

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

Підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Технологічна лінія збагачення заповнювачів
бетону. Розробити та модернізувати конусний поличний
пневмокласифікатор.

Виконав:
студент групи ХМ.м -71
Варуха Дмитро Олександрович

Підпис

Залікова книжка
№ 17510149

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 2018 р

Керівник:

асистент кафедри

науковий ступінь, вчене звання

Смирнов Василь Анатолійович

прізвище, ім'я, по батькові

підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії

СУМИ 2018

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1 Пневмокласифікатори гравітаційні і псевдозрідженим шару	9
1.2 Поличні апарати пневмокласифікації	15
1.3 Висновки	43
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	45
2.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	45
2.2 Теоретичні основи процесу пневмокласифікації. Гідродинаміка руху двофазного потоку	47
2.3 Механізм зважування і поділу часток по крупності при пневмокласифікації зернистих матеріалів.....	55
2.4 Обґрунтування вибору гравітаційного поличного	
пневмокласифікатора.....	61
2.5 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів	
апарата.....	64
2.5.1 Розрахунок швидкості потоку на виході пневмокласифікатора	64
2.5.2 Визначення витрати повітря, що проходить через пневмокласифікатор	66
2.5.3 Визначення висоти зони сепарації.....	67
2.5.4 Розрахунок нижньої частини апарата	68
2.6 Розрахунок гідравлічного опору апарату	69
2.7 Вибір та розрахунок допоміжного обладнання	71
2.7.1 Розрахунок газодувки	71
2.7.2 Розрахунок циклону.....	73
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	76
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	76
3.2 Визначення товщини стінки апарата.....	77
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА.....	83
4.1 Монтаж пневмокласифікатора.....	83
4.2 Підготовка та ремонт апарату.....	84

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЛАСИФІКАЦІЇ НА ЛАБОРАТОРНІЙ МОДЕЛІ ПНЕВМОКЛАСІФІКАТОРА	86
5.1 Задачі для виконання досліджень	86
5.2 Опис експериментальної установки пневматичного класифікатора.....	86
5.3 Опис технологічної схеми лабораторної установки.....	87
5.4 Опис лабораторного апарату процесу пневмокласифікації	89
5.5 Методика проведення досліджень	89
5.6 Обґрунтування вибору Ansys Fluent Flow для моделювання гідродинаміки процесу пневмокласифікації	90
5.7 Розробка 3D моделі розрахункової області і задання розрахункової сітки. Задання математичної моделі і граничних умов.....	92
5.8 Узагальнення, візуалізація і аналіз результатів моделювання.....	94
6 АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	97
6.1 Призначення автоматизованої системи управління технологічним процесом	97
6.2 Вибір вимірювальних пристроїв	98
6.3 Автоматизація технологічного процесу пневмокласифікації	102
6.4 Етапи розробки автоматизованої системи управління	104
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	107
7.1.1. Аналіз шкідливих факторів і потенційних небезпек при роботі обладнання.....	107
7.1.2 Допустимий вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони... 107	
7.1.3 Контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони	108
7.1.4 Вимоги до контролю за дотриманням максимально разової гранично-допустимої концентрації (ГДК).....	108
7.1.5 Вимоги до контролю за дотриманням середньо-змінної гранично-допустимої концентрації (ГДК).....	109
7.1.6 Оптимальні і допустимі величини показників мікроклімату у виробничих приміщеннях	109
7.2 Основні положення, щодо контролю за вентиляцією, опалення та кондиціонування повітря.....	110
7.3 Захист від шуму.....	116

7.4 Вимоги до забезпечення вібробезпеки	117
7.5 Розрахунок заземлення апарату.....	122
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	127
ДОДАТОК А	

ВСТУП

В багатьох областях промисловості таких як хімічна, гірничодобувна, будівельна та інших галузях сировиною або кінцевим продуктом є дисперсні речовини, до фракційного складу яких пред'являються високі вимоги. Готові продукти можуть бути отримані у вигляді порошку, крупнозернистого матеріалу або гранул, однорідність яких суттєво впливає на їх якість. Саме використання процесу класифікації дає можливість розділити полідисперсний матеріал на декілька фракцій з заданим гранулометричним складом. Даний процес використовується в широкому спектрі областей, як при отриманні мінеральних добрив, видалення високодисперсних частинок (знепилювання) з камер випалювальних печей, при виробництві електродів, а також може використовуватися для очищення і підготовки насіння до сівби, що є найважливішою технологічною операцією в сільському господарстві.

Великий вплив на якість та витратні норми сировини здійснює саме забезпечення високого ступеня поділу полідисперсних матеріалів, що в свою чергу впливає на продуктивність та економічну ефективність роботи виробництва в цілому. Для більш чіткого розуміння процес розділення полідисперсних матеріалів можна охарактеризувати як процес, завданням якого є видалення дрібнодисперсних фракцій і отримання обезпилених чистих продуктів, видалення крупної фракції і отримання тонкодисперсного продукту, виділення з полідисперсного матеріалу необхідної фракції по граничному розміру частинок або більше двох фракцій з необхідним гранулометричним складом.

Розглядаючи можливості поділу сипучого матеріалу на різні фракції можна виділити такі методи розділових процесів як механічний, гідравлічний і пневматичний, кожен з яких має свою область застосування.

Механічний метод здійснюється шляхом розсіву сипучих матеріалів по гранулометричному розміру фракцій за допомогою спеціальних сит з заданим розміром отворів. Даний метод застосовується при розділенні

частинок розмірами від декількох сантиметрів до міліметра. Швидкість і повнота поділу полідисперсних сумішей на фракції використовуючи механічний метод знижується при розсві матеріалу, розмір частинок якого менше одного міліметра. Це пояснюється збільшенням засміченості матеріалу, що знаходиться над решіткою. Крім цього, механічний метод розділення має ряд і інших недоліків, таких як вібрація, шум, знос сіток, громіздкість, енергоємність, високе пиловиділення та не герметичність обладнання.

Гідравлічна класифікація базується на різниці швидкостей осадження окремих фракцій суміші в рідині. Найбільшого поширення цей метод знайшов в гірничодобувній промисловості, при збагаченні корисних копалин. В хімічній промисловості використовується рідко, так, як в результаті зволоження змінюється фізико-хімічні і технологічні властивостей оброблюваного матеріалу. Утворення великих за обсягом шламових вод супроводжується значними енергетичними затратами на виділення твердої фази і подальшого зневоднення матеріалу.

Пневматична класифікація заснована на різниці швидкостей витання часток різних фракцій в потоці повітря, і цим самим даний метод позбавлений багатьох недоліків в порівнянні з механічним і гідравлічним методом. На відміну від механічної класифікації в повітряному потоці поділяють вихідний матеріал на фракції за сукупністю фізико-механічних властивостей частинок: розмірами, формою, шорсткості поверхні і щільності. У порівнянні з гідравлічною класифікацією пневматичний метод поділу дозволяє отримувати продукти в сухому вигляді, що знижує енергоємність проведення технологічних процесів. Основними способами пневматичної класифікації є гравітаційний і відцентровий. Відцентровий метод успішно використовується при поділі тонко дисперсних матеріалів по граничному розміру менше 0,1 мм., В основі роботи поставлено завдання розробити та модернізувати конусний пневмокласифікатор для розділення полідисперсної суміші піска на фракції від 0,2 мм до 0,63 мм, тому, було обрано

гравітаційний метод розділення, що дозволяє розділяти суміші з частинками від 0,1 до 5 мм.

В даний час, високі вимоги до якості продукції та економії сировинних матеріалів вимагає пошуку нових ефективних рішень, тому розробка та модернізація апаратів пневмокласифікації з використанням гравітаційного розділення, а також

На сьогодні відомі лише окремі роботи, в яких роблять спроби розробки ефективних зразків відповідного обладнання, але відсутність систематичних досліджень, які дозволили б провести порівняльний аналіз нових конструкцій контактних елементів і виявити оптимальні області їх використання, перешкоджає накопиченню експериментального матеріалу. В результаті аналізу наукових патентів, літературних та наукових даних в даній сфері було спроектовано технологічну лінію заповнювача бетону та розроблено конусний пневмокласифікатор.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Пневмокласифікатори гравітаційні і псевдозрідженим шаром

Зернисті матеріали поділяються переважно під дією гравітаційних і інерційних сил в висхідному потоці газу в гравітаційних пневмокласифікаторах.

Найпростіший з них (рис. 1.1), що представляє собою вертикальний канал, в середню частину якого вводиться полідисперсний матеріал. Цей класифікатор не знайшов достатньо широкого застосування, так як не завжди забезпечує достатню продуктивність і чіткість поділу.

У дрібну фракцію, що з потоком газу поступає в циклон, через обмеження умов і місцевої турбулізації потоку виноситься і деяка частина великих часток, швидкість витання яких більше швидкості висхідного потоку. У той же час спадний потік великих часток захоплює через низ апарату деяку кількість дрібних, який потім міг би винести з апарату. Для підвищення ефективності цих пневмокласифікаторів використовують розкидачі, які розкидають струмінь матеріалу, що вводиться в потік і порівняно рівномірно розподіляє його по перетину апарату.

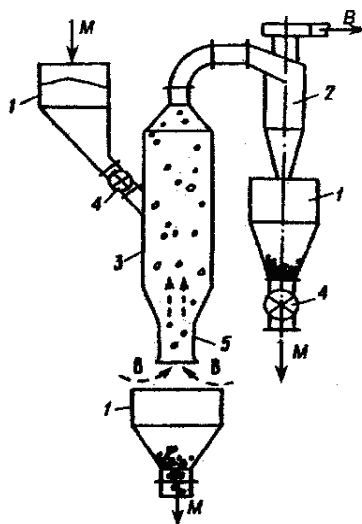


Рисунок 1.1 - Пневмокласифікатор з вільним перетином.

1 - бункери; 2 - циклон; 3 - корпус; 4 - живильники; 5 - патрубок.

Подальший розвиток цих апаратів представляють звивисті апарати (рис. 1.2), в яких за рахунок повороту потоку газу виникають відцентрові сили і починається циркуляція частинок. Такі пневмокласифікатори, відомі в вогнетривкої і абразивної промисловості як обеспилувачі. Окремі варіанти цього апарата з розширюється по висоті перетину дозволяють відбирати кілька фракцій на різних його рівнях.

Простіше в виготовленні апарати, що представляють собою прямий верти-кальний канал прямокутного перетину, в якому через дві протилежні сторони вводяться під кутом до потоку суцільні полиці [1].

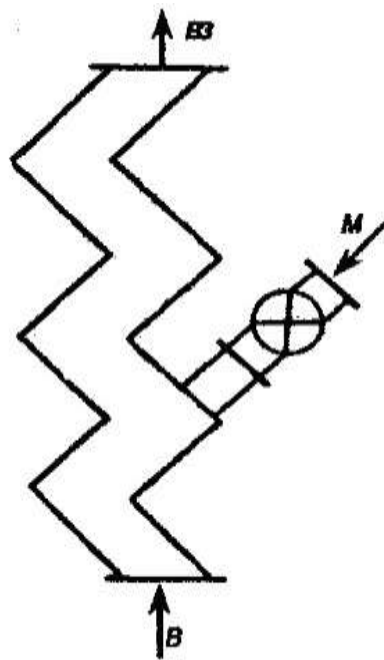


Рисунок 1.2 - Зигзагоподібний класифікатор

Певну чіткість поділу забезпечують апарати, в яких у вертикальному каналі на спеціальних решітках створюється псевдорозріджений шар. Одним з ранніх представників цієї групи апаратів є модернізований апарат Гоннеля [2], в якому введений в потік високо-дисперсний матеріал послідовно проходить кілька циліндрів (рис. 1.3).

Діаметр кожного наступного циліндра більше попереднього. Всі циліндри плавними переходами з'єднуються зі стаканами, в нижню частину яких по спеціальній трубці вводиться газопиловий потік з попереднього

циліндра, а в перший - з тарільчатого живильника. У цих стаканах на газорозподілюючій решітці, а в деяких конструкціях і без неї, задається псевдорозріджений шар, з якого потоком повітря в наступний циліндр виносяться високодисперсні частинки, швидкість витання яких менше швидкості потоку повітря, що створюється в циліндрі. З останнього циліндра газопиловий потік надходить у фільтр, де уловлюються найбільш дрібні частинки.

У кожному стакані поступово накопичується матеріал з близькими за розмірами частками (монофракціями), який періодично або безперервно розвантажуються в спеціальні ємності. Цей матеріал тим дрібніше, чим більше діаметр циліндра, приєднаного до стакану. Для підвищення інтенсивності псевдооживлення, а відповідно і чіткості поділу, в кожен стакан поміщаються інертні частки (скляні або металеві кульки) розмірами в декілька міліметрів.

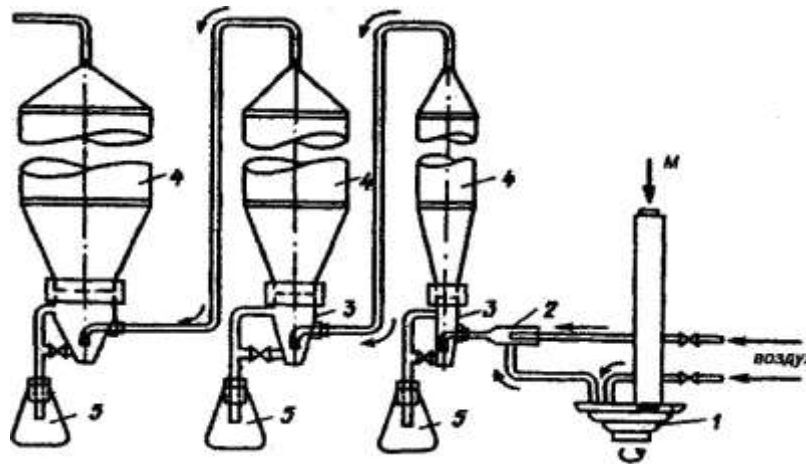


Рисунок 1.3 - Багатотрубний пневмокласифікатор

1 – тарільчастий пневможивильник; 2 - ежектор - змішувач; 3 - стакан з псевдорозрідженим шаром; 4 - циліндри; 5 - ємності.

Більш продуктивні колонні класифікатори, в яких псевдорозріджений шар створюється на кількох встановлених один над одним газорозподільних решітках різних конструкцій [3,4].

У цих апаратах для підвищення інтенсивності псевдооживлення висо-

кодисперсних частинок на певних рівнях по висоті збільшують кількість висхідного потоку шляхом зменшення площі поперечного перерізу. Це досягається або виконанням корпусу апарату у вигляді двох конусів (дифузорів), з'єднаних плавним переходом (конфузорів), або установкою в певних місцях по висоті поступово розширюючого корпусу контактних елементів з кількох паралельно розташованих клиновидних елементів (рис. 1.4 і 1.5). При цьому площа основи вищерозташованого конуса менше, ніж площа верхньої основи нижнього конуса. Місце звуження встановлюється на такій відстані від створюваного внизу апарата псевдозрідженим шаром, щоб до нього не долітали великі частки. Дрібні ж частинки, досягнувши цієї ділянки, збільшують свою швидкість і виносяться в верхній конус. На решітках, встановлених за місцем звуження в апараті на рис 1.4, матеріал псевдозріджується більш інтенсивно.

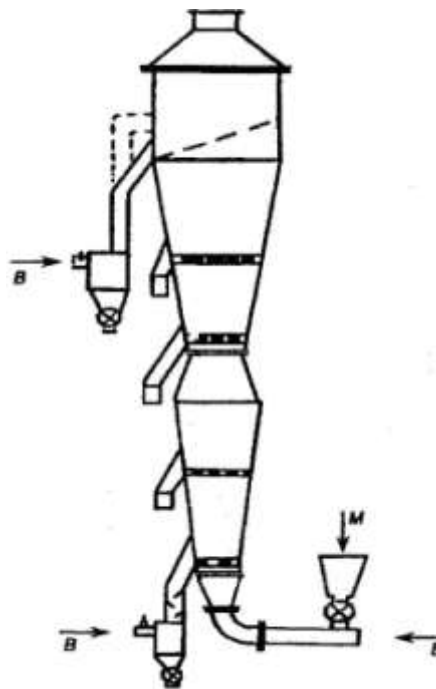


Рисунок 1.4 - Двоконусний пневмокласифікатор

Якщо матеріал містить грудки, замість звичайних перфорованих решіток встановлюються згадані вище паралельно розташовані обтічні клиновидні елементи. Вони, в порівнянні з решітками, мають менший гідродинамічний опір і не створюють пульсації потоку. Концентрація

частинок в псевдозрідженому шарі менше.

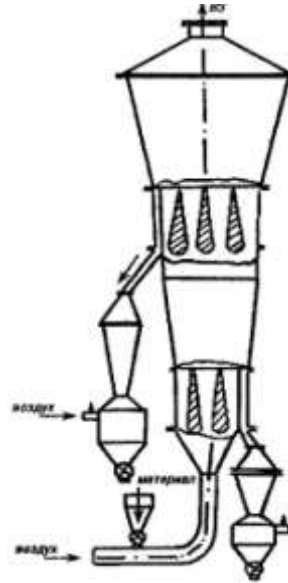


Рисунок 1.5 - Пневмокласифікатор з клиноподібними елементами

Змінюючи відстань між клиноподібними елементами, вдається вирівняти розподіл швидкостей потоку і концентрації частинок по перетину апарата. На відміну від апаратів з псевдозрідженим шаром над клиноподібними решітками відсутня пульсація потоку, що покращує якість класифікації.

Другою особливістю цих апаратів є додаткова продувка фракцій, що розвантажуються з кожного контакту в вертикальних трубопроводах або усічених пірамідах. Останні встановлюються безпосередньо над бункером, через який подається повітря для цієї продувки. У нижній частині цих трубопроводів або пірамід розміщені перфоровані газорозподільні решітки, похилі або перфоровані пластини, які, звужуючи перетин трубопроводу, підвищують інтенсивність впливу повітря з матеріалом. Верхня частина трубопроводів і пірамід залишається вільною для стабілізації в ній потоку, оскільки його швидкість впливає на розміри частинок, що виносяться потоком газу в основний сепаратор. На додаткове продування подається 5-10% повітря від його витрати через основний сепаратор.

Подальший розвиток пневмокласифікаторів призвело до об'єднання в одній конструкції різних їх типів. Так, Кайзер [5], взявши за основу апарат з

псевдозрідженим на похилій газорозподільній решітці шаром частинок (пневможелоб), розбив сепараційний простір над ним на серію зигзагоподібних каналів. Ігнат'єв І.К. [6], встановивши пластини, що утворюють зигзагоподібні канали, на шарнірах, отримав можливість регулювати витрату повітря в окремих каналах. Барський М.Д. [7] встановив в сепараційному просторі серію каналів з полками, спрямованими назустріч потоку (рис. 1.6). Такий пристрій каналів виключає регулювання витрати повітря по окремих каналах, що, як вказує сам автор [7], призводить до виносу через останні по ходу матеріалу каналу до 15% крупнокристалічного продукту, який обезпилюється в цьому апараті. Обертання двофазного потоку під великим числом поличь призводить до значних витрат енергії та передрібнення матеріалу.

Описані вище класифікатори, які використовують гравітаційні і інерційні сили, не забезпечують досить ефективного виділення фракцій з частинками дрібніше 30 - 50 мкм. Щоб отримати більш дрібні фракції необхідно, як зазначено вище, застосовувати відцентрові сепаратори.

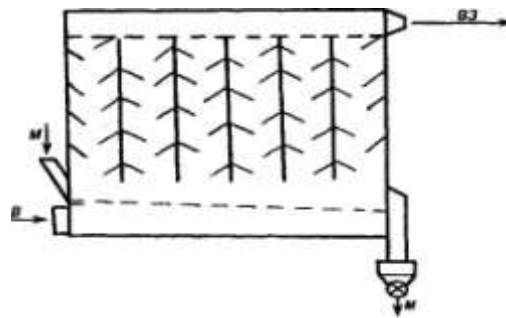


Рисунок 1.6 - Багатоканерний пневмокласифікатор із суцільними полками

Чіткість розділення зернистих матеріалів на фракції і продуктивність пристроїв для пневмокласифікації істотно підвищуються при поєднанні пневматичної класифікації з механічною на віброгрохотах різної конструкції. Механічна класифікація перевершує пневматичну по чіткості і продуктивності, якщо розміри частинок матеріалу перевищують 700-1000 мкм. Поділ на фракції або обезпилення більш дрібних матеріалів за

допомогою тільки однієї механічної класифікації призводить до швидкого забивання комірок сит, що погіршує якість продукту і знижує продуктивність грохотів.

1.2 Поличні апарати пневмокласифікації

Інтенсивність контакту фаз можна підвищити установкою в апараті однієї або декількох суцільних або перфорованих полок різних конструкцій (рис. 1.7), що створюють місцеве збільшення швидкості і турбулентності потоку [7, 8, 9, 10]. Так апарати застосовують для обезпилення, пневмокласифікації, теплообміну і сушки, а також для перевантаження матеріалу на більш низький рівень. В

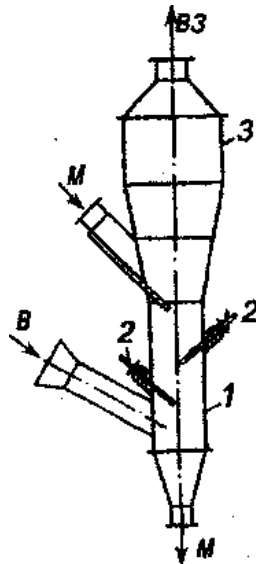


Рисунок 1.7 - Пневмокласифікатор з похилими перфорованими полками:

1 - корпус; 2 - полки; 3 - сепараційна камера.

