція +5 мм

Концентрація дрібної фракції в віднесенні:

$$Y_M = Y_d \cdot X_M, \text{ кг/м}^3 \quad (2.6)$$

де $X_M = 0.116$ – відносний вміст фракції +0,005 мм в віднесенні.

$$Y_M = 500 \cdot 0.116 = 58 \text{ г/м}^3$$

Постійні a і b для пневмокласифікатора з похилими полицями для частинок цільової фракції граничного розміру $d_T = 0,0051 \text{ мм}$, рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{\frac{0.02}{U_B}} \quad (2.7)$$

$$b = 2.75 \cdot U_B^{0.63} \quad (2.8)$$

де U_B – швидкість витання часток даної фракції, знаходиться за формулою:

$$U_B = \frac{\mu Re}{d\rho_m} \quad (2.9)$$

де $\mu = 3.05 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$; $\rho_T = 2700 \text{кг/м}^3$; Re – критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0.575\sqrt{Ar}} \quad (2.10)$$

Критерій Архімеда знаходиться за формулою:

$$Ar = \frac{d^3 \rho_T g}{\mu^2} \cdot \frac{(\rho_T - \rho_0)}{\rho_0} = \frac{0.0051^3 \cdot 2700 \cdot 9.81}{0.00000305^2} \cdot \frac{(2700 - 0.77)}{0.77} = 1324014829029 \quad (2.11)$$

$$Re = \frac{1324014829029}{18 + 0.575\sqrt{1324014829029}} = 2001091$$

Швидкість витання дорівнює:

$$U_B = \frac{0.00000305 \cdot 2001091}{2700 \cdot 0.0051} = 0.443 \text{м/с}$$

Звідси постійні a і b рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{-\frac{0.02}{0.443}} = 4.95$$

$$b = 2.75 \cdot 0.443^{0.63} = 1.647$$

Швидкість потоку на виході пневмокласифікатора:

$$W = \frac{b}{a - \lg(Y_M)} = \frac{1.647}{4.95 - \lg 58} = 0.517 \text{ м/с} \quad (2.12)$$

Фракція -5+3 мм

Концентрація дрібної фракції в віднесенні:

$$Y_M = Y_d \cdot X_M, \text{ кг/м}^3 \quad (2.13)$$

де $X_M = 0.483$ – відносний вміст фракції + 0,004 мм в віднесенні.

$$Y_M = 500 \cdot 0.483 = 241.5 \text{ г/м}^3$$

Постійні a і b для пневмокласифікатора з похилими полицями для частинок цільової фракції граничного розміру $d_T = 0,004$ мм, рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{\frac{0.02}{U_B}} \quad (2.14)$$

$$b = 2.75 \cdot U_B^{0.63} \quad (2.15)$$

де U_B – швидкість витання часток даної фракції, знаходиться за формулою:

$$U_B = \frac{\mu Re}{d \rho_m} \quad (2.16)$$

де $\mu = 3.05 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\rho_T = 2700 \text{ кг/м}^3$; Re – критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0.575 \sqrt{Ar}} \quad (2.17)$$

Критерій Архімеда знаходиться за формулою:

$$Ar = \frac{d^3 \rho_T g}{\mu^2} \cdot \frac{(\rho_T - \rho_0)}{\rho_0} = \frac{0.004^3 \cdot 2700 \cdot 9.81}{0.00000305^2} \cdot \frac{(2700 - 0.77)}{0.77} = 638796157269 \quad (2.18)$$

$$Re = \frac{638796157269}{18 + 0.575 \sqrt{638796157269}} = 1397230$$

Швидкість витання дорівнює:

$$U_B = \frac{0.00000305 \cdot 1397230}{2700 \cdot 0.004} = 0.395 \text{ м/с}$$

Звідси постійні a і b рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{-\frac{0.02}{0.395}} = 4.405$$

$$b = 2.75 \cdot 0.395^{0.63} = 1.532$$

Швидкість потоку на виході пневмокласифікатора:

$$W = \frac{b}{a - \lg(Y_M)} = \frac{1.532}{4.405 - \lg 241.5} = 0.758 \text{ м/с} \quad (2.19)$$

Фракція -3+1 мм

Концентрація дрібної фракції в віднесенні:

$$Y_M = Y_d \cdot X_M, \text{ кг/м}^3 \quad (2.20)$$

де $X_M = 0.377$ – відносний вміст фракції + 0,002 мм в віднесенні.

$$Y_M = 500 \cdot 0.377 = 188.5 \text{ г/м}^3 \quad (2.21)$$

Постійні a і b для пневмокласифікатора з похилими полицями для частинок цільової фракції граничного розміру $d_T = 0,002$ мм, рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{-\frac{0.02}{U_B}} \quad (2.22)$$

$$b = 2.75 \cdot U_B^{0.63} \quad (2.23)$$

де U_B – швидкість витання часток даної фракції, знаходиться за формулою:

$$U_B = \frac{\mu Re}{d \rho_m} \quad (2.24)$$

де $\mu = 3.05 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\rho_T = 2700 \text{ кг/м}^3$; Re - критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0.575\sqrt{Ar}} \quad (2.25)$$

Критерій Архімеда знаходиться за формулою:

$$Ar = \frac{d^3 \rho_T g}{\mu^2} \cdot \frac{(\rho_T - \rho_0)}{\rho_0} = \frac{0.002^3 \cdot 2700 \cdot 9.81}{0.00000305^2} \cdot \frac{(2700 - 0.77)}{0.77} = 79849519659 \quad (2.26)$$

$$Re = \frac{79849519659}{18 + 0.575\sqrt{79849519659}} = 493960$$

Швидкість витання дорівнює:

$$U_B = \frac{0.00000305 \cdot 493960}{2700 \cdot 0.002} = 0.279 \text{ м/с}$$

Звідси постійні a і b рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{-\frac{0.02}{0.279}} = 4.011$$

$$b = 2.75 \cdot 0.279^{0.63} = 1.230$$

Швидкість потоку на виході пневмокласифікатора:

$$W = \frac{b}{a - \lg(Y_M)} = \frac{1.230}{4.011 - \lg 188.5} = 0.709 \text{ м/с} \quad (2.27)$$

Фракція -1+0,1 мм

Концентрація дрібної фракції в віднесенні:

$$Y_M = Y_d \cdot X_M, \text{ кг/м}^3 \quad (2.28)$$

де $X_M = 0.021$ – відносний вміст фракції + 0,0005 мм в віднесенні.

$$Y_M = 500 \cdot 0.021 = 10.5 \text{ г/м}^3 \quad (2.29)$$

Постійні a і b для пневмокласифікатора з похилими полицями для частинок цільової фракції граничного розміру $d_T = 0,0005$ мм, рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{-\frac{0.02}{U_B}} \quad (2.30)$$

$$b = 2.75 \cdot U_B^{0.63} \quad (2.31)$$

де U_B – швидкість витання часток даної фракції, знаходиться за формулою:

$$U_B = \frac{\mu R e}{d \rho_m} \quad (2.32)$$

де $\mu = 3.05 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\rho_T = 2700 \text{ кг/м}^3$; Re – критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0.575\sqrt{Ar}} \quad (2.33)$$

Критерій Архімеда знаходиться за формулою:

$$Ar = \frac{d^3 \rho_T g}{\mu^2} \cdot \frac{(\rho_T - \rho_0)}{\rho_0} = \frac{0.0005^3 \cdot 2700 \cdot 9.81}{0.00000305^2} \cdot \frac{(2700 - 0.77)}{0.77} = 1247648745 \quad (2.34)$$

$$Re = \frac{1247648745}{18 + 0.575\sqrt{1247648745}} = 61697$$

Швидкість витання дорівнює:

$$U_B = \frac{0.00000305 \cdot 61697}{2700 \cdot 0.0005} = 0.139 \text{ м/с}$$

Звідси постійні a і b рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{-\frac{0.02}{0.139}} = 3.554$$

$$b = 2.75 \cdot 0.139^{0.63} = 0.793$$

Швидкість потоку на виході пневмокласифікатора:

$$W = \frac{b}{a - \lg(Y_M)} = \frac{0.793}{3.554 - \lg 10.5} = 0.313 \text{ м/с} \quad (2.35)$$

Фракція -0.1 мм

Концентрація дрібної фракції в віднесенні:

$$Y_M = Y_d \cdot X_M, \text{ кг/м}^3 \quad (2.36)$$

де $X_M = 0.003$ – відносний вміст фракції $+ 0,0005$ мм в віднесенні.

$$Y_M = 500 \cdot 0.003 = 1.5 \text{ г/м}^3$$

Постійні a і b для пневмокласифікатора з похилими полицями для частинок цільової фракції граничного розміру $d_T = 0,00009$ мм, рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{-\frac{0.02}{U_B}} \quad (2.37)$$

$$b = 2.75 \cdot U_B^{0.63} \quad (2.38)$$

де U_B – швидкість витання часток даної фракції, знаходиться за формулою:

$$U_B = \frac{\mu Re}{d \rho_m} \quad (2.39)$$

де $\mu = 3.05 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\rho_T = 2700 \text{ кг/м}^3$; Re – критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0.575 \sqrt{Ar}} \quad (2.40)$$

Критерій Архімеда знаходиться за формулою:

$$Ar = \frac{d^3 \rho_T g}{\mu^2} \cdot \frac{(\rho_T - \rho_0)}{\rho_0} = \frac{0.00009^3 \cdot 2700 \cdot 9.81}{0.00000305^2} \cdot \frac{(2700 - 0.77)}{0.77} = 9684739 \quad (2.41)$$

$$Re = \frac{9684739}{18 + 0.575 \sqrt{9684739}} = 5386$$

Швидкість витання дорівнює:

$$U_B = \frac{0.00000305 \cdot 5386}{2700 \cdot 0.00009} = 0.068 \text{ м/с}$$

Звідси постійні a і b рівні:

$$a = 4.95 \cdot 10^{-\frac{0.02}{0.068}} = 2.515$$

$$b = 2.75 \cdot 0.068^{0.63} = 0.506$$

Швидкість потоку на виході пневмокласифікатора:

$$W = \frac{b}{a - \lg(Y_M)} = \frac{0.506}{2.515 - \lg 1.5} = 0.216 \text{ м/с} \quad (2.42)$$

Робоча швидкість повинна бути в межах:

$$U_{Bcp} < W_p < W_{cp} \quad (2.43)$$

Приймаємо $W_p = 0,5 \text{ м/с}$.

У такому разі, максимальна кількість дрібної фракції, що виноситься повітряним потоком з апарату дорівнює:

$$M_{-0.1} = 200 \cdot (0.28 + 0.22) = 100 \text{ кг / год.}$$

Об'ємна витрата повітря:

$$V_B = \frac{100}{0.52} = 192 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.44)$$

Перетин апарату дорівнює:

$$S = \frac{100}{3600 \cdot 0.5} = 0.05 \text{ м}^2 \quad (2.45)$$

Приймаються перетин прямокутником, шириною $B_B=0,1$ м.

2.5 Гідравлічні розрахунки

Гідравлічний опір пневмокласифікатора формується через різні компоненти, а саме загальний опір зваженого шару в міжполочних просторах і поличних контактів:

1. **Загальний опір зваженого шару** пов'язаний з рухом газу та зваженого матеріалу через міжполочні простори. Він залежить від властивостей газу, його швидкості та концентрації зваженого матеріалу.
2. **Поличні контакти** впливають на гідравлічний опір шляхом взаємодії між частинками матеріалу та поверхнею поличок. Вони можуть створювати тертя, вихори та інші гідродинамічні ефекти, які впливають на рух газово-пилового потоку.

Загальний гідравлічний опір пневмокласифікатора може бути визначений за допомогою відповідних математичних моделей та рівнянь, які враховують геометрію апарата, характеристики матеріалів та режими роботи.

$$\Delta P_B = 15n \cdot G_{уд} \cdot (W)^2 = 15 \cdot 3 \cdot 0.97 \cdot 0.40^2 = 6.98 \text{ Па} \quad (2.46)$$

$$\text{де } G_{уд} = 3.5 \cdot \frac{1000}{3600} = 0.97 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

Також втрати напору від тертя транспортованого потоку в сепараційній зоні:

$$\Delta P_T = \lambda_T \cdot \left(\frac{h_c}{D_3}\right) \cdot \left(\frac{\rho_t \cdot W^2}{2}\right) = 12.8 \cdot \left(\frac{1}{1.14}\right) \cdot \left(\frac{1.2 \cdot 0.4^2}{2}\right) = 1.08 \text{ Па} \quad (2.47)$$

де D_3 – еквівалентний діаметр верхньої частини апарату:

$$D_3 = \frac{2L_B + 2B_B}{\pi} = \frac{2 \cdot 1.5 + 2 \cdot 0.3}{3.14} = 1.14 \text{ м} \quad (2.48)$$

λ_T – коефіцієнт опору:

$$\lambda_T = \frac{64}{Re} = \frac{64}{5} = 12.8 \quad (2.49)$$

$$Re = \frac{W \cdot d_T \cdot \rho_t}{\mu_t} = \frac{0.4 \cdot 0.075 \cdot 10^{-3} \cdot 1.2}{0.018 \cdot 10^{-3}} = 5 \quad (2.50)$$

Густина повітря, при $t = 20$:

$$\rho_t = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T} = 1.293 \cdot \frac{273}{273 + 20} = 1.2 \text{ кг/м}^3 \quad (2.51)$$

μ_t – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря.

Втрати напору на підйом матеріалу:

$$\Delta P_{II} = g \cdot \rho_t \cdot h_c \cdot G_p = 9.81 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 0.97 = 11.42 \text{ Па} \quad (2.52)$$

Втрати напору на розгін частинок:

$$\Delta P_p = \frac{G_p \cdot \rho_t \cdot W^2}{2} = \frac{0.97 \cdot 1.2 \cdot 0.4^2}{2} = 0.1 \text{ Па} \quad (2.53)$$

Загальна гідравлічний опір апарату:

$$\Delta P = \Delta P_B + \Delta P_T + \Delta P_{II} + \Delta P_p = 6.98 + 1.08 + 11.42 + 0.1 = 19.58 \text{ Па} \quad (2.54)$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Газодувками називають машини, призначені для переміщення газових середовищ, і в промисловості найбільш поширеними є відцентрові та осьові вентилятори. Зазначимо, що велике застосування знаходять відцентрові вентилятори, які включають в себе широкий спектр тисків, від низького до високого.

Залежно від тиску, який створюють ці вентилятори, їх можна розділити на три основні групи:

1. Низького тиску: тиск до 981 Па. Основне використання: вентиляція, кондиціонування повітря, обслуговування систем вентиляції у приміщеннях.

2. Середнього тиску: тиск від 981 до 2943 Па. Використання: системи кондиціонування та вентиляції в промислових об'єктах, де необхідно середнє значення тиску.

3. Високого тиску: тиск від 2943 до 11772 Па. Застосування: важкі промислові процеси, системи вентиляції в умовах великого опору.

Відцентрові вентилятори включають в себе всі три групи, охоплюючи широкий спектр вимог щодо тиску. З іншого боку, осьові вентилятори, хоча переважно призначені для застосувань з низьким тиском, у рідкісних випадках також можуть забезпечувати середні тиски.

Прийmemo швидкість повітря в трубопроводі $\omega = 15$ м/с.

Тоді діаметр трубопроводу дорівнює:

$$d = \sqrt{4Q / \pi\omega}, \text{ м} \quad (2.55)$$

$$d = \sqrt{4 \cdot 0,8 / 3,14 \cdot 15} = 0,26 \text{ м}$$

Критерій Рейнольдса для потоку в трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{\omega d \rho}{\mu} \quad (2.56)$$

$$\text{Re} = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{15 \cdot 0,26 \cdot 1,101}{2,0 \cdot 10^{-5}} = 214695$$

Прийmemo, що труби сталеві, які були в експлуатації. Тоді $\Delta = 0,15$ мм.

Далі отримаємо:

$$l = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{0,26} = 5,8 \cdot 10^{-4}; \quad \frac{1}{l} = 1724; \quad (2.57)$$

$$10 \cdot \frac{1}{l} = 17240; \quad 560 \frac{1}{l} = 965440 \quad (2.58)$$

$$17240 < \text{Re} = 214695 < 965440$$

Таким чином, розрахунок слід проводити для зони змішаного тертя по формулі:

$$\lambda = 0,11(l + 68/\text{Re})^{0,25} \quad (2.59)$$

$$\lambda = 0,11(5,8 \cdot 10^{-4} + 68/214695)^{0,25} = 0,014$$

Визначимо коефіцієнти місцевих опорів: вхід в трубу (приймаємо з гострими краями): $\xi_1 = 0,5$; засувка: для $d = 0,08$ м $\xi_2 = 0,52$; вихід з труби $\xi_4 = 1$.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\sum \xi = 0,5 + 0,52 + 1 = 2,02 \quad (2.60)$$

Визначаємо гідравлічний опір трубопроводу:

$$\Delta p_n = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{m.c.} \right) \frac{\rho \omega^2}{2}, \text{ Па} \quad (2.61)$$

$$\Delta p_n = \left(0,014 \frac{30}{0,26} + 2,02 \right) \frac{1,101 \cdot 15^2}{2} = 450 \text{ Па}$$

Надмірний тиск, яке має забезпечити вентилятор для подолання гідравлічного опору апарату трубопроводу, так само:

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_n, \text{ Па} \quad (2.62)$$

$$\Delta p = 98 + 450 = 548 \text{ Па}$$

Таким чином, необхідний вентилятор середнього тиску.

Знаходимо його корисну потужність:

$$N_n = \rho g Q H = Q \Delta p, \text{ Вт} \quad (2.63)$$

$$N_n = 0,8 \cdot 548 = 438 \text{ Вт} = 0,438 \text{ кВт}$$

Приймаємо $\eta_{nep} = 1$ і $\eta_n = 0,6$, отримуємо:

$$N = N_n / (\eta_n \cdot \eta_{nep}), \text{ кВт} \quad (2.64)$$

$$N = 0,438 / 0,6 = 0,73 \text{ кВт}$$

Вибір газодувки Ц13-50 № 4 з параметрами $Q = 3000 \text{ м}^3/\text{год.}$ та $\Delta p = 1000 \text{ Па}$ є обґрунтованим для вказаних потреб. Газодувки мають номінальну потужність $N = 1,8 \text{ кВт}$ та працюють на частоті обертання 1300 об/хв.

Ці параметри вказують на те, що обрані газодувки здатні ефективно обслуговувати систему припливу газу з об'ємом 3000 м³ за годину та здатні створювати достатній тиск (1000 Па) для необхідного процесу або системи вентиляції.

Зазначені номінальна потужність та частота обертання свідчать про економічність та продуктивність газодувок, а їхні технічні характеристики відповідають зазначеним вимогам.

Циклони різних типів отримали широке застосування для сухого очищення повітряного потоку від пилу. На сьогодні існує близько двадцяти типів циклонів, проте порівняльні випробування свідчать про те, що в більшості випадків для промислового застосування найбільш оптимальними є циліндричні і конічні циклони, зокрема, марки ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24 для циліндричних та СК ЦН-34, СК ЦН-34М, СДК ЦН-33 для конічних циклонів, розроблених Науково-дослідним інститутом по промислового та санітарному очищенню газів (НИИОГАЗ).

Геометричні розміри циліндричних і конічних циклонів вказуються в частках від внутрішнього діаметра, що визначає їхню ефективність та придатність для конкретних умов експлуатації. Застосування таких циклонів дозволяє ефективно очищати повітря від пилу, забезпечуючи оптимальний баланс між продуктивністю та якістю очищення.

Вибираючи для розрахунків циклон конструкції НПОГАЗ, слід враховувати швидкість входу повітря в апарат. Це може бути визначено за допомогою площі перетину вхідного патрубку апарату, яка грає ключову роль у формуванні потоку. Площа перетину вхідного патрубку циклону визначається геометричними характеристиками самого апарату. Вона може бути визначена як площа круглого або прямокутного патрубку, залежно від конкретної конструкції циклону.