останньому випадку полки уповільнюють швидкість руху матеріалу, який при падінні інжектують деяку кількість повітря. Зазвичай полки встановлюють каскадом на протилежних сторонах апарату. У деяких конструкціях полки розташовують з одного боку похилого корпусу, а в інших - по обидва боки, один проти одного.

Для усунення пиловиділення в місці розвантаження матеріалу від низу до верху пропускають деякий об'єм повітря, який уносе дрібні частинки. Для

зменшення небажаного виносу крупних частинок, разом з дрібними, верхню частину таких апаратів іноді виконують у вигляді дифузора, в якому для рівномірного розподілу швидкостей потоку по перетину встановлюють випрямляючі ділянки з системи циліндрів, обтічних клиновидних елементів і т.п. Із верхньої сепараційної частини іноді відбирають деяку кількість матеріалу за допомогою воронки або спеціальних відбірників. При цьому зменшується розмір частинок, що уносяться з пневмокласифікатора в пиловловлювачі. Відбір деякої частини матеріалу здійснюють також за допомогою полиць, спрямованих незакріпленим кінцем вгору. Випавший при повороті потоку матеріал скочується по такій полиці до стінки корпусу апарату і йде з нього по наклонному патрубку на додаткову продувку.

Обезпилювання і класифікацію легких полідисперсних матеріалів з крихкими частинками, максимальним розміром до декількох міліметрів (деревне вугілля і т.п.) зручно проводити в висхідному струмені, який витікає з сопла, утвореного двома наклонними полками (рис. 1.8). Великі частинки випадають з струменя і розвантажуються через патрубок, прикріплений до корпусу на рівні входу газу в сопло, а дрібні - переносяться в наступну секцію апарату, де цей процес повторюється при більш низькій швидкості потоку.

Недоліком подібних сепараторів (класифікаторів) є їх велика висота. Щоб її зменшити, над соплом або патрубком, з яких вгору виходить двофазний струмінь, встановлюють різні за формою відбивні поверхні: сферичні, плоскі, що складаються з однієї двох створок [11]. В деяких конструкціях частина матеріалу, що випадає випадають вниз з цих відбивачів продувається частиною повітря, що транспортує матеріал. У ряді пневмокласифікаторов висхідний в трубопроводі потік частинок гальмується як за рахунок зміни напрямку руху, так і в результаті зменшення швидкості несучого потоку. Найчастіше застосовують апарати з перфорованими полицями, встановленими нижче, місця вводу матеріалу (і лише зрідка - вище). Деякі автори вважають [1,7], що найбільш ефективні пневмокласифікатори з 14

однаковими суцільними полками та подачею матеріалу на середню полку. Іншими авторами [12,13], доводиться, що істотне підвищення ефективності вилучення дрібного компонента в унос спостерігається тільки на перших трьох полицях, а потім вона поступово наближується до постійного значення.

Залежно від конструктивних параметрів поличних контактних елементів, обробка зернистих матеріалів в апараті проводиться в різних гідродинамічних режимах. У нижній частині пневмосепаратора вихідний сухий дисперсний матеріал звільняється від дрібної фракції на похилих перфорованих полицях в режимі гравітаційного падаючого шару. Найбільша ступінь знепилення досягається при живому перетині полиць 5% для гранульованих і зернистих матеріалів розміром до 4 мм і 15% для порошкоподібних продуктів розміром до 0,5 мм. Пневмокласифікатор з похилими перфорованими полками застосовується при знепилювання полідисперсних матеріалів, що містять не більше 15-20% дрібних частинок розміром менше 1 мм.

На малюнку 1.8 представлений пневматичний класифікатор сипучих матеріалів в висхідному потоці [14].

Пневматичний класифікатор включає в себе порожнистий корпус 1, що має похиле перфоровані днище 2 з отворами 3 для проходу газового ютока, укріплені всередині корпусу сепараційні елементи 4, встановлений-ні один над одним, що утворюють сепараційні шахти 5, завантажувальний патрубок 6 для подачі вихідного матеріалу, розташований над верхньою кромкою похилого перфорованого днища, патрубок виведення 7 крупного продукту I, закріплений в нижній частині корпусу патрубок 8 виведення газового потоку з дрібним продуктом. Під кожною сепараційною шахтою 5, частина похилого перфорованого днища 2 виконана з виступом 9 в вигляді неправильної трикутної піраміди з основою 10 і вершиною 11, направленою в сторону нахилу перфорованого днища 2, причому хоча б одна грань 12 (верхня) пірамідального виступу 9 виконана перфорованою.

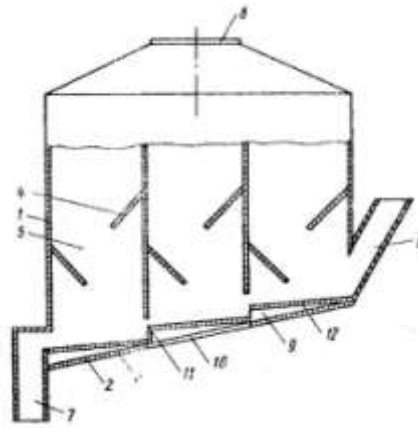


Рисунок 1.8 – Пневматичний класифікатор з висхідним потоком

Пневматичний класифікатор працює наступним чином:

Вихідний матеріал через завантажувальний патрубок 6 подається в порожнистий корпус 1 на похиле перфоровані днище 2 під першу сепараційну шахту 5, де починається процес поділу. Під першою сепараційною шахтою 5 частина матеріалу надходить вгору, в її внутрішню порожнину, де поділяється на велику і дрібну фракцію. Дрібний продукт виноситься газом в патрубок 8 виведення газового потоку з дрібним продуктом, велика фракція опускається по похилому перфорованому днищу 2 до наступної сепараційної шахти 5. При русі по похилому перфорованому днищу 2 великі частинки потрапляють на перфоровану трикутну грань 12 пірамідального виступу 9. Рухаючись по ній, вони продуваються висхідним потоком повітря і, оскільки вершина межі 12 направлена в сторону нахилу перфорованого днища 2, великі частки пересипаються на поверхню похилого перфорованого днища 2, що має великий ухил. Завдяки цьому великі частки набувають велику швидкість руху по похилому перфорованому днищу 2. Оскільки швидкість руху великих часток по похилому перфорованому днищу 2 збільшена, то і їх початкова швидкість на перфорованій межі наступного пірамідального виступу 9 буде більше, а значить не дивлячись на те, що кут нахилу перфорованої межі пірамідального виступу 9 менше, ніж кут нахилу перфорованого днища 2, по поверхні межі виступу 9 великі частинки пройдуть за менший час і швидше потраплять на перфороване днище 2.

Рухаючись таким чином, швидкість великих частинок буде більша від елемента до елемента. Дрібні частинки знаходяться у верхній частині песевдозрідженого шару і ймовірність їх попадання з перфорованої межі пірамідального виступу 9 на похиле перфоровані днище 2 нижче, а ймовірність виносу в сепараційну шахту 5 вище. Вище і швидкість їх виносу з апарату. Перетин апарату представлено на рис.1.9

Таким чином, час проходження перфорованого днища 2 великими і дрібними частинками скорочено, що дозволяє підняти видаткову концентрація і таким чином збільшити продуктивність, При цьому якість поділу не погіршиться, так як локальна концентрація на похилому перфорованому

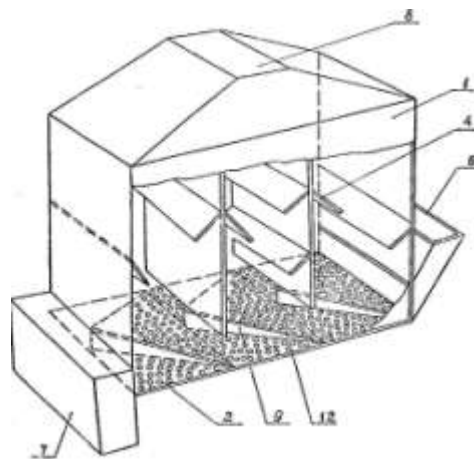


Рисунок 1.9 - Пневматичний класифікатор з висхідним потоком

днищі 2 не підвищиться. Швидкість руху прикордонних класів частинок буде відповідати проміжному значенню між швидкістю руху при куті нахилу грані пірамідального виступу 9 і куті нахилу перфорованого днища 2, що забезпечить якісний розподіл матеріалу при підвищеній продуктивності. Після останньої сепараційної шахти 5 великі частки поступають в патрубок виведення 7 крупного продукту.

Пневматичний класифікатор представлений на рисунку 1.10 перед-призначений для класифікації полідисперсних сипучих матеріалів і може бути використаний в промисловості будматеріалів, гірничодобувної, хімічної та інших галузях промисловості [15].

Пневматичний класифікатор складається з корпусу 1, який складається

з нижньої 2 і верхньої 3 частин. У корпусі 1 встановлені пакети вертикальних вставок 4, що утворюють вертикальні сепараційні канали 5. До вертикальних вставок 4 прикріплені похилі полки 6. Під вставками 4 встановлені розвантажувальні смуги 7 V- подібної форми. Між бічними сторонами смуг 7 є зазори a , симетричні щодо вертикальної осі кожного сепараційного каналу 5. Величина зазору a можна регулювати. З цією метою бічні стінки V- подібних смуг 7 можуть бути з'єднані між собою «шарнірами».

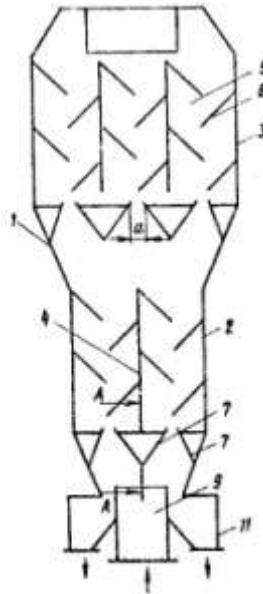


Рисунок 1.10 - Пневматичний класифікатор

На верхній частині 3 корпусу 1 розміщений патрубок 8 відводу повітря і найбільш тонкого продукту поділу. У нижній частині 2 вертикально встановлений патрубок 9 підведення повітря, на якому кріпиться завантажувальний патрубок 10 вихідного матеріалу. У нижній частині 2 корпусу 1 встановлені збірники 11 великої фракції.

Смуги 7, встановлені між стінками 12 і 13, своїми внутрішніми поверхнями спільно з пластинами 14 утворюють канали відводу продуктів поділу. Пластини 14 встановлені з нахилом до отворів в стінки 13, на якій, охоплюючи ці отвори, кріпляться збірники 15 проміжних фракцій. Вид збоку представлений на рис. 1.11

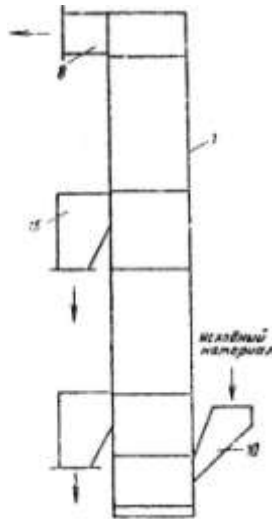


Рисунок 1.11 - Пневматичний класифікатор (вид збоку).

Пневматичний класифікатор працює наступним чином:

Вихідний матеріал через завантажувальний патрубок 10 подається в патрубок підведення повітря, де підхоплюється повітряним потоком і транспортується по сепараційним каналах 5. У зоні між смугами 7 і патрубками 9 в результаті зниження швидкості повітряного потоку відбувається відділення найбільш великих часток, які, скочуючись по бічних стінках, попадають в бункера 11. Решта матеріалу з повітрям проходить через зазори між V-подібними смугами 7, де під дією значно більших швидкостей повітряного потоку відбувається часткове диспергування агрегатів частинок. При русі по сепараційним каналах з пилоповітряної потоку виділяється матеріал більших фракцій, що потрапляють на пластини 14, встановлені в V-подібних смугах, за якими через отвори в стінці 13 надходить до збірника 15, проміжних продуктів поділу. Більш тонкі фракції з повітряним потоком надходять в наступну секцію сепараційних каналів, де відбуваються аналогічні процеси. Найтонший продукт з повітрям направляється через патрубок 8 в пилоочисного систему. Кількість секцій та сепараційних каналів в них визначається необхідною кількістю і величиною проміжних фракцій, а також продуктивності класифікатора.

Основна відмінність даного апарату від інших - з метою підвищення

продуктивності і якості поділу за рахунок рівномірного розподілення пилоповітряної суміші в сепараційних каналах, розвантажувальні смуги встановлені в горизонтальній площині під вставками з можливістю утворення зазорів, симетричних щодо вертикальних осей сепараційних каналів, при цьому кількість сепараційних каналів збільшується в напрямку руху повітряного потоку.

Пневматичний класифікатор [16] представлений на рисунку 1.12 призначений для пневматичної класифікації різних сипучих матеріалів у висхідному потоці повітря і для поділу матеріалів крупністю не більше 10 мм на два або кілька продуктів по граничному зерну 5 - 0,05 мм, а також для фракціонування і збагачення сипучих матеріалів в гірській, металургійній, хімічній, будівельній та інших галузях промисловості.

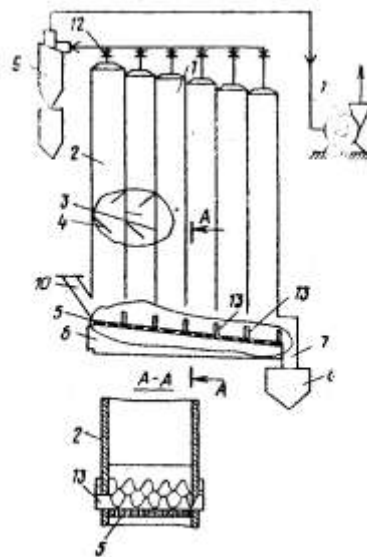


Рисунок 1.12 – Пневматичний класифікатор

Пневматичний класифікатор включає корпус 1, вертикальні і бічні стінки 2 і поперечні вставки 3, що утворюють сепараційні колони з пересипними пристосуваннями 4, що встановлені у нижній частині корпусу, похилу розподільну решітку 5, патрубок 6 для підведення повітря, розвантажувальні пристрої у вигляді патрубків 7, бункера 8 і циклону 9, завантажувальний патрубок 10, вентилятор 11, вентилялі 12 для регулювання швидкості потоку в колонах. Розподільна решітка 5 забезпечена змінними

перегородками 13, виконаними з пластин, верхній обріз яких має хвилеподібну форму. Класифікатор комплектується набором хвилеподібних перегородок 13.

Класифікатор працює наступним чином:

Вихідний матеріал через завантажувальний патрубок 10 подається на розподільчу решітку 5 класифікатора. Повітря надходить знизу через решітку 5 з патрубка 6, таким чином, на решітці створюється псевдозріджений шар матеріалу. Матеріал провіюють на решітці при своєму русі вниз. Частина його (тонкі фракції) надходить (вдувається) в сепараційні колонки. Великі фракції, рухаючись вниз по решітці 5, багаторазово послідовно піддаються очистці і через розвантажувальний патрубок 7 надходять в бункер 8. Завдяки наявності змінних перегородок 13, встановлених на решітці 5, матеріал перед ними гальмується, причому, оскільки верхній обріз пластин має хвилеподібну форму великі частки проходять наріз западини перегородок 13 і надходять на вивантаження. Підбираючи необхідний живий перетин змінних перегородок 13, досягається однакова концентрації матеріалу по всій довжині решітки 5. Таким чином, завдяки установці перегородок 13, концентрація матеріалу по всій довжині решітки однакова. Регулювання швидкості повітря в колонах здійснюється за допомогою вентилів 12. Тонкі фракції відокремлюються від повітря в циклонах 9.

Завдяки тому, що концентрація матеріалу і швидкість повітряного потоку однакові по довжині решітки і в кожній сепараційній колонці, процес поділу в них протікає ефективно, межа поділу підтримується однаковою і незмінною, що забезпечує більш високу якість поділу.

Основна відмінність даного апарату від інших - з метою поліпшення якості поділу за рахунок рівномірної концентрації матеріалу по довжині розподільної решітки, остання забезпечена змінними перегородками, виконаними у вигляді пластин, встановлених на розподільній решітці під вертикальними вставками і мають звернений до них обріз хвилеподібною форми.

Пневматичний класифікатор [17] представлений на рисунку 1.13 призначений для пневматичної класифікації полідисперсних матеріалів і використовується для фракціонування карбонатних відходів каменевидобування з метою отримання мінеральної муки і наповнювачів для бетонів.

Класифікатор включає звужуючу камеру 1 класифікації, у верхній частині якої встановлено завантажувальний бункер 2 і живильник 3. Під живильником 3 розташоване диспергуюче обладнання, виконане у вигляді полиць 4, встановлених на горизонтальних осях 5 (тобто зміщених щодо центру ваги полиць 4) з можливістю повороту і фіксації. Регулюючі полиці 6 встановлені з можливістю повороту. Під диспергируючим пристосуванням 4

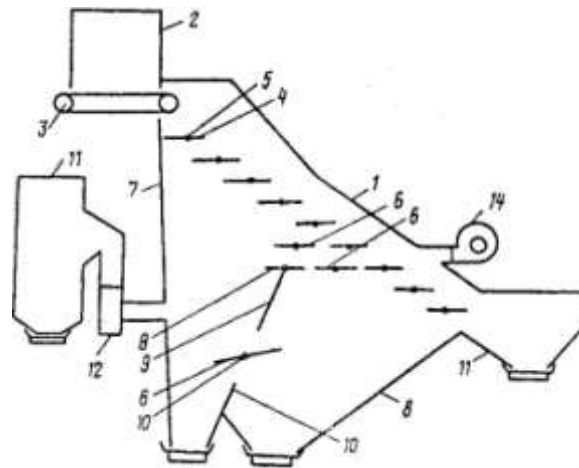


Рисунок 1.13 - Пневматичний класифікатор

розташовані розвантажувальні бункери для збору мінеральної муки 7 і для збору піску 8 з роздільною перегородкою 9, в якій виконано вікно 10. Нижня частина корпусу класифікатора з'єднана з розвантажувальним бункером 11 для збору щебеню. Бункер 7 з'єднаний з вентилятором 12 і циклоном 13. Вентилятор 14 направлений в сторону бункера 7. Одна регулююча полка 6 встановлена у вікні 10 розділової перегородки 9 і виконана квадратної, інша - на розділовій перегородці 9, інші - між полицями 4 і розділової перегородкою 9. Механізм повороту полиць 4 складається з гайки 15, болта 16, еліпсою обмежувача 17 і важеля 18.

Класифікатор працює наступним чином:

Перед початком роботи класифікатора положення полиць 4 на осі 5 задається наступним чином. Відкручується гайка 15 від болта 16. Повертаються еліпсовідні обмежувачі 17 та фіксуються болтом 16 з гайкою 15, щоб важіль 18 міг повертатися на кут $2 \text{ } \angle$, де \angle - кут нахилу решітки залежно від рівноважної вологості карбонатних відходів каменевидобування.

Включають, живильник 3, і на всі полки 4 насипаються карбонатні відходи. Потім включаються вентилятори 12 і 14. Полки 4 під дією аеродинамічного напору і маси по сходинках струменя нахилиються на оптимальний кут \angle .

При утворенні на полицях 4 злиплих грудок матеріалу, полку 4 під дією своєї сили тяжіння повертається на кут, злипла грудка падає на регулюючі полки 6 і руйнується. Одночасно відбувається деяке підсушування матеріалу і вирівнювання вологості матеріалів.

При порушенні рівноваги на полицях 6 вони нахилиються на кут $2 \text{ } \angle$ і висипають підсушені карбонатні частинки, які падають в бункер 8, а дрібна фракція або йде в бункер 7 через вікно 10, або осідає на полиці 6. Вентилятор 12 захоплює дрібні частинки з полиць 6 над бункером 7 і із зони над полками 6. Дрібні частинки осідають в бункері 7 і циклоні 13. Останній з'єднується з двома вентиляторами 12 і 14. Вентилятор 14 створює аеродинамічний тиск на частки і виносить їх у верхню частину шару. Потім дрібні частинки, як більш легкі, падають в верхню частину камери 1 і через полки 4 в бункер 7. Повітря в класифікаторі рухається по замкнутій схемі, що виключає пиловиділення.

Основна відмінність даного апарату від інших - регульована полка, встановлена у вікні розділової перегородки, виконана квадратної.

Пневматичний класифікатор [18] представлений на рисунку 1.14 призначений для повітряної класифікації сипучих матеріалів і може бути використаний у вугільній, хімічній та інших галузях промисловості.

Пневмокласифікатор складається з двох суміжних пневмошахт: первинної 1 і вторинної 2. В нижній частині первинної пневмошахти розташовані патрубки для подачі вихідного матеріалу 3 і виходу великого

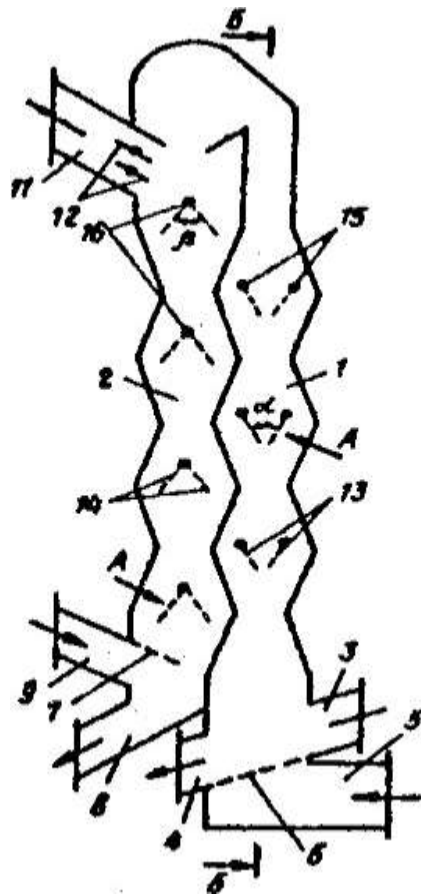


Рисунок 1.14 - Пневматичний класифікатор

продукту 4, а також, штуцер 5 для забору повітря, перфоровану решітку 6. Нижня частина пневмошахти 2 забезпечена аналогічною решіткою 7, але перекриває тільки частину перетину шахти, а також патрубками для виходу дрібного продукту 8 і для забору повітря 9. У верхній частині пневмошахти знаходяться направляючі козирки 10 і штуцер 11 для відведення пилоповітряної суміші, обладнаний жалюзьями 12.

Корпус апарату має прямокутний перетин. Причому дві протилежних стінки кожної з пневмошахт мають форму зигзага, а дві інші стінки - плоскі. Зигзагоподібні стінки встановлені одна відносно іншої таким чином, що поперечний переріз кожної пневмошахти по черзі звужується і розширюється по висоті апарату. В розширеннях пневмошахт 1 і 2 встановлені перфоровані вставки 13 і 14, орієнтовані вершиною скатів в сторону завантажувального пристосування. Вставки 13 установлені з утвореним зазором між собою в вершині схилу і закріплені за допомогою

шарнірів 15. Скати вставок 14 з'єднані між собою шарнірами 16, встановленими на вертикальній осі пневмошахти 2.

При виборі величини кутів між скатами керуються вимогами по дисперсному складу продуктів класифікації, так як змінюючи кути можна регулювати час перебування твердого матеріалу в робочій зоні класифікатора, а отже, і склад одержуваних продуктів. Для інтенсифікації процесу взаємодії повітряного потоку з зернистим матеріалом скати вставок 13 і 14 виконані перфорованими, їх живий перетин залежить від складу вихідного продукту і може змінюватися від 10 до 30%.

Пневмокласифікатор працює наступним чином:

Вихідний матеріал подається в патрубок 3 і потрапляє на похилу перфоровану полицю. Рухаючись по ній, матеріал інтенсивно продувається потоком повітря через перфорацію і направляється вгору. Грубі фракції (крупний продукт) видаляються через патрубок 4. Решта матеріал несеться потоком і проходить послідовно кілька ступенів очищення, рухаючись від однієї вставки до іншої. Частинки, що потрапляють в простір між скатами вставок, провалюються в щілинний зазор і знову беруть участь в процесі розділення. Змінюючи величину щілинного зазору, можна регулювати час перебування частинок в робочій зоні і ефективність поділу в пневмошахті 1.

Пройшовши останню ступінь очищення, двофазний потік потрапляє по сполучному коліну в пневмошахту 2. Остання працює в режимі протитечії. Досягнувши верхньої вставки 16, матеріал розділяється на два потоки, які, зсипоючись з скатів, 10 попадають на похилі ділянки зигзагоподібних стінок. Рухаючись по ним до осі камери, обидва потоки перемішуються і потрапляють на вставку і т.д.

Розміщення в розширеннях пневмошахт перфорованих вставок забезпечує наступні переваги пропонованої конструкції в порівнянні з відомими. Вставки в даному класифікаторі виконують функції відбивної і просіючого пристрою. З одного боку, вони обмежують висоту сплесків твердої фази, що виникають в результаті фонтануючого руху останньої. З

іншого боку, при фонтанування твердого матеріалу відбувається розподіл фракцій по висоті таким чином, що в верхніх перетинах фонтану знаходяться переважно дрібнодисперсні фракції. Досягаючи вставки, останні разом з повітрям проходять через вставки скатів і насичують потоки матеріалу, що рухаються по ним з верхніх шарів поділу. Подібне насичення дрібнодисперсними фракціями повітряного потоку сприяє підвищенню ефективності процесу поділу.

Основна відмінність даного апарату від інших - з метою покращення ефективності класифікації за рахунок механічного відділення великої фракції від дрібної в розширеннях пневмошахти, вставки виконані у вигляді двосхилих перфорованих пластин, орієнтованих вершиною скатів в сторону завантажувального пристрою.

Пневматичний класифікатор [19] представлений на рисунку 1.15 призначений для поділу сипучих матеріалів в висхідному потоці повітря і може бути використаний в хімічній, зернопереробній, будівельній та інших видах виробництв.

Пневмокласифікатор представлений на складається з вертикальної шахти прямокутного перерізу 1. Усередині шахти розташовані набори 2 перфорованих двоскатних 3 і плоских 4 полиць, причому двухскатна полка зрушена на половину ширини шахти в горизонтальній площині щодо плоскої полки, а кожен набір 2 повернутий на 180° навколо осі апарату. Ширина полиць 3 і 4 дорівнює між собою і складає половину ширини шахти. Над шахтою встановлений сепаратор 5, який перешкоджає випадковому виносу крупних часток з класифікатора. Патрубок 6 служить для подачі вихідного матеріалу, патрубок 7 - для введення повітря, патрубок 8 - для виведення дрібної фракції, а патрубок 9 для виходу великої фракції.

Пневмокласифікатор працює наступним чином:

Вихідний матеріал безперервно подається через патрубок 6 в робочу зону і рухається вниз по полицях 3 і 4.

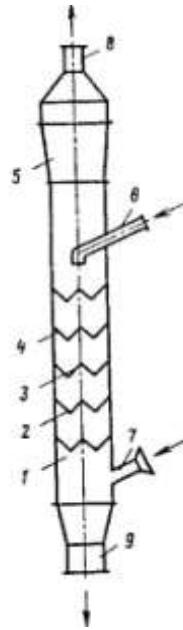


Рисунок 1.15 - Пневматичний класифікатор

Завдяки тому, що двохскатная полка зрушена в горизонтальній площині відносно плоскої полки, прохідний перетин апарату, а отже, поверхня контакту фаз збільшені в порівнянні з відомим пристроєм.

Назустріч матеріалу через патрубок 7 рухається повітря, який, огинаючи полки 3 і 4 і проходячи через перфоровані похилі ділянки, пронизує рухомий шар сипучого матеріалу в декількох напрямках завдяки повороту кожного набору 2 на 180° навколо своєї осі, тим самим рівномірно розподіляючи частинки матеріалу по висоті шахти, в результаті чого значно збільшується поверхня контакту фаз. Крім того, завдяки поворотів кожного набору полиць на 180° навколо своєї осі повітря ділиться на три потоки, які зменшують негативний вплив пристінкового ефекту на якість розділення матеріалу. Легка фракція видаляється через патрубок 8, а важка - через патрубок 9.

Основна відмінність даного апарату від інших - що, з метою підвищення ефективності класифікації за рахунок оптимізації технологічного режиму поділу, плоскі і подвійні перфоровані полки рис. 1.16 кожного набору встановлені на одному рівні, ширина плоских полиць дорівнює

ширині двосхилим перфорованим полиці і становить половину ширини шахти, при

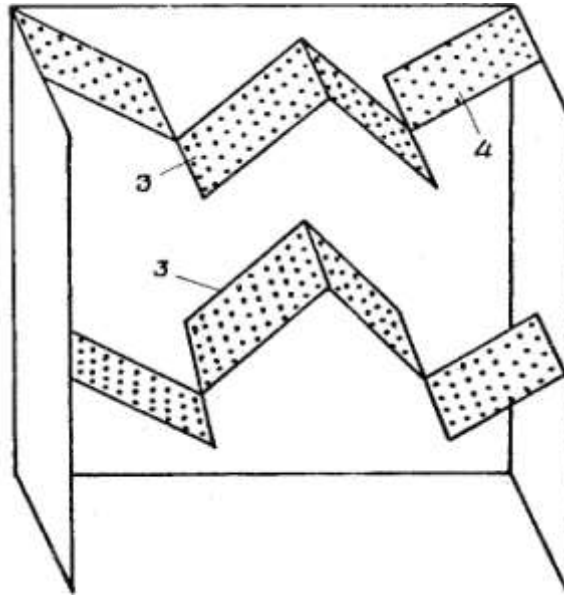


Рисунок 1.16 - Перфоровані полки

цьому плоскі і двохскатні перфоровані полиці зміщені одна відносно іншій в плані на половину ширини шахти, причому плоскі і двохскатні перфоровані полки кожного наступного набору повернені навколо осі корпусу щодо попереднього набору на кут 180° .

Пневматичний класифікатор [20], що представлений на рисунку 1.17 призначення для поділу твердих вологих матеріалів на фракції в висхідному потоці, що застосовуються в гірничій справі та будівництві.

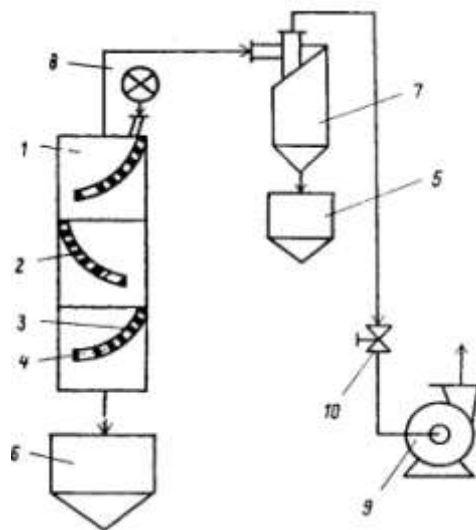


Рисунок 1.17 - Пневматичний класифікатор

Класифікатор включає в себе сепараційні секції 1, на стінках яких консольно закріплені пересипні полки 2 рис.1.18, виконані у вигляді дугових колосникових сит, з нагрівальними елементами 3. При цьому ширина зазорів між стрижнями 4 сита збільшується у напрямку до зони основної сепарації. Крім того, є завантажувальний 5 і розвантажувальний 6 пристрої, а також циклон 7.

На класифікатор завдяки живильнику 8 подається матеріал, а вентиляційна установка 9 служить для відділення дрібних частинок і регулюється вентиляем 10.

Класифікатор працює наступним чином:

Дроблена продукція живильником 8 подається на дугові колосникові полки 2 секції 1 класифікатора. При стіканні роздробленої маси по дуговим полкам зі зростаючою шириною зазорів 4 між стрижнями колосників відбувається рівномірний розподіл фракційного матеріалу по перетину класифікатора. Матеріал у міру переміщення по пересипним полкам, виконаним у вигляді нагрівальних елементів, просушується і потрапляє в центральну частину вертикального класифікатора, де відбувається ефективний поділ на дрібні і великі фракції висхідним потоком повітря.

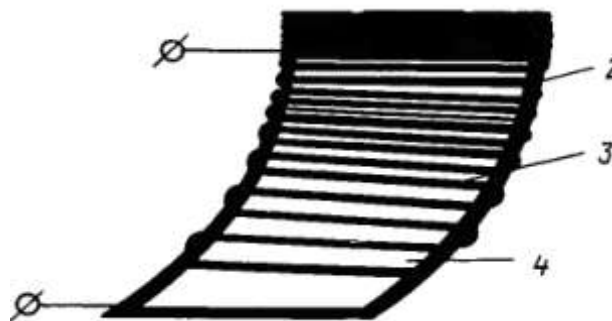


Рисунок 1.18 – Пересипні полки

Основна відмінність даного апарату від інших - з метою покращення якості поділу і продуктивності поділу вологих матеріалів, пересипні полки рис. 1.18 виконані у вигляді дугових колосникових сит, набраних з нагнітальних елементів, причому ширина зазорів між стрижнями сита збільшується від стінок до вільного кінця пересипних полиць.

Батарейний пневмокласифікатор [21] представлений на рисунку 1.19 призначений для класифікації сипучих матеріалів на необхідне число фракцій.

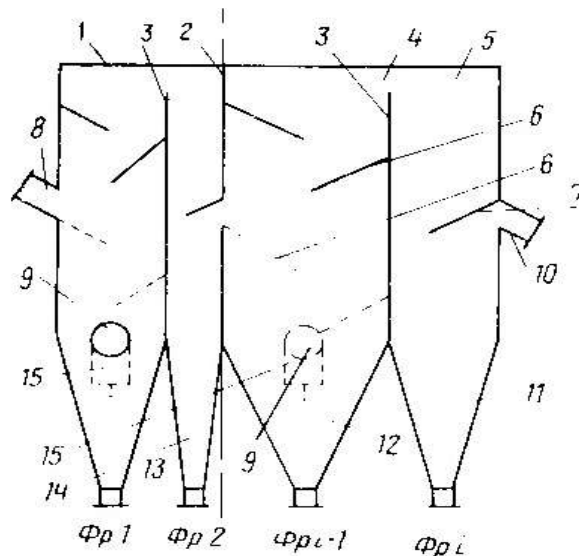


Рисунок 1.19 - Батарейний пневмокласифікатор

Класифікатор складається з прямокутних пневмокамер 1, послідовно з'єднаних між собою, які розділені вертикальними перегородками 2 і 3. Перегородки 2 поділяють пневмокамери між собою, які в свою чергу діляться перегородками 3 на гравітаційні (крупні частини) 4 і інерційні (менші частинки) 5 камери. У гравітаційних камерах 4 похило встановлені пересипні полки 6, причому в нижній частині від місця подачі вихідного матеріала вони виконані перфорованими. Над вихідними отворами в інерційних камерах 5 встановлені відбивні пластини 7. Вхідний отвір 5 служить для подачі матеріалу, патрубку 9 для подачі вертикального повітряного потоку, а патрубків 10 - для виведення запиленого газу. Для відбору фракцій призначена система збору (бункери) 11 - 14, встановлених в нижній частині кожної камери.

Класифікатор працює наступним чином:

Полідисперсний матеріал безперервно подається через занрузочне пристосування у вікно 8 і, пересипаючись по нижньому каскаду перфорованих полиць, продувається висхідним потоком повітря, засмоктується з патрубків 9. Велика фракція (фр. 1) випадає в бункер 14, а

інший матеріал виноситься вгору і потрапляє в каскад суцільних полиць, де завдяки вихровим потокам, під дією відцентрових сил додатково звільняється від крупних часток. Дрібні фракції через канал у верхній частині вертикальної перегородки 3 потрапляють в інерційну камеру 5, де під дією сил інерції, що виникають при обгинанні відбивної пластини, осідає в бункер 13 більш дрібна фракція (фр. 2). Частина матеріалу, що залишилася через вивихідний отвір в перегородці 2 потрапляє в наступну гравітаційну камеру, і процес поділу повторюється знову.

Завдяки тому, що перетин кожної гравітаційної камери збільшується в сторону виділення дрібних фракцій і перевищує перетин подальшої інерційної камери, зменшується швидкість руху в них повітряного потоку і його транспортуюча здатність. Це в кінцевому рахунку підвищує чіткість межі розділення, так як в кожній камері осідають частки певних розмірів і питомої ваги. При досягненні необхідного числа фракцій шляхом приєднання потрібної кількості пневмокамер пилогазовий потік через патрубков 10 направляється на очистку.

При подачі додаткової кількості повітря в гравітаційні камери через патрубки, що забезпечені індивідуальними регуляторами 15 витрати повітря, можна домогтися чіткого виділення часток необхідного розміру незалежно від перетину колонок.

Основна відмінність даного апарату від інших - з метою покращення продуктивності за рахунок безперервного одноциклового процесу пневмокласифікації, кожна пневмокамера забезпечена вертикальною перегородкою, що ділить її на дві нерівні частини, по'язаних між собою з верхньою частиною пневмокамери, при цьому збірники готових фракцій встановлені індивідуально в кожній частині пневмокамери, вихідні отвори розташовані в менших частинах пневмокамер, а вхідні отвори і патрубки подачі вертикального потоку повітря в великих, причому великі і менші частини пневмокамер виконані з поперечним перерізом, послідовно збільшується від пневмокамери до пневмокамери.

Пневматичний класифікатор [22] представлений на рисунку 1.19 призначений для збагачення корисних копалин.

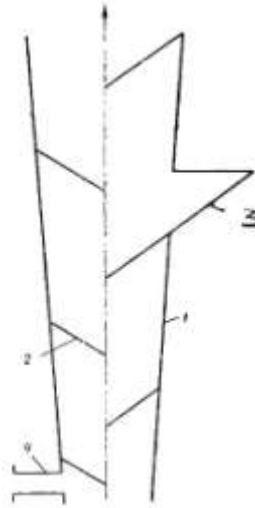


Рисунок 1.19 – Пневматичний класифікатор

Класифікатор включає робочу камеру 1 конусоподібної форми, в якій є похилі пересипні полки 2, розташовані зі змінним кроком. Матеріал в апарат завантажується через патрубок 3, подача повітря здійснюється по патрубку 4. Поділ в апараті здійснюється за принципом протитечії. Над місцем подачі матеріалу в апарат встановлено одна або дві полиці, що сприяє додатковому очищенні виділених дрібних і легких фракцій. У такій конструкції класифікатора в нижній частині апарату швидкості дещо перевищують середні швидкості витання часток граничної крупності, у верхній його частині - вони дещо менше. Це призводить до накопичення в зоні поділу частинок граничної крупності, що позначається на різкому зростанні чистоти виходу дрібного продукту. Розвантаження апарату від великих і важких фракцій здійснюється в нижній частині, віднесені з класифікатора потоком повітря частинки уловлюються в спеціальному циклоні.

Основна відмінність даного апарату від інших - з метою підвищення ефективності процесу поділу, робоча камера забезпечена полицями, розташованими під кутом до стінок в шаховому порядку зі змінним кроком.

Пневматичний класифікатор [23] представлений на рисунку 1.20 призначений для обробки зернистих матеріалів і може застосовуватися в хімічній, металургійній, будівельній та інших галузях господарства, зокрема

для фракціонування полідисперсних сипучих матеріалів, і дозволяє підвищити якість класифікації.

Пневматичний класифікатор містить корпус, що складається з нижньої секції 1 прямокутного перетину і верхньої секції 2, патрубку введення 3 і виведення 4 матеріалу, патрубки підведення газу 5 і відведення аеросуміші 6.

У секції 1 розташовані пересипні полки 7. У секції 2 розташована газорозподільна решітка 8 з вертикально 20 встановлених вирівнюючих елементів 9, які складаються з ділянок 10 постійного поперечного перерізу, ділянок 11 клиновидного поперечного перерізу з перфорацією в вигляді горизонтальних щілиновидних прорізів 12, пластин 13 і мають відкриту знизу внутрішню порожнину 14. Апарат був розроблений з метою підвищення якості продуктів поділу шляхом збільшення ефективності процесу класифікації на 3-5% за рахунок зниження швидкості потоку в просторах між вирівнюючими елементами і додаткового провіювання аеросуміші струменями газу, що виходять з перфорації, розташованої на клиноподібних ділянках елементів.

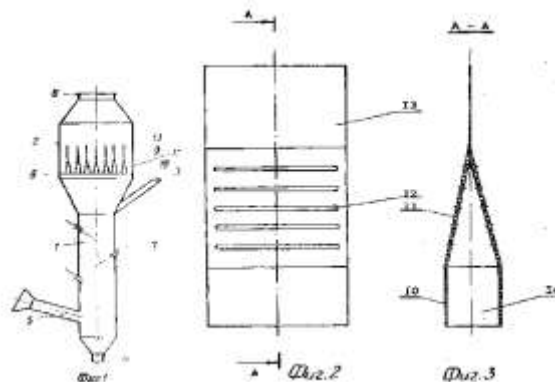


Рисунок 1.20 – Пневматичний класифікатор

На фіг. 1 представлений класифікатор, розріз; на фіг. 2 - вирівнюючий елемент; на фіг. 3 - розріз А-А на фіг. 2.

Для досягнення поставленої мети в пневматичному класифікаторі, що включає корпус, що складається з нижньої секції прямокутного перетину з

перфорованими пересипними полками і верхньої секції з вертикально встановленими вирівнюючими елементами, виконаними з розташованих знизу вгору плавно сполучених між собою ділянок постійного поперечного перерізу і клиновидного поперечного перерізу і пластини, патрубка введення матеріалу, встановленого між перфорованими полицями і вирівнюючими елементами, патрубка виведення крупного матеріалу і підведення газу, розташованого в нижній частині корпусу, і патрубка відводу аеросуміші, встановленого у верхній частині корпусу, вирівнюючі елементи виконані порожнистими і відкритими знизу, при цьому клиновидні ділянки вирівнюючих елементів виконані перфорованими, перфорація може мати 5 форм горизонтально або вертикально розташованих щілиноподібних прорізів, а також круглих отворів.

Формула винаходу: Пневматичний класифікатор, що включає корпус, що складається з нижньої 30 секції прямокутного перетину з перфорованими пересипними полками і верхньої секції з вертикально встановленими вирівнюючими елементами, виконаними з розташованих знизу вгору плавно сполучених між собою ділянок постійного поперечного перерізу і клиновидного поперечного перерізу і пластини, патрубка введення матеріалу, встановленого між перфорованими полицями і вирівнюючими елементами, патрубки виведення крупного матеріалу і підведення газу, розташованих в нижній частині корпусу, і патрубок відводу аеросуміші, встановленого у верхній частині корпусу, відрізняється тим, що, з метою підвищення якості класифікації, вирівнюючі елементи виконані порожнистими і відкритими знизу, при цьому клиновидні ділянки вирівнюють елементів виконані перфорованими. Також класифікатор відрізняється тим, що перфорація виконана у вигляді горизонтально розташованих щілиноподібних прорізів.