Для точного розрахунку швидкості входу повітря і визначення площі перетину патрубку рекомендується використовувати конкретні геометричні та аеродинамічні параметри обраного циклону від НПОГАЗ.

$$f = bh = \frac{V_{сек}}{\omega_{вх}}, \text{ м}^2 \quad (2.65)$$

$$f = \frac{2850}{3600 \cdot 20} = 0,039 \text{ м}^2$$

Для обраного циклону, $h = 3,14b$ тоді $f = 3,14b^2 \frac{V_{сек}}{\omega_{вх}}$ отже:

$$b = 0,565 \sqrt{\frac{V_{сек}}{\omega_{вх}}} = 0,565 \cdot \sqrt{f}, \text{ м} \quad (2.66)$$

$$b = 0,565 \sqrt{0,039} = 0,111 \text{ м.}$$

Орієнтовне значення діаметра циклону:

$$D = 1,65b, \text{ м} \quad (2.67)$$

$$D = 1,65 \cdot 0,111 = 0,18 \text{ м.}$$

Прийнявши окружну швидкість газу $\omega_2 = 12 \text{ м} / \text{с}$, розраховуємо орієнтовне значення фактора поділу:

$$\Phi_p = \frac{\omega_2^2}{gR} = \frac{2\omega_2^2}{gD} \quad (2.68)$$

$$\Phi_p = \frac{2 \cdot 12^2}{9,81 \cdot 0,18} = 163.$$

Вважаючи, що осадження дрібних твердих частинок пилу заданих розмірів підпорядковується закону Стокса, підраховуємо швидкість осадження частинок з урахуванням виразу:

$$\omega_0 = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_2)g\Phi_p}{18\nu_2\rho_2}. \quad (2.69)$$

Цей вираз вводить фізичні параметри системи, такі як густина частинок, їх діаметр, в'язкість рідини і інші, для обчислення швидкості осадження частинок в середовищі. Зверніть увагу, що цей вираз може бути застосований лише в тих умовах, де закон Стокса є застосовним, тобто при низьких числах Рейнольдса та умовах плоского течії.

$$\omega_0 = \frac{(5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2250 - 1,1) \cdot 9,81 \cdot 163}{18 \cdot 12,02 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1} = 0,38 \text{ м/с.}$$

Перевіряємо правильність застосування цієї формули за рівнянням:

$$\text{Re} = \frac{\omega_0 d}{\nu_2} = \frac{0,38 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{12,02 \cdot 10^{-6}} = 0,15 < 0,2 \quad (2.70)$$

Прийнявши швидкість газу в вихлопній трубці $\omega_m = 5 \text{ м/с}$, визначимо її внутрішній діаметр:

$$d_m = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{сек}}}{\omega_m}}, \text{ м} \quad (2.71)$$

$$d_m = 1,13 \sqrt{\frac{2850}{3600 \cdot 5}} = 0,44 \text{ м.}$$

а потім і зовнішній діаметр:

$$D_1 = d_m + 2\delta, \text{ м} \quad (2.72)$$

де $\delta = 0,005 \text{ м}$ – товщина стінки вихлопної труби.

$$D_1 = 0,44 + 2 \cdot 0,005 = 0,45 \text{ м.}$$

Діаметр циклону:

$$D = \frac{D_1}{1 - 10 \frac{\omega_{oc}}{\omega_2}}, \quad (2.73)$$

$$D = \frac{0,45}{1 - 10 \cdot \frac{0,38}{12}} = 0,65 \text{ м.}$$

Можна прийняти підрахована раніше орієнтовне значення діаметра циклону $D = 650$ мм. Відповідно до рекомендацій підраховуємо висоту циліндричні частини циклону:

$$h_1 = 7,6b, \text{ м} \quad (2.74)$$

$$h_1 = 7,6 \cdot 0,111 = 0,84 \text{ м.}$$

Висота конічної частини складе:

$$h_2 = 9,5b, \text{ м} \quad (2.75)$$

$$h_2 = 9,5 \cdot 0,111 = 1,05 \text{ м.}$$

Гідравлічний опір циклону:

$$\Delta p = \xi_u \frac{\omega_{oc}^2 \rho_2}{2g}, \text{ кгс/м}^2 \quad (2.76)$$

$$\Delta p = 7 \cdot \frac{20^2 \cdot 1,1}{2 \cdot 9,81} = 156 \text{ кгс/м}^2.$$

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [12, 13]

Вибір матеріалів для виготовлення хімічних апаратів та машин є критичним і повинен базуватися на ряді факторів, включаючи робочий тиск, хімічну агресивність середовища, температурні умови, механічні навантаження та інші. Один із способів визначення придатності матеріалу – це використання галузевих стандартів і нормативів.

Розглянемо деякі ключові аспекти, які слід враховувати при виборі матеріалу:

- 1. Хімічна стійкість.** Матеріал повинен бути стійким до хімічної агресії робочого середовища.
- 2. Міцність та тривкість.** Матеріал повинен мати високу міцність і тривкість для того, щоб витримувати механічні навантаження та тиск.
- 3. Температурна стійкість.** Матеріал повинен залишатися стійким та надійним при робочих температурах.
- 4. Еластичність та розтяжка.** Врахування можливості деформації та розтягування матеріалу при зміні температур та навантажень.
- 5. Можливість обробки.** Важливо враховувати, наскільки легко матеріал можна обробляти та з'єднувати.

Отже, вибір матеріалів для конструкції хімічних апаратів – це складний і відповідальний процес, який враховує ряд факторів. Корозійна стійкість є однією з ключових характеристик, що визначає довговічність матеріалу в агресивних хімічних середовищах.

Для виготовлення хімічної апаратури використовують конструкційні матеріали, швидкість корозії яких не перевищує 0,1–0,5 мм/рік. Зазвичай вибирають матеріали, що мають високий рівень стійкості до корозії. Під швидкістю корозії металів розуміють проникнення корозії в глибину металу,

що розраховується на основі даних втрати маси після видалення продуктів корозії.

Для практичного розрахунку коробчастих обичайок рекомендується використовувати спрощену методику, де кожна з чотирьох прямокутних плоских стінок, утворюючи обичайку, розглядають як пластину, яка однаково навантажена тиском. Цей підхід дозволяє отримати достатньо точні результати для практичних потреб. Розглядаючи обичайку як пластину, рівномірно збуджену тиском, дозволяє легше враховувати та аналізувати її механічну стійкість.

Для виготовлення основних деталей та вузлів пневматичного класифікатора використовуємо сталь Ст3. Загалом матеріал призначений для використання в несучих і не несучих елементах конструкцій, які можуть бути як зварними, так і незварними. Використовується для створення деталей та конструкцій, що працюють при позитивних температурах. Фасонний і листовий прокат категорії 5 товщиною до 10 мм використовується для несучих елементів зварних конструкцій, які піддаються змінним навантаженням в інтервалі від -40°C до $+425^{\circ}\text{C}$. Прокат товщиною від 10 до 25 мм використовується для несучих елементів зварних конструкцій, які працюють при температурах від -40°C до $+420^{\circ}\text{C}$.

Вибір прокладкового матеріалу залежить від ряду важливих факторів, таких як робоче середовище, температурні умови, тиск і хімічна сумісність з використовуваними реагентами. Гума (каучук) добре справляється з агресивними хімічними речовинами і може мати високу теплостійкість, залежно від конкретного типу гуми. Важливо вибрати гуму, яка витримає потрібні температурні та хімічні умови. Тефлон відомий своєю високою хімічною стійкістю та відмінною термостійкістю. Тефлон добре підходить для корозійностійких умов.

Фторопласт схожий на тефлон, але має кращі механічні властивості. Використовується в умовах високих температур і хімічної агресії. Епоксидні смоли можуть бути стійкими до хімічних речовин і мати високу механічну

міцність. Важливо вибрати ті епоксиди, які відповідають конкретним умовам експлуатації.

Обираючи прокладковий матеріал, важливо звертати увагу на умови конкретного процесу і вибирати матеріали, які найкраще відповідають цим умовам. Вибір безасбестового пароніту для нашого випадку є раціональним рішенням з огляду на його безпеку для здоров'я та навколишнього середовища. Безасбестовий пароніт, як правило, виготовляється за допомогою волокон або інших матеріалів, які не мають канцерогенних властивостей, що є важливим аспектом з точки зору охорони здоров'я.

3.2 Розрахунки на міцність та стійкість [12, 13]

Визначаємо нормативне допустиме напруження для сталі Ст3 за межею плинності:

$$\sigma^* = \frac{\sigma_m^t}{n_m} = \frac{228}{2,1} = 114 \text{ МПа} \quad (2.77)$$

де $\sigma_m = 228$ МПа для сталі Ст3 при температурі $t = 20^\circ\text{C}$;

$n_m = 2,1$ – значення запасу міцності.

Визначаємо номінальне допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta = 114 \cdot 1,0 = 114 \text{ МПа} \quad (2.78)$$

де $\eta = 1,0$ – поправковий коефіцієнт, що враховує вид заготовки.

Відношення довжини до ширини окремих плоских елементів стінки $l/b = 2,1$. Вважаючи елемент стінки жорстко закріпленим по периметру, знаходимо величину коефіцієнта K для $l/b = 2,1$: $K = 0,4$.

Номінальну розрахункову товщину стінки визначаємо за формулою:

$$s' = Kb \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}}, \quad (2.79)$$

$$s' = 0,4 \cdot 0,134 \sqrt{\frac{1}{114}} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5 \text{ мм}$$

Для розрахунку фланцевого з'єднання апарату спочатку визначаємо діаметр болтів:

$$d_{\sigma} = 0,125 \cdot \left[\sqrt{(L_n + B_n)^2 + 37 \frac{P_{\sigma}}{\sigma_T \eta}} - (L_n + B_n) \right], \quad (2.80)$$

де L_n, B_n – середні поздовжній і поперечний розміри фланця, м.

$\eta = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вид заготовки.

σ_T – межа плинності, для сталі Ст3 при температурі 20°C, МПа

P_{σ} – розтяжне зусилля в болтах, Н.

P_c – тиск середовища, Н;

P_n – сила стиснення прокладки, Н.

$$P_c = 1,2kL_nB_n p_u, \text{ Н} \quad (2.81)$$

де L_n, B_n – середні поздовжній і поперечний розміри фланця;

$k = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, щодо типів фланців;

P_u – внутрішній тиск випробування, Па

$$P_c = 1,2 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 0,1 \cdot 10^6 = 0,054 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$P_n = L_n b_n q, \text{ Н} \quad (2.82)$$

де L_n – довжина ущільнюваної поверхні, м;

b_s – ефективна ширина ущільнення, $b_s = 0,014$ м;

q – питома навантаження на площу ущільнення, $q = 4,57 \cdot 10^6$ Н/м².

$$P_n = 1,5 \cdot 0,014 \cdot 4,57 \cdot 10^6 = 0,095 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$P_o = 0,054 + 0,95 = 0,15 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$d_o = 0,125 \cdot \left[\sqrt{(1,5 + 0,3)^2 + 37 \frac{0,15 \cdot 10^6}{240 \cdot 10^6 \cdot 1}} - (1,5 + 0,3) \right] = 0,0008 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр болтів 6 мм, вибираємо стандартний болт М18-6g x 25.

Кількість болтів:

$$z = 1,2 \frac{P_o}{kF_o\sigma}, \quad (2.83)$$

де P_o – розтяжне зусилля в болтах, Н;

F_o – площа поперечного перетину болта по внутрішньому діаметру різьби;

σ – допустимі напруження при розтягуванні, $\sigma = 130$ МН/м².

$$z' = 1,2 \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,28 \cdot 10^{-4} \cdot 130 \cdot 10^6} = 41$$

Приймаємо кількість болтів $z = 41$ шт.