Гравітаційний повітряний сепаратор [24] представлений на рисунку 1.21 призначений для поділу полідисперсного порошку на кілька

монофракцій, з декількома встановленими один над іншим, що збільшуються за розмірами конусами, забезпеченими збірками фракцій.

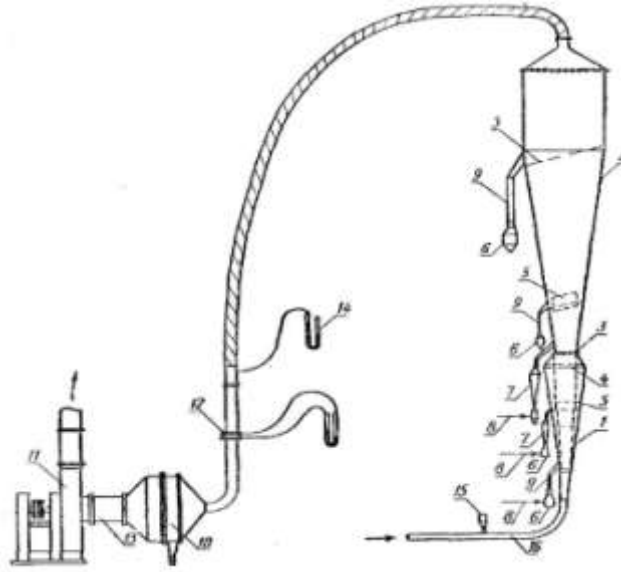


Рисунок 1.21 – Гравітаційний повітряний сепаратор

Сепаратор складається з декількох встановлених один над іншим конусів 1 і 2, що збільшуються від низу до верху. Площа нижньої основи 3 вишележащого конуса 2 менше, ніж площа верхнього підстави 4 нижчого конуса 1. Усередині конусів 1 і 2 встановлені поперечні пластини 5 з отворами (тарілки), які накопичують на різних рівнях конусів 1 і 2 частки матеріалу певних розмірів і цим забезпечують одночасну видачу декількох фракцій в збірники 6).

На висоті 3 - 5 см., від рівня пластин 5 в стінці конусів прорізани отвори, до яких припаяні трубки з меншими за розмірами конусів 7. До них і приєднуються збірники 6 для прийому фракцій порошку. У кожному із збірок є трубка 8 для надходження повітря. У трьох з п'яти пластин 5 замість конусів 7 можуть бути встановлені вертикальні трубки 9. Усередині додаткових конусів 7 і трубок 9 встановлюються поперечні пластини 5.

Верхній конус 2 з'єднується з матерчатим фільтром 10, який підключається до вентилятора 11. Кількість повітря, що проходить через сепаратор, вимірюється діафрагмою 12, а кількість повітря, що надходить в

додаткові конуса 7, - реометром. Зміна величини подачі повітря здійснюється за допомогою шибера 13, опір вимірюється ртутним манометром 14.

Порошок в сепаратор подається з воронки 15 через отвір в трубі 16, по якій захоплений повітрям порошок потрапляє на першу тарілку 5 в нижню частину конуса 1. Велика швидкість руху повітря забезпечує енергійне кипіння порошку. У процесі кипіння відбувається винесення частинок менше певного розміру в верхній конус 2. При цьому частки крупніше 0,3 мм з нижнього конуса не несуться, так як при русі потоку вгору відбувається поступове зменшення швидкості руху повітря. На пластині (тарілки) 5 відбувається поступове збагачення полідисперсної суміші великими фракціями і накопичення матеріалу. При досягненні киплячим шаром певної висоти починається розвантаження матеріалу через отвір в корпусі. Порошок, падаючи з пластини на пластину 5, рівномірно розподіляється по перетину. Подається назустріч порошку повітря видуває високодисперсні фракції.

Аналогічним чином протікає процес поділу на всіх пластинах (тарілках) 5, при цьому чим вище розташована пластина (тарілка) в конусі, тим тонший продукт виходить з наявного в ній додаткового конуса 7.

Істотне поліпшення сепарації в описаному пристрої вдалося досягти шляхом забезпечення енергійного кипіння порошку в нижній частині сепаратора і усунення - виносу великих часток в вищерозміщених його частина. Невеликий діаметр нижньої частини верхнього конуса 2 дозволяє створити великі швидкості і забезпечити максимальну швидкість протікання процесу видування високодисперсних фракцій. Як і на всіх попередніх пластинах 5 (тарілках), на нижній пластині верхнього конуса 2 накопичуються найбільші частки і розвантажуються в додатковий конус 7, високодисперсні частинки несуться сильним потоком повітря вгору апарату як з тарілки, так і з додаткового конуса. Віднесення великих часток

усувається внаслідок зменшення швидкості руху повітря в міру віддалення від низу конуса.

Таким чином, застосування декількох конусів, нижня частина вищого з яких менше верхнього підстави нижчого конуса, дозволяє інтенсифікувати процес поділу і поліпшити однорідність одержуваних фракцій.

Установка на певній висоті всередині обох конусів сепаратора пластин 5 (тарілок) з отворами, дозволяє здійснити одночасне отримання кількох фракцій. В отворах кожної тарілки швидкість руху повітря більше, ніж у вільному перетині сепаратора над і під тарілкою. Тому частинки, що надходять на тарілку, не можуть провалитися через отвори і відбувається поступове накопичення частинок певного розміру. При цьому шар частинок знаходиться в умовах енергійного кипіння, що забезпечує винесення вгору сепаратора більш дрібних частинок.

Основна відмінність апарату полягає в тому, що, з метою забезпечення сепарації матеріалу в киплячому шарі і підвтримання часу перебування частинок матеріалу в потоці, площі нижніх підстав верхніх конусів виконані меншими площі верхніх підстав нижчих конусів, а всередині конусів встановлені поперечні пластини з отворами (тарілки), призначені для накопичення на різних рівнях конусів частинок матеріалу певних розмірів і забезпечення цим одночасної видачі декількох фракцій в збірники.

Пневмокласифікатор [25] представлений на рисунку 1.22 призначений для класифікації сипучих матеріалів на необхідне число фракцій.

Корпус 1 пневматичного класифікатора складається з верхньої 2 і нижньої 3 секцій. У нижній секції 3 квадратного перетину встановлені похилі полки 4, виконані з перфорацією у вигляді поздовжніх прорізів. Полки мають можливість переміщатися в опорах 5, перекриваючи тим самим перетин секцій. Через колектор 6 надходить повітря, витрата якого регулюється шибром 7. Верхня секція має прямокутний перетин, при цьому дві стінки паралельні одна одній, а дві інші - утворюють розширення догори.

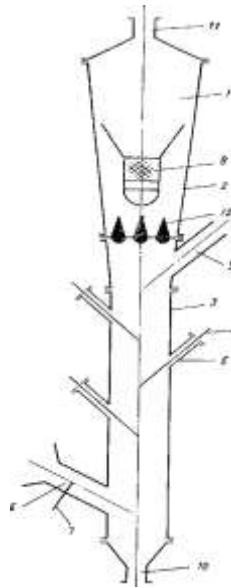


Рисунок 1.22 – Пневмокласифікатор

Усередині встановлений розвантажувальний елемент 8 для виведення матеріалу певного гранулометричного складу. Подача матеріалу здійснюється через патрубок 9, а відведення 5 крупнозернистих частинок і пилу, відповідно через патрубки 10 і 11. Для рівномірного розподілу двофазного потоку по перетину апарату встановлюється клиноподібна решітка 12.

Пневматичний класифікатор працює наступним чином:

Сипучий матеріал подається в класифікатор через патрубок 9 в нижню квадратну секцію 3 і рухається вниз по похилих полицях 4. Назустріч потоку сипучого матеріалу через колектор 6 надходить повітря. У нижній секції відбувається первинне розділення вихідного матеріалу на фракції залежно від аеродинамічних характеристик частинок за рахунок того, що повітря, проходячи через прорізи похилих полиць 4, пронизує рухомий шар сипучого матеріалу.

Переміщення полиць в опорах 5 дозволяє регулювати швидкість повітряного потоку в нижній секції. Крупнозерниста фракція видаляється з апарату через патрубок 10. Частинки середньої крупності транспортуються повітряним потоком у верхню секцію 2, де, проходячи через клиноподібну решітку 12, і уловлюються розвантажувальним елементом 8 і виводяться з

апарату. Пилові фракції матеріалу видаляються з апарату через патрубок 11 і надходять на пилеочистки. Пневматичний класифікатор конструктивно простий і зручний в обслуговуванні, має малу гідравлічним опором і великою ефективністю при поділі сипучого матеріалу.

Формула винаходу. Пневматичний класифікатор, включає корпус, що складається з верхньої та нижньої секції, похилих пересипних полок, патрубок для підведення і відведення матеріалу і повітря. З метою підвищення ефективності поділу вихідного матеріалу і поліпшення якості продуктів поділу, похилі полки встановлені з можливістю поступального переміщення в опорах. Також класифікатор відрізняється тим, що похилі полки виконані перфорованими.

Пневмокласифікатор [26] представлений на рисунку 1.23 призначений для пневматичної класифікації полідисперсних сипучих матеріалів.

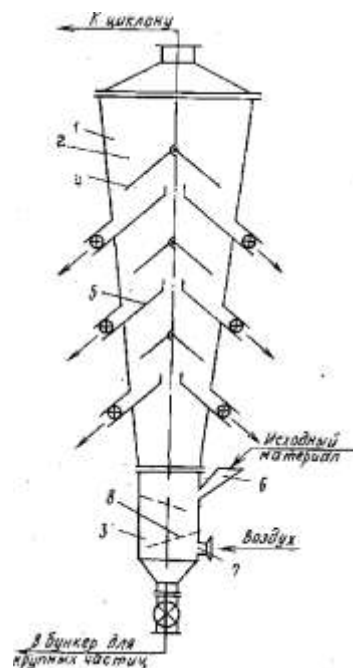


Рисунок 1.23 – Пневматичний класифікатор

Недоліком цього класифікатора є низька продуктивність апарату, яка різко падає при поділі високодисперсних і волокнистих матеріалів, викликана наявністю каскадної установки пересипних полиць, що знижують

швидкість просування матеріалів, а також невисоку якість поділу. Крім того, виникнення вихрового потоку під кожною полицею підвищує гідравлічний опір і передрібнення матеріалу.

Класифікатор забезпечений встановленими у верхній частині корпусу попарно і шарнірно закріпленими по осі класифікатора відбивними полками і встановленими в нижній частині корпусу перфорованими полицями, розташованими в шаховому порядку, при цьому нижня частина корпусу виконана з однаковим перетином по висоті.

Класифікатор включає корпус 1, який складається з верхньої 2 і нижньої 3 конічних частин. У верхній конічній частині 2 розташовані суцільні відбивні полки 4, шарнірне закріплення яких дасть можливість змінювати кут між розташованими полками. Крім того є прийомні полки 5, які грають роль відбірників окремих фракцій. Нижня частина 3 являє собою вертикальний канал з патрубками 6 і 7 для введення матеріалу і подачі повітря відповідно. На стінках секції з протилежних сторін під кутом в шаховому порядку закріплені перфоровані полки 8. Верхня частина з'єднана з циклоном, 10 а нижня зі спеціальним бункером, в який випадають найбільш великі частки.

Класифікатор працює наступним чином:

Матеріал подається через патрубок 6 на похилу перфоровану полицю 8. Тут потік матеріалу гальмується і повітрям, що подається через патрубок 7, псевдозріджується. Великі частинки випадають вниз, а інший матеріал, підхоплений висхідним потоком повітря, спрямовується вгору, в конічну 2 частину корпусу. У ній частки матеріалу по черзі огинають відбивні полки 4 і внаслідок різкого зменшення швидкості потоку, а також виникнення при повороті відцентрової сили на кожен парі прийомних полиць 5 з потоку випадають найбільш великі частки матеріалу, причому по висоті нижньої частини концентрація частинок і їх розмір різні, і на верхні приймальні полки осідають частинки з мінімальними розмірами. Таким чином, на кожен парі прийомних полиць випадає певна монофракція матеріалу. У циклон несеться

практично найбільшу кількість дрібних частинок, в зв'язку з чим більш тонке очищення повітря не потрібно.

Установка відбивних полиць зменшує висоту апарату і покращує якість поділу за рахунок створення відцентрових сил при повороті потоку. Шарнірне закріплення відбивних полиць дозволяє змінювати кут між ними, що дає можливість варіювати в широких межах швидкість руху потоку, а також керувати напрямком руху -потока полідисперсного матеріалу, в результаті чого підвищується продуктивність апарату і якість класифікації продукту, що дозволяє отримати кілька монофракцій.

Установка в нижній частині корпусу перфорованих полиць дає можливість загальмувати потік подається через патрубок матеріалу (з тим, щоб виключити проскакування в провал разом з найбільшими частками і частинок малої і середньої крупності і надати йому спрямований рух вгору).

Застосування пропонованого класифікатора підвищує якість класифікації на 15 - 20%.

Формула винаходу.

Класифікатор, що включає корпус, всередині якого розташовані приймальні полки, завантажувальний патрубок, встановлений в нижній частині корпусу, патрубок для підведення повітря і розвантажувальні патрубки, що відрізняється тим, що, з метою підвищення якості класифікації, класифікатор забезпечений встановленими у верхній частині корпусу попарно і шарнірно закріпленими по осі класифікатора відбивними полками і встановленими в нижній частині корпусу перфорованими полицями, розташованими в шаховому порядку, при цьому нижня частина корпусу виконана з однаковим перетином по висоті.

1.3 Висновки

Аналіз літературних джерел дав можливість встановити, що структура двофазного потоку залежить від конструктивних характеристик встановлених контактних елементів, їх кількості та кута їх нахилу, а також

від ширини розвантажувальних пристроїв та живого переріза робочого об'єму апарата. Саме вибір оптимальної конструкції контактних пристроїв дозволяють підвищити ефективність розділення сипких матеріалів на окремі фракції та оптимізувати гідродинамічний потік в робочому об'ємі апарату, що розширює область його використання. В процесі аналізу різних пристроїв було встановлено значний їх вплив на швидкість потоку повітря, що відображається на швидкості витанні частинок та їх напрямку руху в висхідному потоці повітря, це в свою чергу впливає на якість процесу розділення суміші на окремі фракції. Як вже було зазначено принцип роботи розглянутих апаратів пневмокласифікації засноване на використанні різниці в швидкостях і напрямку руху частинок різного розміру в висхідному потоці в основному під дією гравітаційного поля. Беручи до уваги опір повітря різниця в швидкості руху частинок різних розмірів порівняно невелика, а час їх перебування в апараті незначний, що не завжди дає можливість досягнути чіткого розділення сипкого матеріалу на фракції необхідного розміру. Для вирішення даної проблеми в пневмокласифікаторах застосовується сукупність відцентрових та інерційних сил. Інерційні сили створюються за допомогою контактних елементів (полиць). Це в свою чергу підвищує швидкість і турбулентність потоку, що позитивно впливає як на швидкість руху, так і на розподіл часток в поперечному перерізі і по висоті апарату. Дрібні частинки виносяться вгору висхідним потоком повітря, а великі під впливом сили тяжіння випадають вниз. В результаті аналізу було визначено, що в процесі розділення присутня сила тертя в результаті взаємодії висхідного потоку повітря на полідисперсні частинки. Це в свою чергу викликає поділ частинок на більш дрібні по крупності ніж необхідно. Сила тертя залежить від величини шорсткості і форми поверхні частинок. Також було визначено, що різна форма полідисперсних частинок в об'ємі апарата впливає на ступінь обтікання частинок висхідним потоком повітря, що в свою чергу впливає на ефективність розділення.

Вихідна суміш, що містить в своєму складі різнодисперсну фракцію з бункера Б-7, за допомогою стрічкового живильника ЛП, подається в живильну секцію пневматичного класифікатора К (потік 1). Одночасно через повітряно-заборну секцію пневмокласифікатора К, шляхом самовсмоктування подається висхідний потік повітря (потік 2). Полідисперсна фракція, що подається на класифікацію підхоплюється висхідним потоком повітря та обтікаючи похилі перфоровані полки, що розташовуються в робочому об'ємі апарата, класифікується на декілька фракцій різних розмірів, осідають в їх нижній частині і, через бічні відводи виводиться з апарату в бункери, Б-3, Б-4, Б-5 для збору середньодисперсної фракції в якості готового продукту. Крупнодисперсна фракція, за рахунок сили тяжіння випадає в нижню частину апарата в бункер Б-6 для збору готового продукту. Висхідний повітряний потік створюється за допомогою газодувки Г-1 та Г-2, одночасна робота яких забезпечує вакуум в системі.

Далі пилоповітряний потік надходить в циклон Ц-2 (потік 4), де уловлюються дрібні частинки розміром 0,2 мм. Попередньо очищене повітря після циклону Ц-2, за допомогою газодувки Г-2 (потік 6), направляється в пилоконцентратор ПК, де відбувається розподіл потоку на пил та пилоповітряний потік (потік 5). Пилевидна фракція (потік 5) об'єднуючись в один потік з потоком 1 подається в живильну секцію пневмокласифікатора на додаткову класифікацію, а пиловидна суміш направляється в циклон Ц-1 (потік 6) для остаточної очистки повітря від пилу, після чого очищене повітря за допомогою газодувки Г-1 відводиться в атмосферу (потік 7). Пилеподібна фракція, отримана в результаті тонкої очистки в циклоні Ц-1 та Ц-2 потрапляє в бункери Б-1 та Б-2 для збору готового продукту.

2.2 Теоретичні основи процесу пневмокласифікації. Гідродинаміка руху двофазного потоку

Структура потоків в технологічних апаратах дуже впливає на проведення в них теплові та гідродинамічні процеси. Ефективність роботи розглянутих апаратів для охолодження і пневмокласифікації зернистих матеріалів в значній мірі визначається полем течії в них газового потоку, яке, в свою чергу, впливає на профіль температур і концентрації твердої фази в двофазному потоці. Розгляд характеру руху газу важливо для встановлення закономірностей взаємодії його з твердою фазою, що визначає швидкість руху і час перебування частинок в робочому обсязі апарату; для визначення режимних параметрів ведення процесу в апараті; для знаходження конструктивних характеристик газорозподільних пристроїв.

З'ясуємо основні закономірності руху твердих частинок в зазначених типах дисперсних двофазних потоків, що дозволяють визначити такі важливі гідродинамічні параметри, як швидкість руху твердої фази і її час перебування в шарі. Визначення даних параметрів є одним з основних етапів гідродинамічного розрахунку технологічних апаратів.

Рух газу підпорядковується основним законам гідродинаміки - рівнянням Нав'є-Стокса [27]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial W_x}{\partial \tau} + W_{x,y,z} \operatorname{div} W &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 W_x \\ \frac{\partial W_y}{\partial \tau} + W_{x,y,z} \operatorname{div} W &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \nabla^2 W_y \\ \frac{\partial W_z}{\partial \tau} + W_{x,y,z} \operatorname{div} W &= g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 W_z\end{aligned}\tag{2.1}$$

Найважливішою характеристикою потоку, яку необхідно визначити, є поле швидкостей газового потоку по перерізу і висоті робочого об'єму апарата. У зв'язку зі складним характером турбулентної течії, яке в основному і спостерігається в технологічних апаратах, не представляється

можливим теоретично отримати профіль розподілу швидкостей газового потоку. При турбулентному потоці профіль швидкостей виражає розподіл не точні, а усереднених в часі швидкостей.

В основі всіх гідродинамічних розрахунків дисперсних двофазних потоків лежить другий закон Ньютона:

$$m \left(\frac{dU_T}{d\tau} \right) = \sum F, \quad (2.2)$$

де U_T - швидкість твердої частинки; τ - час; m - маса твердої частинки; $\sum F$ - сума всіх сил діючих на тверду частку.

У загальному випадку рівняння руху частинок полідисперсного матеріалу розглядається з урахуванням наступних сил: гідродинамічного опору з боку висхідного газового потоку, тяжіння, зіткнення частинок зі стінками апарату і контактними елементами, удару часток між собою, з обертанням частинок і їх взаємодією з газовим потоком.

Розглянемо динаміку спадного (режим гравітаційно падаючого шару) і висхідного (пневмотранспорт) руху твердої фази в вертикальному каналі апарату. Рівняння руху частинок в горизонтальному і вертикальному напрямку мають такий вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial W_{Tx}}{\partial \tau} + \frac{3}{4} \zeta \rho \frac{(W - U_T)^2}{\rho_T d_T} \\ \frac{\partial W_{Tx}}{\partial \tau} = \pm g \pm \frac{3}{4} \zeta \rho \frac{(W - U_T)^2}{\rho_T d_T} \end{cases} \quad (2.3)$$

Знак «+» ставиться, коли напрям векторів сил тяжіння і гідродинамічного опору збігаються, знак «-» відповідає протилежному напрямку векторів сил.

Величина коефіцієнта гідродинамічного опору ζ визначається середнім ефективним діаметром частинки d_T , відносною швидкістю $V_t = (W - U_T)$, щільністю ρ і в'язкістю μ газового потоку, тобто пов'язана з критерієм Рейнольдса:

$$Re_T = \left(\frac{d_T((W - U_T)\rho)}{\mu} \right) \quad (2.4)$$

При $Re_T < 0,5 - 1$ справедлива формула Стокса:

$$\zeta = \frac{24}{Re_T} \quad (2.5)$$

При $Re_T > 800 - 1000$ $\zeta = 0,44$.

В реальних умовах технологічних апаратів істотний вплив на рух твердих частинок впливає близька відстань їх руху внаслідок високої концентрації частинок в робочому обсязі, взаємодія часток між собою, форма частинок і стінок апарату. Тому запропонована універсальна залежність, що враховує ці чинники:

$$\xi = 0,46K_1K_2K_3 + \frac{(30K_1K_2)}{Re_T} \quad (2.6)$$

Де $K_1K_2K_3$ - коефіцієнти, що враховують відповідно умови обмеженого руху частинок внаслідок їх взаємодії, впливу стінок апарату і форми частинок.

Інтегрування диференціальних рівнянь з урахуванням залежності дає вираження для визначення відносних швидкостей твердої фази в робочому обсязі апарату:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{\text{ту}} = \frac{(V_{\text{т0}} + B)A - (V_{\text{т0}} + A)B \exp(c\tau)}{(V_{\text{т0}} + A) \exp(c\tau) - (V_{\text{т0}} + B)}, \quad \text{при } \Delta < 0 \\ V_{\text{ту}} = \frac{cV_{\text{т0}} - (D + abV_{\text{т0}}) \operatorname{tg} \frac{c\tau}{2}}{c + a(b + 2V_{\text{т0}}) \operatorname{tg} \frac{c\tau}{2}}, \quad \text{при } \Delta > 0 \\ V_{\text{тх}} = \frac{bV_{\text{т0}}}{(b + V_{\text{т0}}) \exp(ab\tau) - V_{\text{т0}}} \end{array} \right. \quad (2.7)$$

і часу перебування твердих частинок в робочому об'ємі апарату:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{xy} = \frac{1}{c} \ln \frac{(V_T + A)(V_{T0} + B)}{(V_T + B)(V_{T0} + A)}, \quad \text{при } \Delta < 0 \\ \tau_y = \frac{2}{c} \operatorname{arctg} \frac{c(V_{T0} - V_T) \operatorname{tg} \frac{c\tau}{2}}{(D + abV_{T0}) + (b + 2V_{T0})aV_T}, \quad \text{при } \Delta > 0 \\ \tau_x = \frac{1}{ab} \ln \left[\frac{V_{T0}(V_T + B)}{V_T(V_{T0} + B)} \right] \end{array} \right. \quad (2.8)$$

$$\text{де } V_T = W \pm U_T, \quad a = \frac{0,346K_1K_2K_3\rho}{d_T\rho}, \quad \Delta = \pm 4ag - \epsilon^2 a^2, \quad \epsilon = \frac{22,5K_1K_2K_3\rho}{d_T^2\rho},$$

$$c = \sqrt{|4ag - \epsilon^2|}$$

$$A = \frac{a\epsilon + c}{2a}, \quad B = \frac{a\epsilon - c}{2a}, \quad D = \frac{a^2\epsilon^2 + c^2}{2a}$$

На стабілізованій ділянці технологічних апаратів частинки рухаються з постійною швидкістю, так званою швидкістю витання. В даному випадку настає рівність сил тяжкості і тиску газового потоку на частку.

Швидкість витання твердих частинок залежить від форми, розміру і щільності частинок, фізичних властивостей середовища. У разі рівного розподілу швидкості газового потоку швидкості витання ($W = U_{ТВ}$) в умовах усталеного руху частинки будуть перебувати в спокої відносно стінок апарату. Якщо ($W > U_{ТВ}$), то реалізується режим «пневмотранспорту» і частки рухаються зі швидкістю $W - U_{ТВ}$. В режимі «гравітаційно падаючого шару» швидкість частинок дорівнює:

Співвідношення для визначення швидкості витання твердих частинок:

$$\xi = \sqrt{\frac{4gd_T(\rho_T - \rho)}{3\zeta\rho}} \quad (2.9)$$

Цей вираз не дає точних результатів, оскільки коефіцієнт опору ζ залежить від швидкості і явний вигляд цієї залежності різниться в широкому діапазоні зміни чисел Рейнольдса. Тому широко використовується універсальна формула Годеса [29] для визначення швидкості витання часток:

$$\text{Re}_B = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}} \quad (2.10)$$

$$\text{зде} \quad Ar = \frac{gd_T^3(\rho_T - \rho)}{v^2 \rho} \quad (2.11)$$

Необхідною умовою пневмотранспорту є $U_{TB} < W$. Для знаходження робочої швидкості газу W рекомендується використовувати коефіцієнт K до швидкості витання частинок:

$$W = K \cdot U_{TB} \quad (2.12)$$

Для частинок розміром більше 100 мкм, $K = 1,1$, для більш дрібних $K = 1,3 - 1,5$, для дрібних частинок $K = 1,9 - 2,0$.

Установка в вертикальному каналі апарату вставок різної конструкції створює додаткове гальмування частинок і збільшення часу їх перебування при гравітаційному падінні в робочому об'ємі апарату. Загальний час перебування частинок в робочому об'ємі апарату виражається через час руху їх над поверхнею вставок і в просторі між ними:

$$\tau = \sum_{i=1}^{i=n+1} (\tau_1 + \tau_2) \quad (2.13)$$

Для каскадно розташованих вставок, при визначенні величини об'ємної концентрації, слід розрізняти дві області за величиною коефіцієнта аеродинамічного гальмування K_V :

1. При $K_V = 0,1 - 0,23$ область слабого аеродинамічного гальмування:

$$\beta = 9,44 \cdot 10^{-3} n^{0,52} K_V^{1,44} \left(\frac{d_0}{d_T} \right)^{-1,2} f_{II}^{-0,95} G_P^{1,15} \quad (2.14)$$

2. При $K_V = 0,23 - 0,67$ область підвищеного аеродинамічного гальмування:

$$\beta = 36,3 \cdot 10^{-3} n^m K_V^{2,08} \left(\frac{d_0}{d_T} \right)^{-1,47} f_{II}^{-0,95} G_P^{1,1} \quad (2.15)$$

Після взаємодії твердих частинок з поверхнею гальмівної вставки і стінками каналу в зоні розвантажувального простору, поступальна і обертальна швидкість і напрямок їх руху змінюються і складаються:

$$U_{Tx}^* = V^* \cos(\alpha_n - \psi) \quad (2.16)$$

$$U_{Ty}^* = V^* \sin(\alpha_n - \psi) \quad (2.17)$$

$$\begin{cases} U_{T\tau}^* = \frac{(5 + 2k_\tau)U_{T\tau} + d_T \omega_T (1 - k_\tau)}{7} \\ U_{Tn}^* = U_{Tn} \cdot k_n \end{cases} \quad (2.18)$$

$$\omega_T^* = \omega_T - \frac{5(1 - k_\tau)}{7} \left(\omega_T - \frac{2U_{T\tau}}{d_T} \right) \quad (2.19)$$

де ω_T - обертальна швидкість частинки;

α_n - кут нахилу поверхні гальмівної вставки.

$$\omega_T \approx \frac{U_{Tx}}{d_T}, \psi = \arctg \left(-\frac{U_{Tn}^*}{U_{T\tau}^*} \right), V^* = \sqrt{U_{Tn}^{*2} + U_{T\tau}^{*2}} \quad (2.20)$$

$$U_{Tn} = U_{Ty} \sin(\alpha_n - \beta) \quad (2.21)$$

$$U_{T\tau} = U_{Tx} \cos(\alpha_n - \beta) \quad (2.22)$$

U_{Tn} , $U_{T\tau}$ - нормальна і тангенціальна, по відношенню до поверхні вставки, складові вектора швидкості частинки до удару об поверхню вставки (в припущенні, що ковзання і кочення частки по поверхні вставок відсутні); U_{Tn}^* , $U_{T\tau}^*$ - то ж після удару об поверхню вставки; k_n , k_τ - коефіцієнти відновлення нормальних і тангенціальних складових швидкості; β - кут між напрямком руху до удару і віссю X; ψ - кут падіння частки на поверхню вставки.

Для гравітаційних апаратів з каскадом поличних перфорованих вставок критична швидкість газового потоку визначається:

$$\frac{Re_{кр}^*}{Re_\epsilon} = K \left(\frac{1}{B} \right) \quad (2.23)$$

$$K = 1,19 \lg(100 f_\Pi) + 0,005 \quad (2.24)$$

При підвищенні витрати твердої фази і незначній витраті газового потоку зменшуються радіальні переміщення частинок, що призводить до збільшення об'ємної щільності потоку, що рухається в режимі «щільного гравітаційно падаючого шару». В даному режимі матеріал рухається, перетікаючи з верхнього полицного контакту на нижні. Потік матеріалу рухається по поверхні полицних вставок під дією сил тяжіння і тертя. Так як рух равноускоренное, то кінцева швидкість руху твердих частинок по поверхні полицних вставок визначиться:

$$U_{TK} = \sqrt{2g(\sin \alpha_{II} - f_{TP} \cos \alpha_{II}) \cdot l_{II} + U_{TH}^2} \quad (2.25)$$

$$\text{де } U_{TH} = U_{TO} \cos \psi = \sqrt{2gh_{II}} \cos \psi \quad (2.26)$$

f_{TP} - кут тертя руху матеріалу;

ψ - кут падіння потоку матеріалу на поверхню полиці;

h_{II} - висота падіння потоку матеріалу на поверхню полиці;

U_{TH} - початкова швидкість падіння потоку матеріалу на поверхню полиці.

Швидкість твердої фази і час перебування частинок в гравітаційному шарі, що опускається у вільному від гальмучих вставок вертикальному каналі за умови, коли тиск висхідного газового потоку і сили тертя-зчеплення незначні, визначаються витратою твердої фази через робочий перетин апарату. Середні значення швидкостей руху та часу перебування частинок визначаються з наступних співвідношень:

$$U_{ТЕЛ} = \frac{G_T}{\rho_T S}, \quad \tau = \frac{H}{U_{ТЕЛ}} \quad (2.27)$$

Для різних апаратів з активними гідродинамічними режимами характерно посилення перемішування твердих частинок в шарі. Причому, рух і перемішування частинок в активних гідродинамічних режимах визначається в основному великомасштабними циркуляційними потоками через весь робочий об'єм апарату на відміну від хаотичного, менш упорядкованого дрібномасштабного руху твердих частинок всередині

пакетів псевдозрідженого шару. Створення активних гідродинамічних режимів в апаратах з висхідним газовим потоком можна охарактеризувати режимом «фонтанування». Сюди слід віднести різного роду вихрові шари, фонтануючі шари, неоднорідне зважені шари з вдупом в шар газового струменя, інженерні шари. Гідродинаміка всіх вищевказаних типів фонтануючих систем визначається умовами взаємодії активних газових струменів або одиначної струменя з твердими частинками матеріалу в робочому обсязі апарату.

Фонтануючий гідродинамічний режим утворюється при русі газового струменя через зернистий шар матеріалу. При достатній швидкості струменя над вхідним отвором утворюється каверна. Якщо висота шару не перевищує деякого граничного значення, то каверна виходить назовні шару, утворюючи фонтан. Вхідний в зернистий шар газовий струмінь підхоплює потрапляючий в неї внизу і з боків частки і виносить їх наверх над рівнем шару. Тут газовий струмінь розтікається, швидкість виносяться частинок сповільнюється, і вони затримуються на поверхні шару. Частина частинок відкидається і рухається уздовж газового струменя вниз під дією сили тяжіння. Поблизу входу газового струменя в зернистий шар ковзаючі вниз частки знову залучаються до висхідний рух газовим струменем.

На відміну від звичайного псевдозрідженим шаром рух частинок зернистого матеріалу в фонтанує шарі є спрямованим. Швидкості твердих частинок і час перебування їх в самому фонтані і в зоні навколо нього (кільцева зона) значно різняться. Тверді частинки, що потрапляють з кільцевої зони в газову струмінь над вхідним отвором, швидко набувають максимальної швидкості, яка поступово зменшується до нульового значення в вершині фонтану. Основною силою, що повідомляє прискорення частинок, є сила тиску висхідного газового потоку, а гальмування частинок здійснюється силою тяжіння, зіткненнями з іншими частинками у фонтані і утворюють його стінками. Оскільки частки надходять у фонтан з різних ділянок по висоті апарату і розганяються, то швидкості їх різні. Тому

розрахунок пневмотранспорту частинок по висоті фонтану є більш коректний в разі, якщо відома закономірність зміни швидкості газу в фонтані в міру віддалення від вхідного отвору.

Для гравітаційних поличних апаратів характерна комбінування зон ідеального витіснення над поверхнею полки і зони ідеального перемішування над розвантажувальним простором.

2.3 Механізм зважування і поділу часток по крупності при пневмокласифікації зернистих матеріалів

При поділі полідисперсних матеріалів на фракції на різних рівнях по висоті пневмокласифікатора протікають три взаємопов'язані процеси. У місці введення матеріалу з дозатора у вигляді щільної фази в апараті відбувається процес зважування частинок, тобто перехід їх у стан аерозолі. При цьому полідисперсний матеріал частково розділяється по крупності на два потоки. Частина його, що складається з більш великих часток, опускається у вигляді щільної фази вниз по каскаду контактних елементів (решітки, конусні і поличні елементи), на яких продувається висхідним потоком повітря. Число, конструкція контактних елементів і швидкість повітряного потоку підбираються таким чином, щоб з матеріалу видувалась необхідна кількість полідисперсних частинок, що підлягають видаленню. Друга, більш крупнодисперсна частина матеріалу, піднімається у вигляді двофазного потоку (аерозолі) вгору, де з неї виділяються захоплені потоком досить великі частки. Для цього верхня сепарація частина апарату в одних конструкціях виконується у вигляді зигзагоподібного каналу, в інших - у вигляді зверненого конуса (дифузора), по-третє - у вигляді каналу з системою різних по розташуванню перфорованих або суцільних поличних елементів.

У дифузорах, великі частки випадають з потоку вниз в результаті зменшення його несучої здатності при зниженні швидкості руху. У звивистих каналах і в каналах з полками великі частки виділяються з потоку

під дією інерційних сил, які виникають при поворотах потоку. Змінивши напрямок руху, частинки рухаються до стінок апарату, втрачають при ударі з ними швидкість свого руху і за інерцією випадають вниз.

Масове винесення частинок даного розміру визначається верхньою межею знаходження зваженого шару в робочому обсязі апарату. Віднесення частинок зв'язується з поняттям швидкості витання часток. Викинуті з шару в надшаровий простір великі частки падають назад в шар, а дрібні частинки з виносяться повітряним потоком з апарату.

Для розрахунку швидкості газового потоку, що відповідає початку виносу, можна використовувати такі критеріальні рівняння відповідно для ламінарного, перехідного і турбулентного режимів обтікання частинок газовим потоком:

$$\left\{ \begin{array}{lll} \text{Re}_y = \frac{Ar}{18}, & \text{при } 0 < \text{Re} \leq 2 & 0 \leq Ar \leq 36 \\ \text{Re}_y = 0,153Ar^{0,714}, & \text{при } 0 < \text{Re} \leq 500 & 36,6 \leq Ar \leq 8,33 \cdot 10^4 \\ \text{Re}_y = 0,74\sqrt{Ar}, & \text{при } \text{Re} > 500 & Ar > 8,25 \cdot 10^4 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (2.2 \\ 8) \end{array}$$

Використовується також універсальна формула Годеса, придатна для всіх режимів. Згідно з умовою $<W$, для розрахунку швидкості виносу іноді використовується рівняння (2.27). До недоліків рівняння (2.11) і (2.26) крім невизначеності з вибором величини коефіцієнта K також відноситься відсутність обліку впливу на швидкість повітряного потоку концентрації стерпних їм часток, конструкції газорозподільної решітки і діаметра трубопроводу, інтенсивності проникнення (дифузії) дрібних частинок з глибини шару до його поверхні. Тому запропонований цілий ряд емпіричних кореляцій з розрахунку величини виносу. Однак вони не враховують взаємозв'язку всіх факторів, і їх слід застосовувати для конкретних умов процесу. Емпіричні рівняння можуть бути представлені [3] залежністю виду:

$$G_y = K \cdot G_y \quad (2.2)$$

де: G_y - швидкість уноса кг/с, г/с;

G - кількість матеріала в шарі;

Y - поточна концентрація частин в шарі;

K - константа швидкості виносу, що визначається експериментально.

Константа швидкості виносу являє собою функцію виду:

$$K = f \left(\frac{W}{U_{TB}}, Fr, \frac{\rho}{\rho_T}, \frac{d_T}{H_{сл}} \right) \quad (2.30)$$

У пневмокласифікаторах з висхідним повітряним потоком різного типу механізм віднесення дрібних фракцій матеріалу з шару характеризується швидкістю виносу частинок. Для встановлення рівноваги між концентрацією дрібниці в шарі і в віднесенні потрібен певний проміжок часу, тобто швидкість виносу в стаціонарних умовах за розгінним ділянкою або на виході з апарату прагне до граничної концентрації частинок даної крупності, яка може виникнути в газовому потоці при його повному «насиченні» зваженими частинками. При цьому величина граничної концентрації частинок розглядається як параметр, що враховує своєю величиною дію як детермінованих факторів (маса частинок, їх опір), так і параметрів, що ускладнюють рух частинок - обертання, зіткнення, удари об стінки, пульсації потоку. Таким чином, швидкість віднесення характеризується залежністю виду:

$$\frac{dY}{d\tau} = -KY_{np} \quad (2.31)$$

Для окремої монофракції, що входить до складу виноситься частини матеріалу, концентрації зважених часток можна визначити за допомогою рівняння:

$$\lg Y = a - \left(\frac{b}{W} \right) \quad (2.32)$$

де $a = \lg Y_{np}$, b - константа.

Постійна «а» - представляє межу, до якої прагне концентрація частинок в потоці зі збільшенням його швидкості. Оскільки при великих швидкостях потоку в апараті настає автомобельний режим, величина постійної «а» не залежить від конструкції апарату і визначається тільки величиною швидкості витання часток даної монофракції. Постійна «в» крім крупності матеріалу залежить також і від особливостей конструкції пневмокласифікатора, зокрема, від його діаметра.

При зважуванні в висхідному газовому потоці полідисперсних матеріалів в умовах, коли в потоці не досягнута гранична концентрація частинок і відсутні умови для їх агломерації, концентрація частинок даної фракції на виході апарату пропорційна її змістом X в вихідному матеріалі в місці контакту фаз і тієї величиною концентрації частинок Y , яка виникає в потоці, коли матеріал складається цілком з цієї фракції, тобто $Y_m = mYX$. Оскільки при русі дрібних частинок з невеликою концентрацією умови обмеженості невеликі, приймаємо величину постійної $m = 1$. Тоді:

$$Y_m = YX \quad (2.33)$$

Підставив (2.32) в (3.33) отримаємо:

$$W = \frac{b}{a - \lg \left(\frac{Y_m}{X} \right)} \quad (2.34)$$

Дане рівняння дозволяє за заданою або прийнятої концентрації певної фракції в віднесенні обчислити робочу швидкість газового потоку.

Постійні «а» і «в» задаються нелінійними функціями виду:

$$a = f(U_{TB}), \quad b = f(U_{TB} \cdot D) \quad (2.35)$$

які не вдається висловити одним рівнянням для дослідженого інтервалу зміни величини швидкості витання часток. Причиною цього є складний характер явищ, що протікають при взаємодії частинок різного розміру з турбулентним газовим потоком. При зміні, як розміру часток, так і діаметра трубопроводу змінюються режим обтікання частинок газовим потоком, турбулізація потоку і прикордонного шару на поверхні частинок і в області відриву газового потоку в кормовій зоні частинки і т.п. Відповідно змінюється і співвідношення між енергією, переданої від газового потоку частинок, і її втратами через тертя на поверхні частинки і в турбулентному сліді.

Тому нелінійні зв'язку подаються у вигляді:

$$a = m \cdot 10^{\frac{-K}{U_{TB}}}, \quad v = n(U_{TB} \cdot D)^c \quad (2.3)$$

б)

Підставивши обидва значення відбулось «а» і «в» з (2.35) в (2.34) приходимо до залежності:

$$W = \frac{n(U_{TB} \cdot D)^c}{m \cdot 10^{\frac{-K}{U_{TB}} - \lg\left(\frac{Y_M}{X}\right)}} \quad (2.3)$$

7)

Останній вираз дозволяє встановлювати робочу швидкість газового потоку. Робоча швидкість повинна бути трохи більше швидкості витання часток.

$$e^{-KG_T} = 1 - KG_T + \frac{(KG_T)^2}{2!} - \frac{(KG_T)^3}{3!} + \dots + (-1)^n \cdot \frac{(KG_T)^n}{n!} \quad (2.38)$$

То після престановки e^{-KG_T} в рівнянні (2.38) двох перших членів цього ряду отримаємо придатне для наближених розрахунків рівняння виду

$Y = KG_T Y_{np}$. Якщо $Y = Y_{np}$, то $K = \frac{1}{\mu}$, $Y_{np} \cdot X = KG_T Y_{np}$, если $X = KG_T$. Тут і раніше $KG_T \ll 1$.