Розрахункові відстані між крайніми осями болтів:

$$L_o = L_{nn} + 1,6d_o \quad (2.84)$$

$$B_{\bar{o}} = B_{nn} - 1,6d_{\bar{o}} \quad (2.85)$$

де L_{nn}, B_{nn} – зовнішні розміри ущільнення, м.

$$L_{\bar{o}} = 1,5 + 1,6 \cdot 0,0018 = 1,5288 \text{ м}$$

$$B_{\bar{o}} = 0,3 - 1,6 \cdot 0,0018 = 0,2712 \text{ м}$$

Розрахункове число болтів виходячи з максимального кроку:

$$t = 5d_{\bar{o}} = 5 \cdot 0,0018 = 0,09 \text{ м.} \quad (2.86)$$

$$z = \frac{2(L_{\bar{o}} + B_{\bar{o}})}{t}, \text{ шт.} \quad (2.87)$$

$$z' = \frac{2(1,5288 + 0,2712)}{0,088} = 41 \text{ шт.}$$

Товщину фланця визначаємо за рівнянням:

$$h = 2,45 \sqrt{\frac{P_{\bar{o}} l z}{(L_{\bar{z}} + B_{\bar{z}} + L_n + B_n) \sigma_{\text{до}} z'}}, \quad (2.88)$$

де L_n, B_n – середні поздовжній і поперечний розміри ущільнення, м;

$L_{\bar{z}}, B_{\bar{z}}$ – середні поздовжній і поперечний розміри горловини, м;

l – плече згинального моменту, м;

$\sigma_{\text{до}}$ – допустиме напруження при згинанні, МН/м²;

z, z' – число болтів, теоретичне і розрахункове відповідно.

Плече згинального моменту:

$$l = \frac{L_6 - 0,5(L_2 + B_2)}{2} \quad (2.89)$$

$$l = \frac{1,5288 - 0,5(0,156 + 0,360)}{2} = 0,6354 \text{ м}$$

$$h = 2,45 \sqrt{\frac{0,15 \cdot 10^6 \cdot 0,6354 \cdot 49}{(0,156 + 0,360 + 1,5 + 0,3)140 \cdot 10^6 \cdot 49}} = 0,019 \text{ м}$$

Приймаємо товщину фланця $h = 5$ мм

Середня довжина ущільнюваної поверхні:

$$L_{cp} = 2(L_6 + b) + 2(B_6 + b) \quad (2.90)$$

де L_6, B_6 – середні поздовжній і поперечний розміри ущільнення, м;

b – ширина прокладки, м.

$$L_{cp} = 2(0,156 + 0,02) + 2(0,360 + 0,02) = 1,11 \text{ м}$$

Ефективна ширина ущільнення:

$$b_s = 3,16\sqrt{b} \quad (2.91)$$

$$b_s = 3,16\sqrt{30} = 0,017 \text{ м}$$

Питома навантаження на прокладку:

$$q = (1,7p + 1,5) \cdot 10^6 \quad (2.92)$$

де p – тиск в апараті.

$$q = (1,7 \cdot 0,09 + 1,5) \cdot 10^6 = 1,65 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

Розрахункова сила осьового стиснення прокладки:

$$P_n = L_{cp} b_3 q \quad (2.93)$$

$$P_n = 1,11 \cdot 0,017 \cdot 1,65 = 3,1 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання [14]

Установку слід компонувати так, щоб забезпечити належну вентиляцію, доступ до систем пожежогасіння, дотримання вимог щодо уникнення викидів та можливостей для рятування в разі аварійних ситуацій. Забезпечення можливості технічного контролю та обслуговування обладнання – це важливий аспект. Обладнання повинно бути розташовано так, щоб фахівці могли легко здійснювати інспекції, обслуговування та ремонт в разі необхідності.

Оптимізація використання простору може зменшити витрати на будівництво та експлуатацію. Розташування обладнання повинно дозволити максимально використовувати наявний простір.

Важливо враховувати економічні аспекти при компонуванні обладнання. Оптимізація розташування обладнання і систем підйому/транспортування може зменшити витрати на будівництво та експлуатацію. При компонуванні обладнання слід думати про спрощення процесів та мінімізацію зайвих операцій. Це може покращити продуктивність та знизити витрати.

Розміщення обладнання слід планувати з урахуванням можливостей постачання матеріалів та транспортування виробленої продукції.

За функціональним призначенням промислові будівлі поділяють на декілька категорій в залежності від їхнього призначення та функціональних завдань:

1. Виробничі будівлі. Ці будівлі призначені для виробництва готової продукції або напівфабрикатів. Вони можуть включати в себе цехи, лінії виробництва, обладнання та приміщення для виробничого процесу.

2. Підсобно-виробничі будівлі. Ця категорія включає в себе будівлі для експериментів, інструментальні майстерні, ремонтні майстерні та інші приміщення, які служать для підтримки виробничого процесу.

3. Енергетичні будівлі. Сюди входять будівлі та споруди, призначені для енергопостачання підприємства, такі як котельні, теплоелектроцентрали (ТЕЦ), компресорні станції та інші енергетичні об'єкти.

4. Складські та транспортні будівлі. Ці споруди використовуються для зберігання сировини, готової продукції, транспортування товарів та інших логістичних функцій.

5. Санітарно-технічні будівлі. Сюди входять насосні станції, очисні споруди та інші об'єкти, які служать для забезпечення санітарних та технічних потреб.

6. Допоміжні будівлі. Ця категорія включає в себе приміщення для керівництва підприємством, конструкторські бюро, медичні пункти та навчальні приміщення.

Для оптимізації загального компонування і планування обладнання лінії виробництва суперфосфату, важливо дотримуватися певної послідовності етапів.

На початковому етапі проводиться попереднє розташування основних відділень цеху, і це відбувається без детального планування обладнання. Цей етап базується на узагальнених техніко-економічних оцінках або на даних, отриманих з аналогічних проектів.

Другий етап включає в себе детальне планування обладнання для кожного відділення цеху, враховуючи розроблену технологію виробництва та уточнені розміри площ відділень. Основні кроки цього етапу включають:

- детальний аналіз кожного етапу технологічного процесу для визначення обладнання та його розташування;
- здійснення уточненого розрахунку площ для кожного відділення, враховуючи конкретні технічні вимоги та вимоги безпеки;
- максимізація ефективності шляхом розташування відділень так, щоб вони були максимально близькі до попереднього варіанту загального компонування цеху;

- детальне розташування кожного обладнання в межах відділення з урахуванням оптимальної логістики та можливостей технічної інтеграції;
- гарантування, що розташування обладнання і приміщень відповідає вимогам ергономіки та безпеки працівників.

Третій етап представляє собою узагальнену компоновку та планування всього цеху із врахуванням уточнених площ, які були отримані на другому етапі під час планування обладнання для кожного відділення. Цей етап є логічним завершенням попередніх робіт, виконаних на перших двох етапах, і визначає остаточну конфігурацію та розташування всіх елементів цеху.

Із урахуванням усіх розглянутих аспектів та визначень для технологічного процесу виробництва гранульованого суперфосфату було обрано закритий варіант компоновання цеху. Для оптимального функціонування та забезпечення високої ефективності виробництва вирішено розмістити цей цех в будівлі ангарного типу.

Закритий варіант компоновання цеху виробництва суперфосфату вказує на те, що система використовується для повторного використання та рециркуляції реагентів та вихідних матеріалів, а також для управління та зменшення викидів в атмосферу. Закритий процес дозволяє оптимізувати використання ресурсів і зменшує негативний вплив виробництва на навколишнє середовище.

Вимоги до ремонту мають значний вплив на компоновку промислового об'єкта і враховують різноманітні області технічного обслуговування та ремонту обладнання. Основні пункти цих вимог можна резюмувати наступним чином:

1. Відведення додаткової площі навколо дробарок, стрічкових транспортерів та інших машин для ефективного та безпечного проведення обслуговування та ремонтних робіт.
2. Розміщення металевих площадок із драбинами для зручного доступу до обладнання на висоті під час чищення, ремонтних та обслуговувальних робіт.

3. Встановлення відповідних майданчиків для усунення нещільності фланцевих з'єднань, підтяжки сальників і заміни деталей.
4. Розміщення підйомно-транспортних механізмів для ефективної заміни зношених деталей, що може включати в себе встановлення підйомних пристроїв та майданчиків для зручності обслуговування.

Ці вимоги створюють необхідність у виваженому плануванні робочих просторів, облаштуванні безпечних доступів та встановленні необхідного обладнання для проведення ремонтних та обслуговувальних процесів, забезпечуючи тим самим ефективність та безпеку промислового об'єкта.

При розміщенні технологічного обладнання акцентується на оптимізації початкових капітальних вкладень за рахунок раціонального використання простору. Це досягається шляхом мінімізації обсягу будівельних споруд і зменшення протяжності трубопроводних комунікацій. Ефективний спосіб досягнення цієї мети – розташування обладнання на мінімальній відстані один від одного, що зазвичай розраховується з урахуванням необхідного проходу між апаратами та машинами. Типовою величиною для цього проходу є 0,8 метра, щоб забезпечити комфортні умови обслуговування та технічного обслуговування.

Важливо зауважити, що основні проходи, які використовуються для фронту обслуговування і розміщення між рядами машин, повинні мати ширину не менше 2 метрів. Це сприяє зручному переміщенню персоналу та забезпечує ефективний доступ до обладнання. Такий підхід сприяє оптимальному використанню простору і водночас сприяє зменшенню витрат на будівництво та експлуатацію промислового об'єкта.

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання [15, 16]

При монтажі технологічного обладнання на підприємствах хімічної промисловості великої уваги приділяється дотриманню вимог безпеки,

визначених СНиП III-4-8 «Техніка безпеки в будівництві». Ключовим чинником, що визначає безпечність монтажних робіт, є виконання виробничої та трудової дисципліни.

Трудова дисципліна охоплює дотримання правил, що регулюють взаємовідносини між працівниками під час спільної праці. Вона також передбачає дотримання правил внутрішнього розпорядку та режимів праці і відпочинку. Виробнича дисципліна включає в себе виконання діючих норм техніки безпеки, технологічної дисципліни, а також правил експлуатації обладнання, ручних машин та інструментів.

Особи, що беруть участь у монтажних роботах, повинні відповідати визначеним критеріям: досягти 18-річного віку, пройти медичний огляд, отримати навчання з правил техніки безпеки, мати посвідчення про перевірку знань та пройти інструктаж з техніки безпеки безпосередньо на робочому місці. Ці заходи сприяють створенню безпечного робочого середовища та запобіганню можливим ризикам та нещасним випадкам під час монтажу обладнання.