На висоту розглянутих апаратів впливає характер розподілу часток по їх вертикалі. Над місцем введення матеріалу в двофазний потік, виникає максимальна концентрація частинок, величина якої швидко зменшується з висотою по показовою функціональної залежності для апаратів з вільним перетином і з псевдозрідженим шаром. На певному рівні, в так званій зоні пневмокласифікації, величина концентрації практично не змінюється з висотою і, отже, не впливає на чіткість розподілу матеріалу по крупності. Нижній рівень цієї зони і є тією максимальною висотою апарату, яка забезпечує мінімальний винесення даної монофракції (критична висота сепарації простору).

Встановимо загальний вигляд зв'язку для визначення її величини. Масовий осереднений витрата частинок даної монофракції G_T , опускаються в одиницю часу під дією сили тяжіння через одиницю площі поперечного перерізу апарату, очевидно, дорівнює добутку концентрації частинок Y на середню швидкість їх осадження. Остання величина в умовах малої обмеженості близька до швидкості витання цих частинок, тобто $U_{TOS} \approx U_{TB}$ и $G_T = Y \cdot U_{TOS} = Y \cdot U_{TB}$.

Середня витрата частинок цієї ж фракції G_T , які переходять через цей перетин за той же час в зворотному напрямку, в результаті дії потоку пропорційний градієнту концентрації частинок по висоті, тому що чим більше на даному рівні частинок, тим вище дійсна швидкість висхідного

потоку, тобто

$$G_T = k'_0 \frac{dY}{dh_{kp}}$$

Прирівнявши ці вирази, і розділивши змінні, отримаємо:

$$Y \cdot U_{TB} = -k'_0 \frac{dY}{dh_{kp}} \quad \text{или} \quad dh_{kp} = \frac{-k'_0}{U_{TB}} \cdot \frac{dY}{Y} \quad (2.39)$$

Інтегруючи ліву частину цього рівняння по висоті від рівня входу матеріалу в апарат до верхнього рівня зони сепарації, а праву - за концентраціями та відповідним цим рівням, отримаємо:

$$\int_0^h dh_{kp} = - \int_{Y_0}^Y \frac{k_0}{U_{TB}} \cdot \frac{dY}{Y} \quad (2.40)$$

де

$$h_{kp} = \left(\frac{k_0}{U_{TB}} \right) \cdot \lg \frac{Y}{Y_0} \quad (2.41)$$

Величину k_0 приймаємо постійною в межах кожної зони. Тоді для кожної із зон величини, мають свої власні чисельні значення. За фізичним змістом постійна, являє собою кількість матеріалу, що переходить через одиницю перетину апарату на даному рівні в одиницю часу і нагадує коефіцієнт дифузії, маючи розмірність $[k_0] = \left[\frac{m^2}{c} \right]$. Її величина залежить від режиму обтікання частинок газовим потоком і, отже, від їх крупності і від дійсної швидкості газового потоку, що обтікає частинки, тобто $k_0 = f(U_{TB}, W)$. Для данної монофракції $k_0 = f(W)$ та в першому наближенні отримаємо $k_0 = kW$. Підставами останній вираз в (2.41), отримаємо:

$$k_{kp} = \frac{kW}{U_{TB}} \lg \left(\frac{Y}{Y_0} \right) \quad (2.4)$$

2)

В даний час встановити аналітично залежність постійних і від осереднених параметрів, що характеризують перенесення частинок в розглянутих пристроях, практично неможливо. Тому ці зв'язки встановлюються експериментально.

2.4 Обґрунтування вибору гравітаційного поличного пневмокласифікатора

Найбільш прості по конструкції апаратів з вільним перетином володіють найменшим гідравлічним опором. При використанні в якості пневмокласифікаторів вони не забезпечують чіткого поділу полідисперсного матеріалу на фракції, внаслідок нерівномірного розподілу фаз по перетину, а

також сильної місцевої турбулізації при зіткненні з поступаючими з дозатора частинок з висхідним повітряним потоком. При використанні як сушарок або охолоджувачів вони мають велику висоту. Також в пневматичних сушарках спостерігається сильне передрібнення частинок, що погіршує якість продукції. Після сушарок і охолоджувачів в атмосферу викидаються велика кількість запилених газів, задача по очищенню яких до сих пір повністю не вирішена.

В апаратах з псевдозрідженим шаром забезпечується більш інтенсивний і тривалий контакт фаз значних концентраціях частинок в шарі. Однак час перебування частинок змінюється в дуже широких межах, що відбивається на повноті протікання процесів. Дрібні частинки піддаються глибшій обробці, ніж великі. Якщо матеріал має невисоку механічну міцність, то внаслідок передрібнення частинок утворюється багато пилу. Відхилення від заданого технологічного режиму призводить до забивання отворів газорозподільної решітки і тривалим простоям обладнання.

Поличні апарати дозволяють усунути або істотно зменшити деякі недоліки розглянутих вище апаратів. Поличні контактні елементи можна переміщати всередині апарату, а також при необхідності замінити; можна легко змінювати положення полиць, а також їх параметри і число; на них можлива установка теплообмінних та інших елементів; вони не мають спеціальних перевантажувальних пристроїв, менш схильні до забивання. У багатьох випадках установка поличних апаратів замість апаратів з вільним перетином і з псевдозрідженим шаром дає значний економічний ефект. Незважаючи на це, на промислових підприємствах їх застосовують досить рідко, в основному в якості пневмокласифікаторов [1,3,7], хоча є докази про їх успішне використання на окремих підприємствах для проведення деяких тепломасообмінних процесів [10].

Рідко використовуються і переваги комбінованих установок. Внаслідок цього при виробництві ряду мінеральних добрив і інших зернистих і порошкоподібних матеріалів, операції по отриманню гранул, сушінні,

оохолодженню, класифікації виконуються в окремих апаратах, з'єднаних один з одним в громіздкі установки системою трубопроводів і транспортних пристроїв. Такі установки можуть бути більш компактними і менш металота енергоємними, якщо апарати, в яких виконуються перераховані операції, розташувати каскадом, а матеріал з верхніх апаратів в нижні передавати, використовуючи гравітаційні сили.

Однією з основних причин малого поширення апаратів з активним гідродинамічним режимом є недостатня вивченість закономірностей протікають в них різноманітних складних процесів. У будь-якому з цих апаратів матеріал в місці введення спочатку переходить у зважений стан, а потім розділяється на висхідний пилогазовий потік і спадний - щільної фази. У верхній частині апарату з пилогазового потоку виділяються дрібні частинки, а в нижній частині з щільної фази видуваються дрібні частинки. Від інертності цих процесів залежить швидкість протікання і пневмокласифікації, і тепломасообміну.

В апаратах з вільним перетином (пневмотранспортера) в умовах противотока відносно невелика інтенсивність контакту фаз швидко падає у міру віддалення від місця введення матеріалу в канал. На відміну від них в апаратах з псевдозрідженим шаром інтенсивність взаємодії потоку газу з матеріалом, що знаходяться в умовах щільної фази, значно більше. Однак вище і гідравлічний опір шару і газорозподільних решіток решіток, схильних до забивання, а при високих температурах газу - і до деформації.

У поличних апаратах в результаті повороту газу і частинок час перебування останніх більше, ніж в апаратах з вільним перетином, більше і інтенсивність взаємодії фаз. Однак час перебування частинок в поличних апаратах менше, ніж в апаратах з псевдозрідженим шаром. Правда, поличні апарати значно простіше останніх по конструкції, мають менший гідравлічний опір і менш схильні до забивання. У комбінованих апаратах переваги тих і інших пристроїв, встановлених в одному корпусі, підсумовуються. При цьому полідисперсний матеріал розділяється по висоті

на окремі фракції, які потім обробляються в різних зонах апарату при різному, оптимальному для даної фракції режимі.

Різна фізична сутність цих процесів заключається в різному конструктивному виконанні апаратів. Тому необґрунтованим рішенням є проектування установки з встановленими по всій висоті апарату однакових елементів, наприклад суцільних полиць [1, 7]. Більш перспективні апарати, пристрій яких враховує різницю в механізмі протікання процесів на різних рівнях апарату.

2.5 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

2.5.1 Розрахунок швидкості потоку на виході пневмокласифікатора

З огляду на високий ступінь знепилення, приймаємо величину концентрації частинок на виході пневмокласифікатора $Y_d = 500 \text{ г/м}^3$ [1]. Вихід цільової фракції в провал не повинна перевищувати 2,5%. Концентрація фракції на розділення $-0,65+0,2 \text{ мм}$.

Концентрація дрібної фракції в уносі:

$$Y_M = Y_d \cdot X_M, \text{ кг/м}^3 \quad (2.4)$$

де $X_M = 100 - 2,5 = 97,5 (0,975)$ - відносний вміст фракції $-0,2 \text{ мм}$ в уносі.

$$Y_M = 500 \cdot 0,975 = 0,5 \text{ кг/м}^3$$

Постійні a і b в (табл.3 додаток 2 [27, ст.280]) для пневмокласифікатора з похилими полками для частинок цільової фракції граничного розміру частинок $d_T = 0,0002 \text{ м}$.

$$a = 4,95 \cdot 10^{-\frac{0,02}{U_B}} \quad (2.44)$$

$$b = 2,75 \cdot U_B^{0,63} \quad (2.45)$$

Де U_B – швидкість витання частинок даної фракції, що знаходиться за формулою:

$$U_B = \frac{\mu Re}{d\rho_T}, \quad (2.46)$$

Де $\mu = 1,81 \cdot 10^{-5}$ Па · с – динамічна в'язкість повітря;

$\rho_T = 2600$ кг/м³ – густина піску;

Re – критерій Рейнольдса.

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}}, \quad (2.47)$$

Де Ar – критерій Архімеда.

$$Ar = \frac{d^3(\rho_T - \rho_t)\rho_t g}{\mu^2} \quad (2.48)$$

$$Ar = \frac{0,0002^3(2600 - 1,205) \cdot 1,205 \cdot 9,81}{(1,81 \cdot 10^{-5})^2} = 750,17$$

$$Re = \frac{750,17}{18 + 0,61\sqrt{750,17}} = 21,61$$

Визначаємо швидкість витання частинок:

$$U_B = \frac{1,81 \cdot 10^{-5} \cdot 21,61}{1,205 \cdot 0,0002} = 1,62 \text{ м/с.}$$

Звідси величини a і b дорівнюють:

$$a = 4,95 \cdot 10^{\frac{0,02}{1,62}} = 4,81$$

$$b = 2,75 \cdot 1,62^{0,63} = 3,73$$

Швидкість потоку на виході з пневмокласифікатора:

$$W = \frac{b}{a - \lg(Y_M)} \quad (2.4)$$

$$W = \frac{3,73}{4,81 - \lg(0,5)} = 0,73 \text{ м/с.}$$

Приймаємо $W=0,8$ м/с

Виконавши аналогічний розрахунок можемо визначити швидкості витання частинок розмірами $-0,63+0,2$ мм. Отримані дані представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1- Швидкість витання частинок в залежності від їх розміру

Розмір частинок, d_T , мм	Швидкість витання, U_B , м/с
0,2	1,6
0,2575	2,2
0,315	2,8
0,4	3,5
0,515	4,3
0,63	5,0

2.5.2 Визначення витрати повітря, що проходить через пневмокласифікатор

Максимальна кількість дрібної фракції, що виноситься повітряним потоком з апарату:

$$M_{-0,2} = G_T(X_1 + X_2), \text{ кг/год} \quad (2.5)$$

де $X_1 = 0,03$ - вміст фракції $-0,2+0,63$ мм в вихідному продукті;

$X_2 = 0,15$ - вміст фракції $-0,63$ мм в вихідному продукті.

$$M_{-0,2} = 6000 \cdot (0,03 + 0,15) = 1080 \text{ кг/год}$$

Об'ємна витрата повітря:

$$V_{\Pi} = \frac{M_{-0,2}}{Y_M}, \text{ м}^3/\text{Г} \quad (2.5)$$

$$V_{\Pi} = \frac{1080}{0,5} = 2215 \text{ м}^3/\text{Г}$$

Приймаємо $V_{\Pi} = 0,62 \text{ м}^3/\text{с}$

Переріз апарату:

$$S = \frac{V_{\text{п}}}{W}, \text{ м}^2 \quad (2.5)$$

2)

$$S = \frac{0,6}{0,8} = 0,8 \text{ м}^2$$

Приймаємо прямокутний переріз, шириною $B_{\text{п}} = 0,6 \text{ м}$.

Довжина перерізу:

$$L_B = \frac{S}{B_{\text{п}}}, \text{ м}^2 \quad (2.5)$$

3)

$$L_B = \frac{0,8}{0,6} = 1,4 \text{ м}^2$$

2.5.3 Визначення висоти зони сепарації

Щоб з апарату не виносилися великі частки розміром більше 0,2 мм, необхідно, щоб висота зони сепарації дорівнювала висоті зони пневмотранспорту.

Висота зони сепарації:

$$h_c = b_0(a_0 - \lg U_K), \text{ м}^2 \quad (2.54)$$

Згідно розрахунку, швидкість витання великих часток граничного розміру $d_T = 0,24 \text{ мм}$ дорівнює $U_B = 2,0 \text{ м/с}$.

$$\frac{U_B}{W} = \frac{2,0}{0,8} = 2,4 \text{ м}^2$$

константи a_0 и b_0 , згідно розрахунку $a_0 = 2,28$, $b_0 = 0,55$.

Гранична концентрація крупної фракції $-0,28 + 0,2 \text{ мм}$ в уносі (при умові, що всі частинки даної фракції уносяться потоком):

$$\lg Y_{\text{ПР}} = a - \frac{b}{W}, \quad (2.55)$$

$$\text{где } a = 4,95 \cdot 10^{-\frac{0,02}{U_B}} = 4,95 \cdot 10^{-\frac{0,02}{2,0}} = 4,83$$

$$b = 2,75 \cdot U_B^{0,63} = 2,75 \cdot 2,0^{0,63} = 4,29$$

Тоді: $Y_{\text{ПР}} = 2,05 \text{ г/м}^3$.

Дійсна концентрація крупної фракції в уносі (при повному уносі фракції):

$$Y_{\text{Д}} = Y_{\text{ПР}} \cdot X_{\text{К}}, \text{ г/м}^3 \quad (2.56)$$

где $X_{\text{К}} = 0,169$ (16,9%) - вміст фракції $-0,28 + 0,2$ мм в вихідному матеріалі.

$$Y_{\text{Д}} = 2,05 \cdot 0,169 = 0,35 \text{ г/м}^3$$

Віднесення крупної фракції не повинен перевищувати 2,5% від його граничного вмісту у вихідному матеріалі.

Дійсна концентрація частинок великої фракції в віднесенні становить:

$$Y_{\text{К}} = Y_{\text{Д}}^{0,05}, \text{ г/м}^3 \text{ м} \quad (2.57)$$

$$Y_{\text{К}} = 0,35^{0,05} = 0,95 \text{ г/м}^3$$

Висота зони сепарації:

$$h_c = 0,55(1,79 - \lg Y_{\text{К}}), \text{ м} \quad (2.58)$$

$$h_c = 0,55(1,79 - 0,95) = 1,26 \text{ м.}$$

Приймаємо $h_c = 1,3$ м

У сепараційному просторі апарату встановлюємо 3 перфоровані полки, розташовані під кутом $40-45^\circ$ до горизонту у напрямку потоку.

2.5.4 Розрахунок нижньої частини апарата

Приймаємо незначну величину навантаження на вільний перетин нижній частині апарату:

$$G_{\text{уд}} = 3,0 \text{ т/(м}^3/\text{год)}$$

Перетин нижньої частини апарата приймаємо $S_{\text{Н}} = 0,36 \text{ м}^2$.

Приймаємо перетин прямокутними з шириною $B_{\text{Н}} = 0,6$ м та довжиною:

$$L_H = \frac{S_H}{B_H} \quad (2.59)$$

$$L_H = \frac{0,36}{0,6} = 0,6 \text{ м}$$

2.6 Розрахунок гідравлічного опору апарату

Гідравлічний опір нижній частини пневмокласифікатора складається із загального опору гравітаційно падаючого шару і поличних контактів [27]:

$$\Delta P_r = 3 \cdot G_{уд} \cdot W^2 \cdot n, \text{ Па, Па} \quad (2.60)$$

$$\text{де } G_{уд} = 3 \cdot \frac{1000}{3600} = 0,83 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

$$\Delta P_r = 3 \cdot 0,83 \cdot 1,7^2 \cdot 3 = 21,67 \text{ Па}$$

Гідравлічний опір верхньої частини пневмокласифікатора:

а) опір зваженого шару в міжполочних просторах і поличних контактів:

$$\Delta P_B = 15 \cdot G_{уд} \cdot W^2 \cdot n, \text{ Па, Па} \quad (2.61)$$

$$\text{де } G_{уд} = \frac{M_{-0,2}}{S \cdot 3600} = \frac{1080}{0,36 \cdot 3600} = 0,83 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

$$\Delta P_B = 15 \cdot 0,83 \cdot 1,7^2 \cdot 3 = 46,17 \text{ Па}$$

б) втрати напору від тертя транспортованого потоку в сепараційній зоні:

$$\Delta P_T = \lambda_T \left(\frac{h_c}{D_e} \right) \left(\frac{\rho_t W^2}{2} \right), \text{ Па} \quad (2.62)$$

$$\text{де } D_e = \frac{2 \cdot L_B + 2 \cdot B_B}{\pi} = \frac{2 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,6}{3,14} = 0,76 \text{ м}$$

$$\lambda_T = \frac{64}{Re} \quad (2.63)$$

$$Re = \frac{W \cdot d_T \cdot \rho_t}{\mu_t} \quad (2.64)$$

$$\rho_t = \rho_0 \frac{T_0}{T}, \text{ Па} \quad (2.65)$$

$$\rho_t = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 20} = 1,2 \text{ кг/м}^3$$

$$\Delta P_T = \lambda_T \left(\frac{h_c}{D_e} \right) \left(\frac{\rho_t W^2}{2} \right), \text{ Па}$$

$$Re = \frac{1,7 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2}{0,018 \cdot 10^{-3}} = 22,63$$

$$\mu_T = 0,018 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с при } t=20^\circ\text{C}$$

$$\lambda_T = \frac{64}{22,63} = 2,82$$

$$\Delta P_T = 5,66 \left(\frac{1,3}{0,76} \right) \left(\frac{1,2 \cdot 1,7^2}{2} \right) = 8,37 \text{ Па}$$

в) втрати на підняття матеріалу:

$$\Delta P_{\Pi} = g \cdot \rho_t \cdot h_c \cdot G_p, \text{ Па} \quad (2.66)$$

$$\text{де } G_p = \frac{M_{-0,2}}{\rho_t \cdot V_B} = 1080 / (1,2 \cdot 2215) = 0,4 \text{ кг/кг}$$

$$\Delta P_{\Pi} = 9,81 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 0,4 = 6,21 \text{ Па}$$

г) втрати напору на розгін частинок:

$$\Delta P_P = G_p \cdot \rho_t \frac{W^2}{2} \quad (2.67)$$

$$\Delta P_P = 0,4 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,7^2}{2} = 0,7 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір апарату:

$$\Delta P = \Delta P_T + \Delta P_B + \Delta P_{\Gamma} + \Delta P_{\Pi} + \Delta P_P, \text{ Па} \quad (2.68)$$

$$\Delta P = 21,67 + 46,17 + 8,37 + 6,21 + 0,7 = 83,14 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P = 83 \text{ Па}$.

2.7 Вибір та розрахунок допоміжного обладнання

2.7.1 Розрахунок газодувки

Вентиляторами називають машини, що переміщують газові середовища. У промисловості найбільшого поширення здобули відцентрові і осьові вентилятори. Залежно від тиску, створюваного вентиляторами, їх підрозділяють на три групи: низького тиску - до 981 Па, середнього - від 981 до 2943 Па і високого - від 2943 до 11772 Па. Відцентрові вентилятори охоплюють всі три групи, осьові вентилятори - переважно низького тиску, в дуже рідкісних випадках - середнього.

Для роботи установки підбираємо газодувку для подачі повітря в пневмокласифікатор. Витрата повітря 0,62 м³/с, температура 20 °С. Повітря вводиться в нижню частину апарата через повітряно-зоборну секцію. Тиск вихідного повітря Р = 0,1 МПа. Різностиспесна фракція представляє собою частинки піску розміром -0,63+0,2 мм, щільність яких $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$. Загальний гідравлічний опір апарату становить $\Delta P = 83 \text{ Па}$.

Прийmemo швидкість повітря в трубопроводі $\omega = 15 \text{ м/с}$. Тоді діаметр трубопроводу дорівнює:

$$d = \sqrt{4Q / \pi\omega}, \text{ м} \quad (2.69)$$

$$d = \sqrt{4 \cdot \frac{0,62}{3,14 \cdot 15}} = 0,22 \text{ м}$$

Критерій Рейнольдса для потоку в трубопроводі:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} \quad (2.70)$$

$$Re = \frac{15 \cdot 0,22 \cdot 1,2}{1,81 \cdot 10^{-5}} = 228567$$

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

Далі отримаємо:

$$l = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{0,22} = 6,54 \cdot 10^{-4}; \quad \frac{1}{l} = 1529$$

$$10 \cdot \frac{1}{l} = 15290; \quad 560 \cdot \frac{1}{l} = 856667$$

$$15290 < Re = 228567 < 856667$$

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

$$\lambda = 0,11(l + 68/Re)^{0,25} \quad (2.71)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{6,54 \cdot 10^{-4}}{228567} \right)^{0,25} = 0,019$$

Визначимо коефіцієнти місцевих опорів:

1) Вхід в трубу (приймаємо з гострими краями): $\xi_1 = 0,5$.