Сепаратор (класифікатор) розміщується вертикально на попередньо підготовленому бетонному фундаменті або металевій площадці з уживанням анкерів для надійного закріплення опор. Важливо забезпечити точність установки, виключити будь-яке зависання сепаратора на підвідних і відвідних трубопроводах.

Після успішної установки сепаратора на опорні конструкції необхідно провести ряд додаткових заходів. По-перше, рекомендується відмінити транспортну упаковку та встановити контрольно-вимірювальні прилади та запобіжні пристрої. Також важливо здійснити ефективну обв'язку трубопроводами, щоб забезпечити правильну роботу сепаратора.

При проектуванні установки слід передбачити вільний, легкий і безпечний доступ до сепаратора для подальшого обслуговування та проведення ремонтних робіт. Це включає в себе не лише забезпечення простору навколо сепаратора, але й створення необхідних умов для зручності обслуговування та проведення ремонтних заходів.

Під час обслуговування сепаратора, яке проводиться обслуговуючим персоналом кожні три дні, важливо виконувати ряд ключових завдань для забезпечення ефективності його роботи та попередження можливих проблем. Серед основних обов'язків обслуговуючого персоналу можуть бути:

- 1. Огляд та аналіз роботи сепаратора.** Перевірка загального стану сепаратора, огляд компонентів та елементів для виявлення можливих відхилень чи пошкоджень.
- 2. Заміна фільтрів і витратних матеріалів.** Проведення заміни фільтрів та інших витратних матеріалів, якщо це передбачено в експлуатаційному графіку.
- 3. Прибирання та очищення.** Усунення забруднень та осаджень, які можуть негативно впливати на ефективність роботи сепаратора.
- 4. Регулювання параметрів.** Перевірка та, за необхідності, регулювання параметрів роботи сепаратора для оптимізації його функціонування.
- 5. Вимірювання показників.** Збір та аналіз показників роботи сепаратора, таких як тиск, температура, обсяг продукції і інші.
- 6. Маслозаміна.** Заміна мастил та смазок відповідно до регламенту експлуатації.
- 7. Перевірка стану системи безпеки.** Перевірка та тестування системи безпеки для забезпечення відповідності її функціонуванню стандартам та нормативам.

Проведення ремонту і обслуговування сепаратора є ключовим аспектом забезпечення його ефективності та тривалого терміну служби. Своєчасні роботи з ремонту і обслуговування дозволяють уникнути виникнення серйозних поломок і забезпечують безперебійну роботу обладнання. Основні принципи та завдання цих процесів можна сформулювати наступним чином:

1. Створення чіткого плану, який визначає періодичність та обсяг робіт з ремонту та обслуговування.
2. Регулярні перевірки та технічне обслуговування обладнання відповідно до розробленого графіка.

3. Періодична заміна деталей, які піддаються зносу або мають обмежений термін служби, для підтримання ефективності сепаратора.
4. Вчасне виявлення можливих несправностей та їх усунення перед виникненням серйозних проблем.
5. Планування та виконання капітального ремонту з урахуванням зносу обладнання та його технічного стану.
6. У випадку сепараторів, обладнаних електронікою, важливо оновлювати програмне забезпечення для оптимізації роботи та усунення можливих програмних помилок.
7. Ведення точної документації щодо проведених робіт, виявлених несправностей та заходів, вжитих для їх усунення. Аналіз цієї інформації може допомогти вдосконалити план ремонтів та обслуговування.

Важливо дотримуватися високих стандартів техніки безпеки при ремонті сепаратора та його елементів, особливо тих, які знаходяться під тиском. Застосування відповідних заходів безпеки є ключовим для запобігання аваріям та забезпечення безпечної роботи персоналу. Перед початком робіт всередині сепаратора важливо його відділити від інших посудин, з'єднаних спільним трубопроводом, за допомогою заглушок або від'єднання. Від'єднані трубопроводи також повинні бути заглушені. Застосовані для відключення сепаратора заглушки повинні мати відповідну міцність та обов'язково мати виступаючу частину (хвостовик), яка вказує на наявність заглушки.

При внутрішньому огляді сепаратора використовуйте безпечні світильники з напругою не вище 12 В. Це допомагає уникнути потенційних небезпек від іскріння та електричних ризиків. Перевірка внутрішнього стану сепаратора проводиться газоаналізатором, що допомагає виявити можливі небезпечні речовини чи умови всередині.

Роботи всередині сепаратора можуть бути виконані лише після оформлення наряду-допуску, який містить всю необхідну інформацію та вказівки для безпечного виконання робіт. Процедура оформлення наряду-

допуску передбачає дотримання кількох важливих етапів. Відповідальна особа повинна заповнити наряд-допуск, вказавши всі необхідні деталі, такі як опис робіт, місце робіт, визначення відповідальної особи тощо. У наряді-допуску має бути чітко вказано ім'я та посаду відповідальної особи, яка керуватиме роботами всередині сепаратора. Наряд-допуск повинен містити важливі вказівки з техніки безпеки, включаючи заходи захисту, необхідні інструменти та обладнання, а також інструкції щодо екстрених ситуацій.

Після заповнення наряд-допуску він повинен бути підписаний всіма відповідальними особами, які залучені до процесу. Це може включати представників виробничого підприємства, технічних експертів і робітників. Встановлення механізму контролю за дотриманням усіх вказівок та вимог, зазначених у наряді-допуску.

Після завершення ремонтних робіт на сепараторі відповідальні особи, які відповідають за його справний стан та безпечну експлуатацію, повинні негайно повідомити контролюючі органи для проведення позачергового опосвідчення. Це важливий крок аби переконатися в тому, що всі проведені роботи відповідають встановленим стандартам та вимогам техніки безпеки.

Оперативно після завершення робіт відповідальні особи повинні скласти звіт, який містить інформацію про виконані роботи, замінені частини, результати технічного обстеження та інші важливі дані. Відповідальні особи повинні негайно зв'язатися з контролюючими органами, надіславши їм звіт та запрошення на проведення опосвідчення.

Після отримання повідомлення контролюючі органи повинні скористатися запрошенням для організації позачергового опосвідчення. Координація і взаємодія з цими органами важлива для ефективності процесу перевірки. Під час опосвідчення представники контролюючих органів перевіряють справність та безпеку сепаратора, переконуються в якості виконаних робіт та відповідності їх стандартам і нормативам.

Якщо під час опосвідчення виявляються недоліки чи відхилення, відповідальні особи повинні вжити заходів для їх усунення та вдосконалення справного стану сепаратора.

5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу [17]

Автоматизовані системи управління та контролю технологічними процесами (АСУТП) стали необхідністю в усіх галузях промисловості. Їх впровадження вносить суттєві покращення у керування та моніторинг виробничих процесів:

- АСУТП дозволяє автоматизовано контролювати і керувати різними аспектами виробництва, забезпечуючи оптимальний режим роботи;
- автоматизація процесів дозволяє зменшити вплив людського фактора на виробництво, зменшуючи ймовірність помилок та підвищуючи точність операцій;
- АСУТП спрямовані на оптимізацію використання ресурсів, таких як енергія, сировина та робоча робота, що призводить до зменшення витрат;
- автоматизовані системи дозволяють стабілізувати технологічні параметри, що призводить до підвищення якості виробленої продукції;
- АСУТП надають можливість в реальному часі моніторити стан обладнання та процесів, а також генерувати звіти для аналізу та планування;
- автоматизація дозволяє зменшити потребу в робочій силі, оскільки багато задач може бути виконано автоматично.

Структура автоматизованої системи управління включає три основні рівні, кожен із яких відповідає за конкретні функції та компоненти системи.

Перший рівень – низький, який є фізичним і безпосередньо взаємодіє з виробничим процесом. Сюди відносять:

1. Датчики – пристрої призначені для збору реальних даних з виробничого середовища, вимірюючи параметри, такі як температура, тиск, рівень рідини тощо.
2. Виконавчі механізми відповідають за виконання конкретних команд у виробничому процесі. Це можуть бути насоси, мотори, клапани та інші рухомі частини обладнання.
3. Первинні перетворювачі служать для перетворення фізичних сигналів, отриманих від датчиків, у вхідні дані для системи управління.
4. Вторинні перетворювачі відповідають за додаткову обробку та опрацювання сигналів, підготовку їх для подальшого використання в системі.

Другий рівень – середній. Цей рівень відповідає за логіку управління та обробку інформації, отриманої з першого рівня. Основні компоненти цього рівня включають програмовані контролери (ПЛК) – спеціалізовані пристрої, які виконують програми управління, регулюючи виконавчі механізми на основі отриманої інформації від датчиків.

Третій рівень – верхній. Цей рівень відповідає за вищий рівень управління і має більші можливості для обробки та аналізу даних. Ключовий компонент – електронні обчислювальні машини (ЕОМ). Комп'ютери та сервери, які обробляють великі обсяги інформації, приймають управляючі рішення та забезпечують відстеження та моніторинг всіх компонентів системи.

Виробництво гранульованого суперфосфату включає комплексну технологічну схему, де контрольовані параметри грають важливу роль у забезпеченні якісного та ефективного виробництва. Забезпечення високої якості та визначення характеристик фосфатної сировини, таких як рівень розчинення фосфору, хімічний склад, наявність домішок є обов'язковим моментом. Також ключовим параметром є забезпечення оптимальної температури під час хімічної реакції для досягнення максимальної конверсії фосфатів у суперфосфат.

Далі наведемо допоміжні, але не менш важливі параметри:

- контроль рН середовища – стеження за рівнем кислотності для забезпечення оптимальних умов для хімічної реакції;
- розмір та форма гранул – контроль розміру та форми гранул суперфосфату для забезпечення відповідності стандартам і визначення їхнього впливу на розчинення;
- температура сушіння – контроль температури процесу сушіння для уникнення перегріву та забезпечення збереження якості гранул;
- температура охолодження – забезпечення оптимальної температури при охолодженні гранул для підтримання їхньої стабільності;
- визначення вмісту фосфору, розчинення в воді, кислотну реакцію та інших параметрів для забезпечення високої якості продукції.

Також обов'язкові є забезпечення безпечних умов праці та виробництва, контроль рівнів шкідливих речовин в атмосфері та продукції. Ці контрольовані параметри дозволяють забезпечити стабільність виробництва, високу якість готового продукту та дотримання нормативів безпеки та екології.

Виробництво гранульованого суперфосфату демонструє впровадження сучасних технологій та автоматизованих систем управління, що визначає важливий крок у напрямку ефективності та якості виробництва. Автоматизовані контролери дозволяють стабільно та надійно керувати різними етапами технологічного процесу. Автоматичне регулювання та моніторинг параметрів зменшують ймовірність помилок та забезпечують безперебійну роботу.