2) Задвижка: для $d=0,22$ м $\xi_2 = 0,15$.

3) Вихід із труби: $\xi_4 = 1$.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\sum \xi = 0,5 + 0,15 + 1 = 1,65$$

Визначаємо гідравлічний опір трубопроводу:

$$\Delta p_n = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{m.c.} \right) \frac{\rho \omega^2}{2}, \text{ Па} \quad (2.72)$$

$$\Delta p_n = \left(0,019 \frac{6,54 \cdot 10^{-4}}{0,22} + 1,65 \right) \cdot \frac{1,2 \cdot 15^2}{2} = 450 \text{ Па}$$

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

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_n, \text{ Па} \quad (2.73)$$

$$\Delta p = 450 + 83 = 534 \text{ Па}$$

Таким чином, необхідний вентилятор низького тиску.

Знаходимо його корисну потужність:

$$N_n = \rho g Q H = Q \Delta p, \text{ Вт} \quad (2.74)$$

$$N_n = 2215 \cdot 534 = 1,37 \text{ кВт}$$

Приймаємо $\eta_{nep} = 1$ и $\eta_n = 0,6$, получаем:

$$N = N_n / (\eta_n \cdot \eta_{nep}), \text{ кВт} \quad (2.75)$$

$$N = 0,33 / 0,6 = 2,28 \text{ кВт}$$

З урахуванням запасу по потужності вибираємо газодувку ВР165-15.1-8 (ВВД-8), з параметрами: $Q = 6850 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta p = 4180 \text{ Па}$. Газодувка забезпечена електродвигуном АО2-82-2 потужністю $N = 15 \text{ кВт}$, з частотою обертання 1500 об/хв .

2.7.2 Розрахунок циклону

Широке застосування для сухого очищення повітряного потоку від пилу отримали циклони різних типів. В даний час застосовується близько двадцяти типів циклонів. Порівняльні випробування циклонів різного типу показали, що для промислового застосування вони можуть бути обмежені в більшості випадків циліндричними і конічними циклонами НІИОГАЗ (науково-дослідний інститут по промислового та санітарному очищенню газів). Найбільш часто застосовуються циліндричні циклони марок ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, конічні СК ЦН-34, СК ЦН-34М, СДК ЦН-33. Геометричні розміри циліндричних і конічних циклонів вказуються в частках від внутрішнього діаметра.

Газовий потік вводиться в циклон через патрубок по дотичній до внутрішньої поверхні корпусу і робить обертально-поступальний рух уздовж корпусу до бункера. На частку пилу діють - сила тяжіння, сила опору середовища, відцентрова сила.

В даній роботі розраховується відцентровий циклон для уловлювання з повітря дрібних твердих частинок пилу щільністю $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$. Найменший діаметр частинок, що вловлюються $d = 5 \text{ мкм}$. Об'єм поступаючого повітря $V = 2215 \text{ м}^3/\text{год}$, середня температура $t_b = 20^\circ\text{C}$. Щільність повітря при заданій температурі $\rho_n = 1,2 \text{ кг/м}^3$, кинематична в'язкість $\nu = 12,02 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Вибираємо для розрахунку циклон конструкції НІИОГАЗ. При швидкості входу повітря в циклон $\omega = 20 \text{ м/с}$ площа перетину вхідного патрубку апарату:

$$f = bh = \frac{V_{сек}}{\omega_{вх}}, \text{ м}^2 \quad (2.76)$$

$$f = \frac{2215}{20 \cdot 3600} = 0,03 \text{ м}^2$$

Для вибранного циклона [33, табл.2] $h = 3,14b$, тоді $f = 3,14b^2 \frac{V_{сек}}{\omega_{вх}}$,

таким чином:

$$b = 0,565 \sqrt{\frac{V_{сек}}{\omega_{вх}}} = 0,565 \cdot \sqrt{f}, \text{ м} \quad (2.77)$$

$$b = 0,565 \cdot \sqrt{0,03} = 0,097 \text{ м}$$

Орієнтовне значення діаметра циклону згідно [33, табл.2]:

$$D = 1,65b, \text{ м} \quad (2.78)$$

$$D = 1,65 \cdot 0,097 = 0,16 \text{ м}$$

Приняв окружну швидкість газу $\omega_2 = 12 \text{ м/с}$, розраховуємо по формулі (17) [34, стр.16] орієнтовне значення фактора розділення:

$$\Phi_p = \frac{\omega_2^2}{gR} = \frac{2\omega_2^2}{gD} \quad (2.79)$$

$$\Phi_p = \frac{2 \cdot 12^2}{9,81 \cdot 0,16} = 183,4$$

Вважаючи, що осадження дрібних твердих частинок пилу заданих розмірів підпорядковується закону Стокса, підраховуємо швидкість осадження частинок за рівнянням (16) [33, ст.15] з урахуванням виразу (17) [33, ст.16]:

$$\omega_0 = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_2)g\Phi_p}{18\nu_2\rho_2}, \text{ м/с} \quad (2.80)$$

$$\omega_0 = \frac{(5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2600 - 1,2) \cdot 9,81 \cdot 183,4}{18 \cdot 12,02 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2} = 0,45 \text{ м/с}$$

Перевіряємо правильність застосування цієї формули за рівнянням:

$$\text{Re} = \frac{\omega_0 d}{\nu_2} = \frac{0,45 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{12,02 \cdot 10^{-6}} = 0,18 < 0,2$$

Таким чином, формулу (16) можна використовувати.

Приймаємо швидкість повітря у вихідній трубці $\omega_m = 5 \text{ м/с}$, знайдемо її
- внутрішній діаметр [33] рівняння (20):

$$d_m = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{сек}}{\omega_m}}, \text{ м} \quad (2.81)$$

$$d_T = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2215}{3600 \cdot 5}} = 0,4 \text{ м}$$

- Зовнішній діаметр [33], формула (21):

$$D_1 = d_m + 2\delta, \text{ м} \quad (2.82)$$

$$D_1 = 0,4 + 2 \cdot 0,005 = 0,41 \text{ м}$$

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

Тоді діаметр циклона [33], формула (22):

$$D = \frac{D_1}{1 - 10 \frac{\omega_{oc}}{\omega_c}}, \text{ м} \quad (2.83)$$

$$D = \frac{0,41}{1 - 10 \frac{0,45}{12}} = 0,66 \text{ м}$$

Приймаємо значення діаметра циклону $D = 0,7 \text{ м}$.

Відповідно до рекомендацій, наведеними в таблиці 2 [33, стор.16],
підраховуємо висоту:

- циліндричної частини циклону:

$$h_1 = 7,6b, \text{ м} \quad (2.84)$$

$$h_1 = 7,6 \cdot 0,097 = 0,74 \text{ м}$$

- конічної частини:

$$h_2 = 9,5b, \text{ м} \quad (2.85)$$

$$h_2 = 9,5 \cdot 0,097 = 0,92 \text{ м}$$

Гідравлічний опір циклона розраховується за формулою (24) [33]:

$$\Delta p = \xi_{\eta} \frac{\omega_{ex}^2 \rho_2}{2g}, \text{ кгс/м}^2 \quad (2.86)$$

$$\Delta p = 7 \cdot \frac{20^2 \cdot 1,2}{2 \cdot 9,81} = 1677 \text{ Па}$$

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів

В якості конструкційного матеріалу згідно ГОСТ 380-2005 приймаємо сталь Ст3 марки Ст3сп . Вид поставки - лист тонкий ГОСТ 19903-74.

Призначення - несучі і ненесучі елементи зварних і незварних конструкцій і деталей, що працюють при позитивних температурах. Фасонний і листовий прокат (5-ї категорії) товщиною до 10 мм для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях в інтервалі від -40 °С до + 425 °С. Прокат від 10 до 25 мм - для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при температурі від -40 °С до + 420 °С.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад, % (ГОСТ 380-94).

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Сu	As
			не більше					
0,14-0,22	0,40-0,65	0,05-0,17	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,08

Таблиця 3.2 – Механічні властивості

ГОСТ	Стан поставки	Переріз, мм	$\sigma_{0.2}$	σ_B	$\delta, \%$
			МПа		
			не менше		
380-94	Прокат гарячокатаний	До 20	245	370-480	26

Таблиця 3.3 - Ударна в'язкість КСУ, Дж/см² (ГОСТ 380-94)

Вид проката	Напрямок вирізання зразка	Переріз, мм	+20°С	-20°С	Після механічного старіння
			не менше		
Лист	Поперечне	5-9	78	39	39

Технологічні властивості: Температура кування, ° С - початку 1300, кінця 750. Охолодження на повітрі. Зварюваність - зварюються без обмежень; способи збирання: ручна дугова зварка, зварювання під шаром флюсу і газовим захистом, електрошлакове зварювання і контактне зварювання. Для товщини понад 36 мм рекомендується підігрів і подальша термообробка. Флокеночутливість - не чутлива. Схильність до відпускнуї крихкості - не схильна.

3.2 Визначення товщини стінки апарата

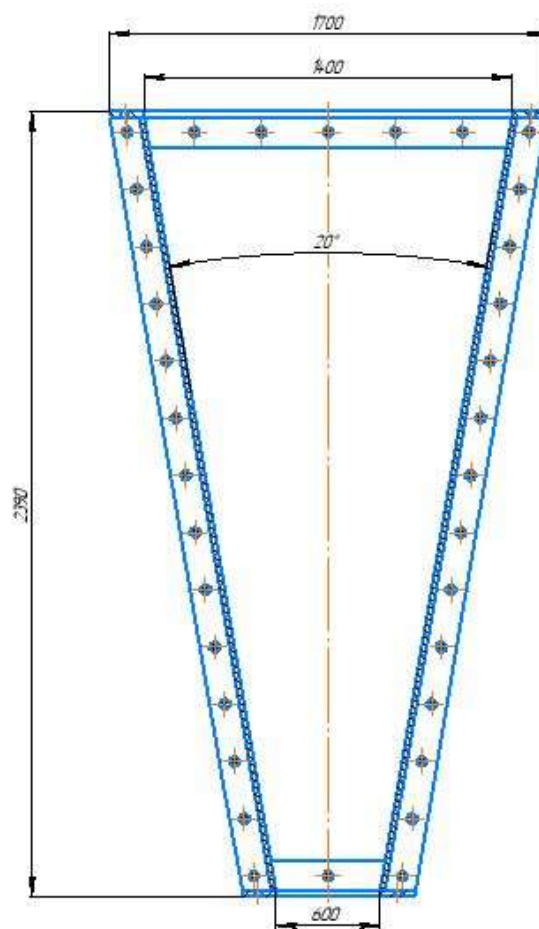


Рисунок 3.1 – Ескіз корпусу апарата

Розрахунок коробчатих обичайок з достатньою для практики точністю рекомендується проводити за спрощеною методикою, розглядаючи кожен з чотирьох прямокутних плоских стінок, з яких утворюється обичайка, як пластину, рівномірно навантажену тиском Р

Визначаємо нормативно-допустиму напругу для сталі Ст3 за межею текучості:

$$\sigma^* = \frac{\sigma_m^t}{n_m}, \text{ МПа} \quad (3.1)$$

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

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

$$\sigma^* = \frac{228}{2,1} = 114 \text{ МПа}$$

Визначаємо номінально-допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

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

$$[\sigma] = 114 \cdot 1,0 = 114 \text{ МПа}$$

Виконуємо розрахунок прямокутної площини стінки.

Відношення довжини до ширини окремих плоских елементів стінки $l/b = 3,92$.

Вважаючи елемент стінки жорстко закріпленим по периметру, знаходимо величину коефіцієнта K для $l/b = 3,92$ по графіку [34,с.430], $K=0,5$.

Номінальну розрахункову товщину стінки корпуса визначаємо за формулою:

$$s' = Kb \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}}, \text{ мм} \quad (3.3)$$

$$s' = 0,5 \cdot 0,6 \sqrt{\frac{0,1}{114}} = 5 \text{ мм.}$$

3.3 Розрахунок фланцевого з'єднання апарата

Верхній фланець

Визначаємо діаметр болтів:

$$d_b = 0,125 \cdot \left[\sqrt{(L_{\Pi} + B_{\Pi})^2 + 37 \frac{P_b}{\sigma_T \eta}} - (L_{\Pi} + B_{\Pi}) \right], \text{ м} \quad (3.4)$$

де L_n, B_n - середні поздовжній і поперечний розміри фланця, м;

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

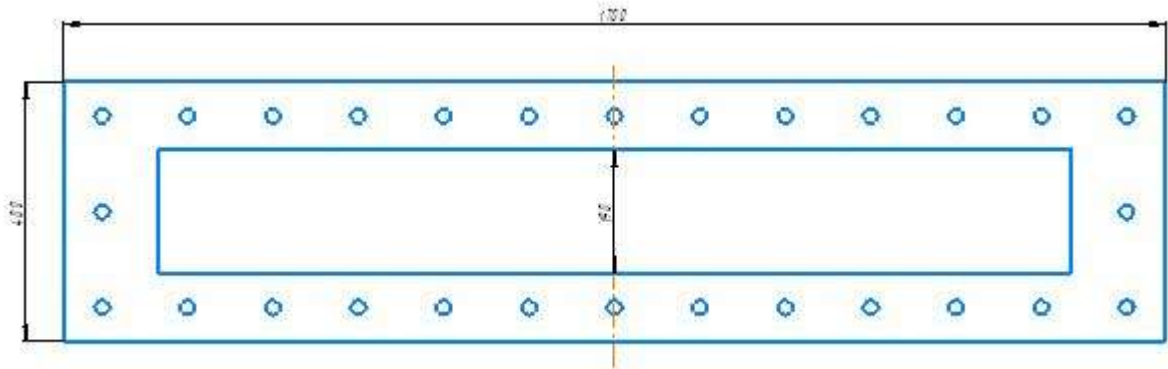


Рисунок 3.2 – Ескіз верхнього фланця апарата

$\sigma_T = 240$ МПа - межа текучості, для сталі Ст3 при температурі 20°C

P_b - розтягуюче зусилля в болтах, Н

$$P_b = P_c + P_n, \quad (3.5)$$

де P_c - тиск середовища, Н;

P_n - сила стискання прокладки, Н.

$$P_c = 1,2 \cdot k \cdot L_{\Pi} \cdot B_{\Pi} \cdot P_w, \text{ Н} \quad (3.6)$$

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.

$$P_c = 1,2 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 0,4 \cdot 0,1 \cdot 10^6 = 0,0816 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$P_{\Pi} = L_{\Pi} \cdot b_e \cdot q, \text{ Н} \quad (3.7)$$

де L_n - довжина ущільнюваної поверхні, м

b_e - ефективна ширина ущільнювача, $b_e = 0,38$ м, матеріал прокладки - гума.

q - питома навантаження на площу ущільнення, $q = 1,5 \cdot 10^6$ н/м²
табл.20.28 [34, ст.528]

$$P_{\Pi} = 1,7 \cdot 0,38 \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 0,97 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$P_{\Sigma} = 0,0816 + 0,97 = 1,05 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Визначаємо розрахункову силу осьового стиснення прокладки:

Середня довжина ущільнюваної поверхні:

$$L_{cp} = 2(L_g + b) + 2(B_g + b), \text{ м} \quad (3.8)$$

де L_g, B_g - середні поздовжній і поперечний розміри ущільнення, м,

b – ширина прокладки, м.

$$L_{cp} = 2(1,7 + 0,1) + 2 \cdot (0,1 + 0,1) = 4 \text{ м.}$$

Ефективна ширина ущільнення табл 20.27 [35, ст. 528]:

$$b_e = 1,2 \sqrt{b} \text{ м,} \quad (3.9)$$

де b – ширина прокладки, м.

$$b_e = 1,2 \sqrt{0,1} = 0,38 \text{ м}$$

Питома навантаження на прокладку:

$$q = (1,7p + 1,5) \cdot 10^6, \text{ н/м}^2 \quad (3.10)$$

где p – давление в аппарате, $p = 0,1$ Мн/м².

$$q = (1,7 \cdot 0,1 + 1,5) \cdot 10^6 = 1,67 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$$

Розрахункова сила осьового стиснення прокладки:

$$P'_n = L_{cp} b_e q, \text{ Н} \quad (3.11)$$

$$P'_n = 4 \cdot 0,1 \cdot 1,67 = 0,67 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$d_{\sigma} = 0,084 \cdot \left[\sqrt{(1,7 + 0,4)^2 + 56 \frac{1,05 \cdot 10^6}{240 \cdot 10^6 \cdot 1}} - (1,7 + 0,4) \right] = 0,6 \text{ мм}$$

Згідно рекомендацій [35 ст.263] приймаємо діаметр болтів $d_{\sigma} = 22$ мм, вибираємо стандартний болт– Болт М22-6gx70 ГОСТ 7798-70.

Визначаємо кількість болтів:

$$z = 1,2 \frac{P_{\sigma}}{kF_{\sigma}\sigma}, \text{ шт} \quad (3.12)$$

де P_{σ} - розтяжне зусилля в болтах, Н

F_{σ} - площа поперечного перерізу болта по внутрішньому діаметру різьби, $F_{\sigma} = 2,76 \cdot 10^4 \text{ м}^2$ табл.21.1 [34, ст.538];

σ - допустимі напруження при розтягуванні, $\sigma = 130 \text{ МН/м}^2$

$$z = 1,2 \frac{1,05 \cdot 10^6}{2,76 \cdot 10^{-4} \cdot 130 \cdot 10^6} = 35,12 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість болтів $z = 36$ шт.

Розрахункові відстані між крайніми осями болтів:

$$L_{\sigma} = L_{nn} + 1,6d_{\sigma}, \text{ м} \quad (3.13)$$

$$B_{\sigma} = B_{nn} - 1,6d_{\sigma}, \text{ м} \quad (3.14)$$

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

$$L_{\sigma} = 1,6 + 1,6 \cdot 0,0022 = 1,64 \text{ м}$$

$$B_{\sigma} = 0,39 - 1,6 \cdot 0,0022 = 0,36 \text{ м}$$

Розрахункове число болтів виходячи з максимального кроку:

$$z = \frac{2(L_{\sigma} + B_{\sigma})}{t}, \text{ шт} \quad (3.15)$$

$$t = 5d_{\sigma}, \text{ м} \quad (3.16)$$

$$t = 5 \cdot 0,022 = 0,11 \text{ м}$$

$$z = \frac{2(1,64 + 0,36)}{0,11} = 36 \text{ шт.}$$

Міцність болтів:

$$\sigma = \frac{P_{\sigma}}{f_{\sigma} \cdot z} \leq [\sigma] \quad (3.17)$$

$$\sigma = \frac{1,05 \cdot 10^6}{2,76 \cdot 10^4 \cdot 36} = 1,05 \leq 130 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Визначаємо товщину фланця:

$$h = 2,45 \sqrt{\frac{P_{\sigma} l z}{(L_z + B_z + L_n + B_n) \sigma_{\text{до}} z'}}, \text{ м} \quad (3.18)$$

де L_n, B_n - середні поздовжній і поперечний розміри ущільнення,

м,

L_z, B_z - середні поздовжній і поперечний розміри горловини, м

l - плече згинального моменту, м,

$\sigma_{\text{до}}$ - допустиме напруження при згинанні, $\sigma_{\text{до}} = 140 \text{ МН/м}^2$,

z, z' - число болтів, теоретичне і розрахункове.

Плече згинального моменту:

$$l = \frac{L_{\sigma} - 0,5(L_z + B_z)}{2}, \text{ м} \quad (3.19)$$

де L_{σ} - відстань між крайніми осями болтів в поздовжньому відстані, м.

$$l = \frac{1,64 - 0,5(1,4 + 0,19)}{2} = 0,42 \text{ м}$$

$$h = 2,45 \sqrt{\frac{1,05 \cdot 10^6 \cdot 0,42 \cdot 35,12}{(1,6 + 0,39 + 1,4 + 0,19) \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot 36}} = 0,071 \text{ м}$$

Беручи до уваги конструкцію апарата приймаємо товщину фланця $h = 28 \text{ мм}$.

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Монтаж пневмокласифікатора

Технологія монтажу апарату є складовою частиною проекту проведення монтажних робіт. Проектом передбачається детальна схема: вказуються місця установки підйомного обладнання, його постановка на різних етапах підйому. Зусилля, на елементи такелажного оснащення при підйомі апарату. Розрахунок цих елементів виконують згідно максимального зусилля. Підйом апарату здійснюється автомобільним краном, що дозволяє легко і швидко встановити апарат на рамну конструкцію, яка служить опорою для пневмокласифікатора. Перед підйомом апарат розташовують якомога ближче до рамної конструкції. Залежно від висоти монтажу апарату підбирається кран, здатний підняти обладнання на необхідну висоту. До опорної частини апарату з обох сторін прикріплюють троса, який намотується на барабан лебідки крана. Підйом апарату необхідно виконувати таким чином, щоб запобігти його розгойдування і обертання. В даному випадку строповка апарату виконується за підйомні вушка, що розташовуються на верхній частині конічного переходу. Підйом апарату відбувається у вертикальному положенні за допомогою рухомої стріли крана, після чого відбувається установка пневмокласифікатора на рамну конструкцію в необхідне робоче положення.

Для визначення ділянки стропування попередньо знаходять положення центра ваги апарату. Зусилля на елементи автомобільного крана визначають залежно від їх максимального значення, відповідно до яких підбирають кран необхідної вантажопідйомності. Значення зусиль можна визначати і аналітично, виходячи з умов рівноваги.