Контролери забезпечують високу точність вимірювань та регулювання, що впливає на якість та однорідність готового продукту. Це особливо важливо в хімічному виробництві, де дотримання точних пропорцій та умов реакцій є ключовим чинником.

Автоматизація процесів дозволяє оптимізувати роботу обладнання, зменшує час циклу виробництва та сприяє ефективнішому використанню ресурсів. Інтеграція з ПК дозволяє віддалено відслідковувати та керувати параметрами виробництва. Це забезпечує операторам зручний та швидкий доступ до інформації.

5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання [17, 18]

Програмовані логічні контролери (ПЛК) є високотехнологічними пристроями, спроектованими для виконання різноманітних функцій, які включають збір, трансформацію, обробку та зберігання інформації, а також видачу точних команд для управління різними процесами. Ці універсальні пристрої базуються на передовій мікропроцесорній техніці і ефективно використовуються в локальних та розподілених системах управління, дотримуючись передбаченої програми.

Від зручних та компактних ПЛК для невеликих завдань до потужних та високошвидкісних систем, ці пристрої відповідають найвищим стандартам якості та функціональності. Їх витончена інтеграція в сучасні мережеві рішення дозволяє задовольняти найвимогливішим замовникам, забезпечуючи вичерпні можливості для реалізації найсучасніших концепцій в розподілених системах управління та контролю.

ПЛК не тільки виконують функції збору та обробки даних, але й стають центральним елементом для взаємодії з іншими компонентами автоматизованої системи. Їх здатність працювати в режимі реального часу забезпечує точне та надійне управління різноманітними виробничими процесами.

Широкий спектр функцій, які вони виконують, включає у себе ефективний контроль, взаємодію з іншими пристроями, забезпечення безперебійної роботи та зменшення впливу людського фактора на виробничі операції. Це робить ПЛК ключовим інструментом для автоматизації та оптимізації виробничих процесів у різних галузях промисловості.

ПЛК виробництва компанії Mitsubishi Electric представляють сучасні та ефективні засоби автоматизації, які можуть бути успішно використані на різних рівнях управління технічними системами. Залежно від конкретного завдання, ці контролери можуть функціонувати як на рівні управління окремими

технологічними блоками, так і на рівні керування в цілому технологічним процесом.

Однією з ключових переваг ПЛК Mitsubishi Electric є їх висока якість, гнучкість та широкі можливості застосування. Вони відрізняються високою швидкістю та надійністю в роботі. Контролери сімейства MITSUBISHI ALPHA XL є компактними пристроями, які об'єднують в собі входи та виходи, центральний процесор, пам'ять, електроживлення і графічний ЖК-дисплей в одному корпусі.

Ці контролери ALPHA XL ідеально підходять для заміни контакторів і реле в наявних установках, а також для використання в нових системах автоматизації. Одна програма ALPHA XL може обробляти до 200 функціональних блоків, і будь-яку окрему функцію, таку як таймер, лічильник, обробка аналогових сигналів, функція календаря/години і т. д., можна легко використовувати в усіх програмах без обмежень.

Програмовані логічні контролери (ПЛК) ТЕКОН відповідають найвищим міжнародним стандартам, використовуючи передові компоненти, що гарантують високі технічні характеристики продукції. Разом з оригінальними схемотехнічними рішеннями і вдосконаленою технологією виробництва, це забезпечує надійність програмованих контролерів "ТЕКОН", над якою можуть пильно стежити клієнти.

Інтелектуальна система введення-виведення ТЕКОНІК призначена для створення розподілених автоматизованих систем для вимірювання, контролю, регулювання, діагностики та управління виробничими процесами, технологічними лініями і агрегатами. Вона відрізняється наявністю потужного процесорного модуля, який може виконувати складні алгоритми управління. Модулі вводу-виводу ТЕКОНІК можуть бути легко розширені для використання як на контролерах ТЕКОН, так і на контролерах інших виробників. Такий підхід дозволяє створювати гнучкі та ефективні автоматизовані системи, що відповідають потребам клієнтів у різноманітних галузях промисловості.

Промислові контролери SLC-500 широко використовуються у всьому світі, завдяки своїм численним перевагам та розширеним можливостям. SLC-500 представляє собою надійне та ефективне рішення для розширених програм автоматизації з економічними та легкими у використанні процесорами.

Основні характеристики SLC-500 включають в себе виняткову надійність, що підтверджена сотнями тисяч успішних застосувань, а також розширену систему команд, яка включає непряму адресацію, широкі математичні можливості та обчислення виразів.

Конструкція контролера спеціально розроблена для роботи в умовах важкої промислової експлуатації, здатна витримувати вплив вібрацій, підвищених температур і електромагнітних завад. Компактні розміри дозволяють встановлювати контролер в обмежених просторах.

SLC-500 підтримує віддалений доступ через різноманітні мережеві протоколи, такі як Ethernet, ControlNet, DeviceNet, DH+, DH-485. Контролер обладнаний каналом RS-232 для асинхронного послідовного обміну даними з термінальними пристроями.

Модель SLC 5/04, крім основних можливостей SLC 5/03, має співпроцесор для прискорення виконання математичних команд і вбудований порт мережі Data Highway Plus (DH+). Це забезпечує прямий доступ до мережі DH+ без додаткового обладнання.

Використання програмованих контролерів SLC-500 у поєднанні з різноманітними модулями розширення дозволяє інтегрувати їх в системи дистанційного введення/виведення, реалізуючи ефективне та гнучке автоматизоване управління в різних галузях промисловості.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва [19]

Виробництво гранульованого сульфату амонію може включати ряд небезпечних та шкідливих факторів, які потребують уважного аналізу та контролю з метою забезпечення безпеки працівників та навколишнього середовища.

Амонійний газ (NH_3) виникає під час процесів виробництва та може мати подразливий вплив на дихальні шляхи. Необхідно забезпечити ефективний вентиляційний та витяжний обладнання.

Кислоти та луги використовуються у процесах обробки. Взаємодія з ними вимагає заходів безпеки та належного обладнання для взаємодії із хімічними речовинами.

Пил амонійного сульфату може становити небезпеку для дихальних шляхів працівників. Важливо забезпечити належні системи відведення пилу та використання засобів індивідуального захисту.

Залежно від процесу виробництва, можуть виникати високі або низькі температури, що вимагає належного обладнання для регулювання та захисту працівників. А виробничі процеси можуть включати в себе вібрації та шум, які потребують відповідних заходів з контролю та захисту.

Також амонійний газ може бути вибухонебезпечним, що вимагає встановлення систем вентиляції та заходів пожежогасіння, а також дотримання вимог щодо електричної безпеки.

Необхідно використовувати ефективні системи управління відходами та дотримуватись екологічних стандартів для зменшення впливу на навколишнє середовище. Впровадження сучасних технологій, вдосконалення процесів та постійний моніторинг можуть сприяти зниженню ризиків і поліпшенню умов праці.

У сучасному виробничому середовищі, оцінка та вибір обладнання для забезпечення нормальних умов роботи обслуговуючого персоналу є критично важливим завданням. Зокрема, санітарно-гігієнічні показники такі як шум, вібрації та пилоутворення впливають на здоров'я та продуктивність працівників. Розглянемо більш детально основні аспекти цих показників та заходи для зниження їх впливу.

Шум можна описати як комплекс аперіодичних звуків різної інтенсивності та частоти, які сприймаються оточуючими людьми. Різні джерела шуму генерують звуки з різною силою, інтенсивністю та частотою, що призводить до різної ступені завданого ними впливу на людину.

Наприклад, навколишні звуки можуть мати наступні інтенсивності: розмовна мова 50–60 децибелів (дБА); автосигнал 100 дБА; шум двигуна легкового автомобіля 80 дБА; гучна музика 70 дБА; шум від руху трамвая: 70–80 дБА; шум у звичайній квартирі 30–40 дБА. Ці вимірювання ілюструють різноманітність шумового середовища, в якому перебуває людина. Інтенсивність шуму може впливати на фізичне та психічне здоров'я, робочу ефективність та загальний комфорт проживання. Тому важливо вживати заходів для зниження шумового впливу в промислових та житлових областях.

Інтенсивний шум на виробництві може суттєво впливати на працездатність та безпеку працівників. Надмірний шум впливає не лише на фізичний стан працівників, але й на їхню здатність уважності, реакції та аналізу інформації. Ефект від шуму може проявлятися у зниженні швидкості реакції, зборі та обробці інформації, що, в свою чергу, може спричинити помилки та низьку якість виконаної роботи.

Неабияким чином шум може впливати на продуктивність працівників, знижуючи їхню працездатність та погіршуючи результативність виконаної роботи. Умови з високим рівнем шуму можуть стати перешкодою для своєчасної реакції на попереджувальні сигнали внутрішньоцехового транспорту, такого як автонавантажувачі та мостові крани. Це, в свою чергу,

може сприяти виникненню нещасних випадків та загрозам безпеці на виробництві.

Отже, важливо приділяти належну увагу контролю та зменшенню шумового впливу на робочому місці для забезпечення не лише ефективності праці, але й безпеки працівників.

З біологічного погляду шум представляє собою помітний стресовий фактор, здатний викликати порушення пристосувальних реакцій в організмі. Акустичний стрес може мати різноманітні прояви, від функціональних порушень регуляції центральної нервової системи до морфологічно виражених дегенеративно-деструктивних процесів у різних органах і тканинах.

Ступінь шумової патології напряму залежить від інтенсивності та тривалості впливу, функціонального стану центральної нервової системи і, що надзвичайно важливо, від індивідуальної чутливості організму до акустичного подразника. Індивідуальна чутливість до шуму оцінюється на рівні від 4 % до 17% населення. Загалом вважається, що підвищена чутливість до шуму пов'язана з сенсibiliзацією вегетативної реактивності, характерної для 11 % населення. Особливо вразливі до впливу шуму є жіночий та дитячий організми. Висока індивідуальна чутливість може бути однією з причин збільшеної стомлюваності та розвитку різноманітних неврозів.

Для ефективного управління шумовим впливом на обслуговуючий персонал враховують два основних напрямки: зниження викидів звуку технологічними пристроями та контроль проникнення шуму. Перший підхід передбачає впровадження ряду заходів для зменшення шумового випромінювання технічних установок. Це може включати в себе вибір оптимальної товщини стінок, посилення засобів звукоізоляції, використання еластичних з'єднань між окремими елементами та корпусом, встановлення дробильних установок на пружних основах, а також використання еластичних фланців для розділення трубопроводів та обладнання.

Другий спосіб полягає в застосуванні різноманітних засобів ущільнення та укриття для обмеження проникнення шуму. Це може включати в себе

встановлення звукоізоляційних екранів, встановлення спеціального обладнання у відокремлених приміщеннях, віддалення робочих станцій та зон управління від безпосередньої близькості до джерела шуму.

Завдяки цим заходам можливо створити ефективну систему контролю за шумовим забрудненням, що сприятиме покращенню умов праці та загального благополуччя обслуговуючого персоналу.

Визначення взаємодії з малими механічними коливаннями, що виникають у пружних тілах або під впливом змінного фізичного поля, розглядається як явище вібрації. Цей процес може бути класифікований за кількома аспектами, що визначають його характер та вплив на людину.

Перше, вібрацію можна класифікувати за способом передачі коливань, тобто шляхом, яким вони передаються від джерела до об'єкта. Друге, можна враховувати напрямок дії вібрації, тобто те, як вона впливає на об'єкт чи систему. Третє, враховують тимчасові характеристики вібрації, визначаючи тривалість та частоту коливань.

Цей підхід до класифікації вібрацій дозволяє глибше розуміти їхні особливості та вплив на людський організм, що важливо для розробки ефективних методів контролю та запобігання негативним наслідкам вібраційного впливу.

Залежно від механізму передачі коливань до людського організму, вібрацію можна розподілити на дві основні категорії: загальну та локальну. Загальна вібрація передається через опорні поверхні, на яких сидить або стоїть людина, охоплюючи великі частини тіла. З іншого боку, локальна вібрація передається через руки людини, фокусуючись на конкретних областях тіла.

Локальна вібрація може виникати внаслідок контакту ніг сидячої людини з віброуючою поверхнею або через взаємодію передпліччя з робочим столом. Цей вид вібрації створює точковий чи обмежений ефект, спрямований на конкретні ділянки тіла.

Розрізняючи між загальною та локальною вібрацією, можна ліпше розуміти їхні впливи на фізіологічний стан людини та розробляти ефективні

заходи для контролю та зменшення негативних наслідків впливу вібрації на людський організм.

Вплив вібрації представляє собою значний фактор з біологічною активністю, і реакції організму на цей фактор визначаються не лише силою енергетичного впливу, але і біомеханічними характеристиками людського тіла, яке виступає складною коливальною системою. Лінійної залежності між рівнем впливу вібрації та відповідними реакціями організму не існує, і це явище часто пов'язується з резонансним ефектом.

При збільшенні частоти коливань понад 0,7 Гц можливі резонансні коливання в органах людини. Резонанс тіла або окремих його органів виникає внаслідок взаємодії зовнішніх сил, коли власні частоти коливань внутрішніх органів збігаються з частотами зовнішніх сил. Зазначено, що для голови, коли людина сидить у вертикальному положенні під впливом вертикальних вібрацій, область резонансу розташовується в межах 20-30 Гц, а при горизонтальних вібраціях – від 1,5 до 2 Гц.

Це підкреслює важливість розуміння резонансних ефектів в контексті впливу вібрації на організм, сприяючи розробці більш ефективних заходів для контролю та зниження негативних наслідків цього впливу.

Вібраційна патологія, що становить другий за пиловими чинниками серед професійних захворювань, є надзвичайно важливим аспектом розгляду в контексті впливу на здоров'я. Слід відзначити, що частота захворювань визначається величиною дози вібрації, а спектр вібрацій впливає на особливості клінічних проявів цих захворювань.

У професіях, пов'язаних із вібраційним впливом, спостерігаються такі явища, як запаморочення, розлад координації рухів, симптоми заколисування та вестибуловегетативна нестійкість. Негативний вплив вібрації проявляється також у порушеннях зорової функції, що виявляються звуженням та випаданням окремих ділянок полів зору, а також зниженням гостроти зору, іноді до 40 %. Однак не менш важливим є й суб'єктивний аспект, який включає у себе відчуття потемніння в очах. Ці клінічні прояви підкреслюють

необхідність ретельного вивчення та контролю за впливом вібрацій на здоров'я працівників у вібраційних професіях.

Під час експлуатації сепараторів, фундаменти піддаються значним горизонтальним динамічним навантаженням, які, зокрема, можуть бути особливо небезпечними для будівельних конструкцій, коли обладнання розташоване на значній висоті. Щоб забезпечити відповідну стійкість і безпеку, фундаменти дробарок традиційно виготовляються з монолітного залізобетону. Однак навіть з такою конструкцією у деяких випадках можуть виникати неприпустимі вібрації.

Особливо актуальним стає використання віброізоляції при установці модернізованого та більш потужного обладнання на існуючі фундаменти, спрямовані під застарілі машини. Такий підхід вже отримав широке застосування, оскільки його перевага полягає в уникненні необхідності розбирання старого фундаменту і будівництва заново. Результати проведених випробувань підтверджують, що використання віброізоляції не впливає на ефективність та продуктивність обладнання, забезпечуючи водночас значний рівень захисту від небажаних вібрацій.

Під час використання технічного обладнання основним завданням є забезпечення захисту обслуговуючого персоналу від негативного впливу пилу. Термін "пил" визначає фізичний стан речовини, який характеризується роздробленістю на дрібні частки. Ці частки, які перебувають у підвішеному стані, утворюють дисперсійну систему, де тверді частинки виступають в ролі дисперсної фази, а повітря - дисперсійного середовища.

Важливо враховувати, що пил може бути джерелом шкідливих ефектів на здоров'я обслуговуючого персоналу, особливо якщо він утворюється під час роботи обладнання. Ефективні заходи та технології повинні бути впроваджені для зменшення рівня пилового впливу та забезпечення безпечних умов праці.

Кількість пилу в повітрі вимірюється у міліграмах на кожен кубічний метр повітря. Найбільш небезпечним є дрібний пил з частинками розміром до 10 мікрометрів, оскільки він, проникши в легені, може викликати різні форми

пневмоконіозу, такі як силікоз і азбестоз. Цей вид пилу має властивість не залишатися у верхніх дихальних шляхах і безпосередньо потрапляти в легені, призводячи до серйозних захворювань.

Пил більшого розміру зазвичай затримується на слизових оболонках верхніх дихальних шляхів, викликаючи подразнення і спричиняючи хронічні катаральні захворювання бронхів. Крім того, тривалий контакт з пилом в робочому середовищі може призвести до захворювань шкіри, вух і очей. Захист від негативного впливу пилу вимагає впровадження ефективних заходів безпеки та забезпечення відповідних умов праці.

Для запобігання викиду пилу виробничим приміщенням використовують герметичні укриття для обладнання, течій та місць пересипання матеріалів. Герметичні укриття допомагають утримувати тверді частки в межах обладнання та відокремлювати їх від навколишнього середовища, запобігаючи їхньому викиду в атмосферу робочого приміщення.

Ці заходи безпеки мають за мету не лише захист обслуговуючого персоналу від негативного впливу пилу, але й запобігання його потраплянню в робочі зони та навколишнє середовище. Герметичне ущільнення обладнання та точок потенційного викиду є ефективним заходом для забезпечення безпеки праці та дотримання екологічних норм.

6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора

Система захисного заземлення виходить за межі приміщення, де встановлене обладнання. Для цього створюється спеціальна інфраструктура, включаючи траншею, яка вирубується поблизу будівлі. Траншея має оптимальну глибину від 0,6 до 0,8 метра.

У цій траншеї встановлюються захисні заземлювачі, розташовані на відстані від 1 до 3 метрів один від одного. Заземлювачі часто виготовляються у вигляді труб, що мають діаметр від 3 до 5 см і довжину від 2 до 3 метрів. Ця система створює надійний і неперервний шлях для відведення струму в землю, забезпечуючи безпеку обладнання та працівників.

У вихідних розрахунках враховуємо, що захисні заземлювачі розташовані в поглибленому стані і аранжовані в один ряд (глибина закладання $t = 80$ см). Це означає, що траншея для заземлювачів вирубуеться таким чином, щоб всі захисні елементи були розташовані поруч один з одним у лінійному порядку.

Даний підхід до розташування заземлювачів має важливе значення для створення ефективної системи заземлення, забезпечуючи надійне відведення струму в землю. Такий розподіл заземлювачів сприяє утворенню стійкого і низькорезистивного шляху для струму, що є ключовим для забезпечення ефективної захисту від перенапруг та інших електричних небезпек.

Для нашого випадку використовуємо у якості заземлювача трубу довжиною 200 см, діаметром 5 см та з шириною сполучної смуги 5 см.

Відповідно до вимог ПУЕ визначаємо допустиме опір розтікання струму в заземленні R_z . Для мереж з напругою до 1000 В можна взяти $R_z = 40 \text{ Ом}$.

Визначаємо питомий опір ґрунту, яке рекомендується для розрахунків $\rho_{\text{ТАБЛ}} = 20000 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів $K_{\text{п.т.}}$ і для сполучної смуги $K_{\text{п.с.}}$, які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року залежно від наявності опадів. $K_{\text{п.т.}} = 1,4 \dots 1,6$, $K_{\text{п.с.}} = 2,5 \dots 4$. Приймаємо $K_{\text{п.т.}} = 1,5$, $K_{\text{п.с.}} = 3$.

Визначення питомого розрахункового опору ґрунту для вертикальних електродів (труб або стрижнів) враховує несприятливі умови за допомогою підвищувального коефіцієнта. Цей процес включає в себе оцінку того, як ряд факторів може вплинути на ефективність заземлення.

Питомий розрахунковий опір ґрунту визначається з урахуванням таких чинників, як вологість ґрунту, його склад, температура і глибина занурення електродів. Підвищувальний коефіцієнт враховує ті умови, які можуть призвести до збільшення опору ґрунту в порівнянні з ідеальними умовами.

Цей підвищувальний коефіцієнт важливий для коректного розрахунку ефективності системи заземлення і дозволяє враховувати змінні умови довкілля, що можуть впливати на опір ґрунту і, відповідно, на надійність заземлення.

$$\rho_{\text{РОЗР.Т.}} = \rho_{\text{ТАБЛ}} \cdot K_{\text{П.Т.}}, \quad (6.1)$$

$$\rho_{\text{РОЗР.Т.}} = 2000 \cdot 1,5 = 3000 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Для визначення питомого розрахункового опору ґрунту для горизонтального заземлювача (сполучної смуги) використовують різні методи, але основні враховують взаємодію структури з навколишнім ґрунтом. Зазвичай використовують метод кінцевих елементів або аналогічні числові методи для моделювання взаємодії ґрунту із сполучною смугою. Для горизонтального заземлювача важливими є ширина та глибина сполучної смуги, а також її розташування від поверхні ґрунту.

Розрахунки включають в себе властивості ґрунту, такі як його електропровідність, вологість, та інші параметри, які можуть впливати на опір. Застосовують рівняння електричного опору для розрахунку питомого опору ґрунту для горизонтального заземлювача. Це може включати в себе інтегрування величини опору вздовж довжини сполучної смуги.

Також може бути важливим врахувати підвищувальний коефіцієнт, щоб врахувати невизначеності та несприятливі умови.

$$\rho_{\text{РОЗР.П.}} = \rho_{\text{ТАБЛ}} \cdot K_{\text{П.С.}}, \quad (6.2)$$

$$\rho_{\text{РОЗР.П.}} = 2000 \cdot 3 = 6000 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Визначення відстані від поверхні землі до середини вертикального заземлювача є важливим етапом для правильного розрахунку ефективності заземлення. Цей параметр, відомий як глибина заземлення, може впливати на опір ґрунту і, отже, на ефективність заземлення.

Різні типи ґрунту мають різні характеристики, що впливають на ефективність заземлення. З'ясуйте, який тип ґрунту переважає на місці розташування заземлювача. Фактори, такі як вологість ґрунту та рівень солей, також можуть впливати на ефективність заземлення.

Для вертикального заземлювача оптимальна глибина визначається з урахуванням глибини замерзання ґрунту, рівня водостоку та інших чинників. Зазвичай, чим глибше заземлення, тим менший опір ґрунту. Деякі країни чи організації можуть мати встановлені стандарти для глибини заземлення, які слід враховувати при розрахунках.

Визначте, чи є конкретні вимоги стосовно глибини заземлення відповідно до електробезпеки.

Враховуючи ці фактори, можна визначити оптимальну глибину заземлення для вертикального заземлювача в конкретних умовах.

$$t = h_3 + \frac{l_T}{2}, \quad (6.3)$$

де $h_3 = 80\text{см}$ – глибина занурення труб;

$l_T = 200\text{см}$ – довжина вертикального заземлювача.

$$t = 80 + \frac{200}{2} = 180\text{см}.$$

Опір розтікання струму для вертикального заземлювача може бути розрахований з урахуванням кількох факторів, таких як геометричні параметри заземлювача та властивості ґрунту. Для одиночного вертикального заземлювача, розташованого нижче поверхні землі, можна використовувати спрощені формули. Один з підходів до розрахунку опору розтікання струму для вертикального заземлювача полягає у використанні рівнянь, що базуються на геометричних та електрофізичних властивостях системи.

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{ПОЗР.Т.}}}{l_T} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l_T}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot t + l_T}{4 \cdot t - l_T} \right), \quad (6.4)$$

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{3000}{200} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 200}{5} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 180 + 200}{4 \cdot 180 - 200} \right) = 11,13 \text{ Ом}.$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами зі співвідношення $c = L_T / l_T$. Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким: $c = 1$.

$$L_T = l_T \cdot c, \quad (6.5)$$

$$L_T = 200 \cdot 1 = 200 \text{ см}.$$

Кількість вертикальних заземлювачів визначається з урахуванням різних факторів, таких як геологічні властивості ґрунту, потужність струму, який повинен бути розведений, і параметри самого заземлювача. Один із підходів до визначення кількості заземлювачів полягає у розрахунку досягнутого опору ґрунту з урахуванням розмірів і глибини занурення кожного заземлювача.

$$n_T = \frac{R_T}{R_3} \text{ (ціле число)}, \quad (6.6)$$

$$n_T = \frac{11,13}{4} = 2,78 \approx 3.$$

Визначаємо коефіцієнт екранування труб при кількості труб n_T : $\eta_{\text{Е.Т.}} = 0,78$

Визначення необхідної кількості вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування включає додаткові розрахунки для врахування впливу екрануючих заземлювачів на загальний опір ґрунту.

Коефіцієнт екранування (коефіцієнт взаємодії) показує, як кожен заземлювач впливає на інші. Він залежить від геометричних параметрів заземлювачів та їх розташування.

$$n_{T.E.} = \frac{R_T}{R_3 \cdot \eta_{E.T.}}, \quad (6.7)$$

$$n_{T.E.} = \frac{11,13}{4 \cdot 0,78} = 3,57 \approx 4.$$

Для визначення розрахункового опору розтікання струму при заданій кількості вертикальних заземлювачів, вам слід використовувати наступну формулу:

$$R_{\text{РОЗР.П.Т.Е.}} = \frac{R_T}{n_{T.E.} \cdot \eta_{E.T.}}, \quad (6.8)$$

$$R_{\text{РОЗР.П.Т.Е.}} = \frac{11,13}{4 \cdot 0,78} = 3,57 \text{ Ом}.$$

Для визначення довжини сполучної смуги можна скористатися наступною формулою:

$$L_{3.C.} = 1,05 \cdot L_T \cdot (n_{T.E.} - 1), \quad (6.9)$$

$$L_{3.C.} = 1,05 \cdot 200 \cdot (4 - 1) = 630 \text{ см}.$$

Опір розтікання струму в сполучній смузі можна визначити за допомогою наступної формули:

$$R_{3.C.} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{РОЗР.П.}}}{L_{3.C.}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{3.C.}^2}{h_3 \cdot b_C}, \quad (6.10)$$

де $h_3 = 80\text{см}$ – глибина закладення вертикальних заземлювачів;
 $b_C = 5\text{см}$ – ширина сполучної смуги.

$$R_{3.C.} = 0,366 \cdot \frac{6000}{630} \cdot \lg \frac{2 \cdot 630^2}{80 \cdot 5} = 11,49\text{Ом}.$$

Визначаємо коефіцієнт екранування для сполучної смуги: $\eta_{E.3.C.} = 0,77$.

Коефіцієнт екранування враховує вплив навколишнього середовища, архітектурних елементів та інших факторів, що можуть впливати на розподіл електричного струму в сполучній смузі. Для визначення розрахункового опору для розтікання електричного струму в сполучній смузі з урахуванням коефіцієнта екранування, використовують наступну формулу:

$$R_{\text{РОЗР.С.}} = \frac{R_{3.C.}}{n_{E.C.} \cdot \eta_{E.3.C.}}, \quad (6.11)$$

де $n_{E.C.} = 1$.

$$R_{\text{РОЗР.С.}} = \frac{11,49}{1 \cdot 0,77} = 14,92\text{Ом}.$$

Загальний розрахунковий теоретичний опір розтікання струму від вертикальних заземлювачів і сполучної смуги:

$$R_{\text{ЗАГ.РОЗР.}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{РОЗР.П.Т.Е.}}} + \frac{1}{R_{\text{РОЗР.С.}}}}, \quad (6.12)$$

$$R_{\text{ЗАГ.РОЗР.}} = \frac{1}{\frac{1}{3,57} + \frac{1}{14,92}} = 2,88\text{Ом}.$$

Отже, обрана система захисного заземлення є ефективною.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Юхименко Н. П. Аналитическое определение скорости потока в пневмотранспортных установках / Н. П. Юхименко, Я. Э. Михайловский // Вестник Сумского национального аграрного университета. – 2011. – № 8(23). – С. 48–50.
3. Серебрянский Д. А. Циклонные пылеуловители. Малозатратная модернизация / Д. А. Серебрянский, А. А. Захаров, С. В. Плашихин // Хімічна промисловість України. – 2013. – № 3. – С. 70–74.
4. Peng W. Flow pattern in reverse-flow centrifugal separators / W. Peng, A. C. Hoffmann, P. J. A. J. Boot, A. Udding, H. W. A. Dries, A. Ekker, J. Kater // Powder Technology. – 2002. – Vol. 127, № 3. – P. 212–222.
5. Юхименко Н. П. Аппараты взвешенного слоя / Н. П. Юхименко, С. В. Вакал, Н. П. Кононенко, А. П. Филонов. – Сумы: Собор, 2003. – 304 с.
6. Литвиненко, А. В. Класифікація та пневмозбагачення сипких сумішей у гравітаційному пневмокласифікаторі [Текст] : дисертація... канд. технічних наук / Литвиненко А. В. ; наук. кер. М.П. Юхименко. – Суми : СумДУ, 2017. – 169 с. – СумДУ.
7. Nesbitt A. B. The Feasibility of Ferro-alloy fines recovery by using Centrifugal Separator Technology / A. B. Nesbitt, S. Wanliss, F. W. Petersen // Kona: Powder and Particle. – 2002. – № 20. – P. 98–103.
8. Gronald G. Simulating turbulent swirling flow in a gas cyclone: A comparison of various modeling approaches / G. Gronald, J. J. Derksen // Powder Technology. – 2011. – Vol. 205. – P. 160–171.

9. Теплові й масообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтогазопереробних виробництв у системах "газ (пара) – рідина": підручник / Я.Е. Михайловський, А.Є. Артюхов, М.П. Юхименко, Н.О. Артюхова ; за заг. ред. Я.Е. Михайловського. – Суми : СумДУ, 2021. – 391 с.
10. Онищук О.О., Кормош Ж.О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій. – Луцьк: Вежа-Друк, 2020. – 155 с.
11. Процеси та обладнання хімічних технологій. Базові принципи теорії тепломасообміну: практикум з кредитного модуля : навч. посіб. / уклад.: С.В. Гулієнко, Я.В. Гробовенко. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 120 с.
12. Конструювання і розрахунок елементів тонкостінних посудин та апаратів, які знаходяться під зовнішніми навантаженнями: навч. посіб. для студ. / І.А. Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ, 2018. – 121 с.
13. Андреев, І. Роз'ємні міцно-щільні з'єднання: навчальний посібник для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Ігор Андреев ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 138 с.
14. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укл.: О.О. Ляпощенко, В.М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.
15. Обладнання заготівельних та котельно-зварювальних ділянок ремонтно-механічних цехів хімічних виробництв : навч. посіб. / С.М. Яхненко, М.С. Скиданенко, Є.М. Піддубний. – Суми : СумДУ, 2022. – 170 с.
16. Виготовлення обладнання хімічних виробництв : підруч. [для студ. закл. вищ. освіти]. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 233 с.
17. САПР технологічних ліній та комплексів хімічних і нафтогазопереробних виробництв / О. О. Ляпощенко, О. Є. Старинський // Дистанційний курс. – Суми : СумДУ, 2020. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://elearning.sumdu.edu.ua/s/4b-z0x>
18. Промислові прилади та засоби автоматизації: Довідник / В.Я. Баранов, Т.Х. Безповська, В.А. Бек та ін.. Київ : Вид-во «Віста», 2017. – 847 с.

19. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – Київ : Основа, 2006. – 448 с.