Апарат пневмокласифікації вивіряють на опорі особливо ретельно, так як навіть незначні відхилення від строго вертикального положення може привести до втрати стійкості і порушення нормальної роботи внутрішніх

пристроїв. У робочих монтажних кресленнях для конкретного апарату має бути зазначено максимально допустиме відхилення осі апарату від вертикалі.

Перевірка на вертикальність проводиться за допомогою теодолітів, які встановлюють в двох взаємно перпендикулярних площинах, що проходять через вісь апарату. Щоб уникнути помилок, бажано проводити перевірку в таких умовах, коли виключена можливість одностороннього нагрівання стінок корпусу апарату сонячними променями.

4.2 Підготовка та ремонт апарату

Порядок підготовки апарату до ремонту і проведення ремонтних робіт залежить від особливостей установки. В даному випадку апарат пневмокласифікації готують до ремонту таким способом. Доводять тиск в апараті до атмосферного, з апарату видаляють робоче середовище, після чого його продувають повітрям, який видуває залишки сипучої фракції з апарату. Після цього апарат промивають водою. Час операцій вказується у виробничій інструкції (технологічному регламенті) технологічної установки. Промитий апарат від'єднують від всіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

Ремонт апарату починають з його дегерметизації, яке необхідно проводити, дотримуючись наступних правил. Спочатку відкривають конічний перехід. Далі послідовно (зверху вниз) відкривають передню кришку. Працівник, який виконує ремонтні роботи повинен надягати пристосування для захисту органів дихання для запобігання попадання пилу в органи дихання.

Корпус апарату, а також його внутрішні пристрої піддають ретельному огляду. При необхідності огляду всієї поверхності корпусу розбирають внутрішні пристрої або їх частину. Дефекти на корпусу або на окремих його ділянках, які були виявлені в процесі огляду необхідно усунути. Для деталей, що схильні до найбільшого, зносу потрібно виконати

замірт залишкової товщини за допомогою ультразвукових дефектоскопів. В процесі огляду необхідно виконати перевірку на щільність зварних швів і з'єднань, а також забезпечити герметичність робочого простору апарату. Найбільш ізношені ділянки корпусу колони вирізують, а на їх місце ставлять нову ділянку.

За характером виявленого дефекту встановлюють характер і спосіб ремонту корпусу. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють. Зношені деталі апарату замінюють новими.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЛАСИФІКАЦІЇ НА ЛАБОРАТОРНІЙ МОДЕЛІ ПНЕВМОКЛАСИФІКАТОРА

5.1 Задачі для виконання досліджень

Аналіз існуючих апаратів пневмокласифікації та вибір оптимальної проточної частини класифікатора, з метою формування потоку, в якому будуть утворюватися стабільні великомасштабні вихрі.

- визначити оптимальні конструктивні особливості пневмокласифікатора;
- оцінити ефективність розділення в апараті з полками, підібрати оптимальну швидкість повітряного потоку;
- проаналізувати залежність між тиском в апараті, швидкістю і розміром фракції;
- проаналізувати результати проведених експериментів, обробити експериментальні дані графічно та аналітично;
- виконати комп'ютере моделювання процесу пневмокласифікації та виконати візуалізацію отриманих результатів.

5.2 Опис експериментальної установки пневматичного класифікатора

Для проведення експериментальних досліджень процесу поділу сипучих матеріалів використовується експериментальна установка, фотографія якої представлена на на рис. 5.1.

Устаткування, матеріали та прилади:

- обладнання - експериментальний стенд для дослідження процесу поділу сипучих матеріалів;
- циклон, дозатор, бункера, газодувки;
- матеріали - повітря, пісок;
- прилади - вимірну ємність, секундомір, манометри для вимірювання перепаду тисків, електронні ваги, трубка Піто.



Рисунок 5.1 - Фотографія експериментальної установки процесу пневмокласифікації

5.3 Опис технологічної схеми лабораторної установки

Схема установки пневмокласифікації (рис.5.2) включає в себе пневмокласифікатор, циклон, газодувку і ємності для відведення фракцій, що пройшли класифікацію.

Вихідна суміш, що містить в своєму складі певну суміш фракцій (потік С1) з дозатора Д за допомогою стрічкового живильника ЛП направляється в живильну секцію пневматичного класифікатора ПК. Через секцію подачі повітря апарата надходить повітряний потік (потік В1), витрата якого змінюється регулюючим клапаном ЗР.

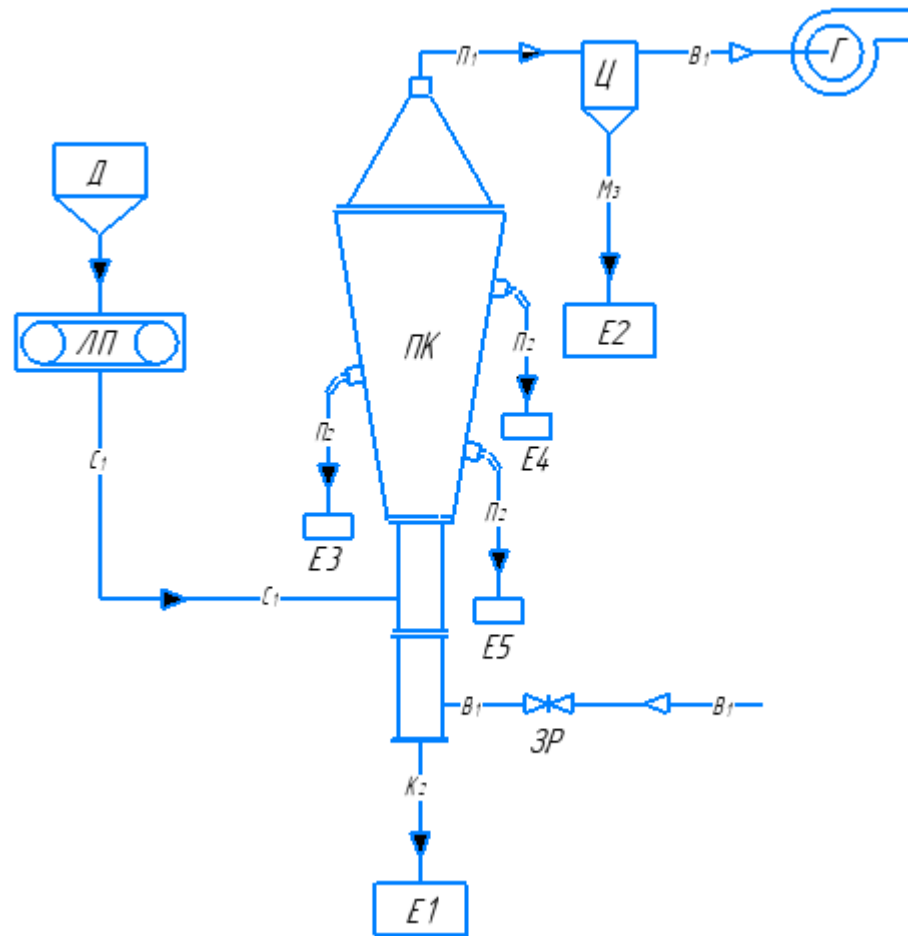


Рисунок 5.2 – Технологічна схема лабораторної установки пневмокласифікації

Фракція (дрібнодисперсна частина) призначена для класифікації підхоплюється потоком повітря, обтікаючи похилі перфоровані полки сепарується в їх нижній частині і, через бічні відводи виводиться з апарату (потік П2), після чого направляється в ємність E3. Далі пилоповітряний потік (потік П1) надходить в циклон Ц, де уловлюються дрібні частинки, очищене повітря виводиться в атмосферу (потік В1), а пиловидна фракція направляється в ємність E2 (потік М3). Крупнодисперсна фракція поступаю на вхід апарата та за рахунок сили тяжіння виділяється в нижній частині (потік К2), і через розділовий пристрій виводиться з апарату в приймальний бункер E1. Розділовий повітряний потік створюється за допомогою газодувки Г шляхом продування повітря через апарат. Відібрані проби після поділу класифікують на фракції за допомогою набору сит.

5.4 Опис лабораторного апарату процесу пневмокласифікації

Дослідження процесу пневмокласифікації та розробка виробничого апарату було проведено на основі лабораторної установки з використанням гравітаційного поличного апарату. Безпосередньо сам апарат складається з корпусу 1, верхньої кришки 2, камери нижньої подачі матеріалу 3, відводів класифікація фракції 4 і похилих полиць (перфорованих) 5. Матеріал експериментальної установки Сталь 10. Розділовий повітряний потік створюється за допомогою газодувки шляхом протягування повітря через апарат. Матеріал подається через камеру нижньої подачі 3. Фракція (мелкодисперсна частина) підхоплюється потоком повітря і обтікає похилі (перфоровані) полки 5, де вона сепарується і через бічні відводи 4 виводиться з апарату. Похилі (перфоровані) полки 5 служать для завихрення потоку. Полиці встановлюються під кутом, який регулюється. Крупнодисперсна фракція надходить на вхід апарату виділяється в нижній частині і через розділовий пристрій виводиться із апарату.

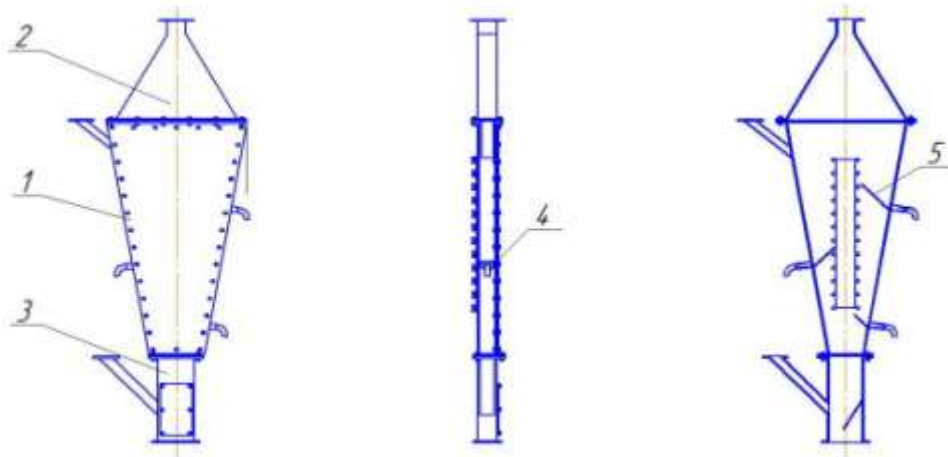


Рисунок 5.3 – Ескіз пневмокласифікатора

5.5 Методика проведення досліджень

Для створення висхідного потоку повітря використовується газодувка, регулювання втрати якого відбувається затискним вентиляем, установленим на трубопроводі всмоктування повітря.

Для вимірювання тиску повітря вході і виході з пневмокласифікатора використовуються контролюючі трубки, з'єднані з U - подібним манометрами, до якої приєднано трубку Піто-Прандтля. В якості рідини в U - подібному манометрі використовується етиловий спирт (C_2H_5OH). Похибка вимірювань повного і статичного тиску на вході і виході з апарату не повинна бути більше ± 1 мм спиртового стовпчика.

В якості сипучого матеріалу використовується пісок, який попередньо був просіяний на ситах з комірки від 0,2 мм до 0,63 мм. зважений на вагах для визначення ваги кожної отриманої фракції.

Порядок проведення роботи:

1. Проводиться розсівання матеріалу для класифікації.
2. Зважується кожна отримана фракція на кожному ситі.
3. Фракції змішуються та засипаються в бункер для подачі сировини.
4. Для створення висхідного потоку повітря вмикається газодувка.
5. За допомогою вентиля та орієнтуючись на U - подібний манометр виставляємо потрібний перепад тиску.
6. Запускаємо стрічковий живильник і засікаємо секундоміром час роботи (30 - 60 сек).
7. Зупиняємо електродвигун, і відключаємо газодувку.
8. Збираємо фракцію отриману в циклоні, нижньому бункері важкої фракції і на проміжних полицях.
9. Просіваємо кожен фракцію через сита, і зважуємо.

5.6 Обґрунтування вибору Ansys Fluent Flow для моделювання гідродинаміки процесу пневмокласифікації [32]

Комп'ютерне моделювання процесу класифікації проводилося за допомогою універсального програмного комплексу ANSYS Workbench (<https://www.ansys.com>). Розрахунок гідродинамічного потоку повітря і визначення оптимальних параметрів процесу здійснюється за допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench, а саме його модуля Fluent Flow.

Для моделювання було обрано саме модуль Fluent Flow, який дає можливість моделювати гідродинаміку повітряного потоку. Даний модуль включає в себе широкий спектр інструментів ANSYS Workbench. Використовуючи раніше змодельовану тривимірну геометрію робочої області генерується розрахункова сітка, за допомогою якої здійснюється розрахунок робочої області апарату. Інструменти модуля Fluent Flow дозволяють візуалізувати отриманий результати у вигляді заливок робочих параметрів, а також отримати анімацію руху полідисперсної фази в повітряному потоці.

ANSYS Fluent забезпечує повну гнучкість сітки, в тому числі здатність вирішувати поставлені завдання з потоком, використовуючи сітки, які можуть бути згенеровані щодо складних геометрій. ANSYS Fluent також дозволяє вдосконалити або спростити сітку, а також створити власну сітку для 3D-геометрії, використовуючи режим сітки Fluent Meshing. Всі інші операції виконуються в режимі рішення Fluent, включаючи настройку граничних умов, визначення та задання властивостей речовин, виконання розрахунків, очищення сітки, постпроцесінг і перегляд результатів.

Для проведення розрахунку необхідно виконати наступні дії:

1. Запустити ANSYS Workbench.
2. Створити систему аналізу потоку рідини FLUENT в ANSYS Workbench.
3. Створити геометрію робочої області за допомогою ANSYS DesignModeler або імпортувати готову геометрію.
4. Створити обчислювальну сітку для геометрії за допомогою ANSYS Meshing.

Налаштування симуляції CFD в ANSYS FLUENT включає:

1. Визначення властивостей матеріалу і граничних умов для задання моделі турбулентності потоку.
2. Процес розрахунку з використанням «решателя» на основі тиску.

3. Обробка отриманих у вигляді заливки по тиску, швидкості і температури, результатів з використанням CFD-Post.
4. Візуалізація у вигляді анімації.

5.7 Розробка 3D моделі розрахункової області і задання розрахункової сітки. Задання математичної моделі і граничних умов [32]

При моделюванні апарату була застосована система автоматизованого проектування КОМПАС 3D v17 (<https://ascon.ru>) інструменти якої дозволили змодельовати частину робочого об'єму апарату, що використовується в процесі розрахунку. Геометрія отриманого пристрою імпортується в ANSYS DesignModeler, який застосовується як редактор геометрії для існуючих моделей САПР, а також для їх попередньої обробки. ANSYS Meshing забезпечує гнучку конструкцію обчислювальної сітки, яка дозволяє генерувати якісну сітку по геометрії пристрою з використанням тривимірних тетраедричних, шестигранних і пірамідальних елементів (рис.5.4).

Sizing	
Size Function	Curvature
Relevance Center	Coarse
Max Face Size	3,e-003 m
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default (1,5e-005 m)
Transition	Slow
Growth Rate	Default (1,20)
Span Angle Center	Fine
Min Size	Default (3,e-005 m)
Max Tet Size	Default (6,e-003 m)
Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)
Bounding Box Diagonal	1,73210 m
Minimum Edge Length	2,e-003 m
Quality	
Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
Min	1,3057e-010
Max	0,95538
Average	0,33389
Standard Deviation	0,1964

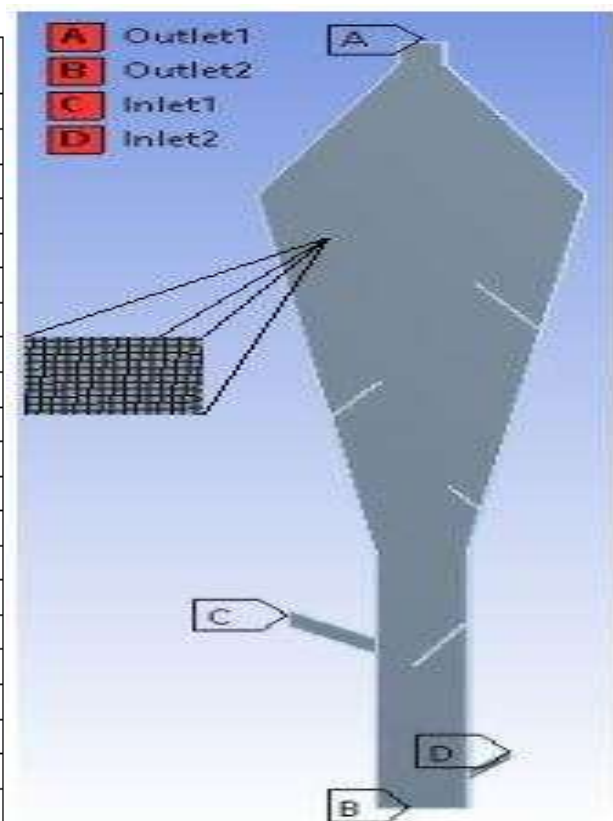


Рисунок 5.4 - Основні параметри розрахункової сітки і граничні умови розрахункової моделі: А - вихід дрібнодисперсної фази, В - вихід

крупнодисперсні фази, С - вхід полідисперсного матеріалу, D - вхід потоку повітря.

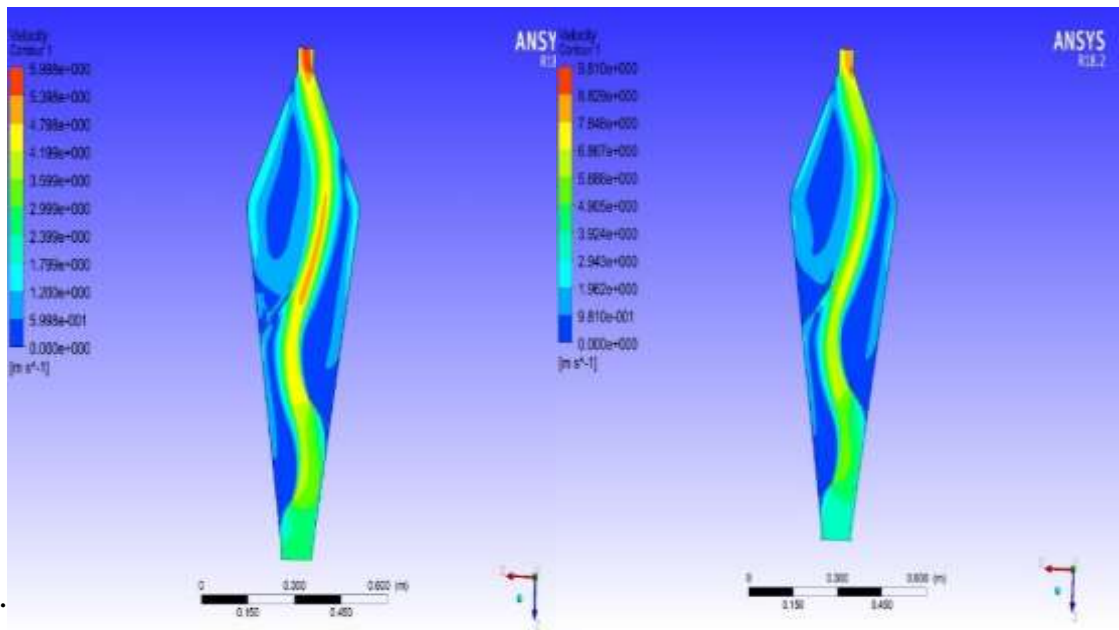
Для подальшого моделювання використовується препроцесор Fluent. Це допомагає встановити параметри процесу. Вибирається метод рішення «на основі тиску», який дозволяє використовувати алгоритм Нав'є-Стокса на основі тиску. Встановлено тимчасову залежність «перехідний», що вказує на нестационарність процесу. Процес розрахунку ведеться з використанням моделі турбулентності k-epsilon. Модель k-ε RNG покращує точність для вихрових потоків, оскільки вона залежить від вихрового ефекту, турбулентності і є більш точною і надійною для більш широкого класу потоків, ніж стандартна модель. Функція «Стандартні функції стінки» визначає параметри стінки, яка застосовується для моделювання турбулентності повітряного потоку. Для розрахунку потоку дисперсних частинок в обсязі пристрої використовується «дискретна фазова модель». Дана модель дозволяє встановлювати параметри, пов'язані з обчисленням дискретної фази частинок. Визначення відсотка сортування частинок з щільністю $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$ здійснюється в установленому каналі з діаметром частинок $d = 0,2-0,315 \text{ мм}$ і $d = 0,4-0,63 \text{ мм}$ при швидкості повітря $v = 2,6 \text{ м/с}$. Встановлено граничні умови на вході (Inlet 1) для полідисперсної фазової фази $P = 0,03 \text{ кг/с}$, на виході (Inlet 2) швидкістю газового потоку $v = 2,6 \text{ м/с}$ (рис. 5.4).

Оскільки рівняння, що використовуються в процесі розрахунків не лінійні і пов'язані один з одним, процес вирішення включає ітерації, де весь набір рівнянь вирішується багаторазово, поки рішення не сходиться.

ANSYS CFD-Post дозволяє отримувати значення основних параметрів (швидкість газу, гідравлічний опір і розподіл твердої фази в об'ємі апарату) [32].

5.8 Узагальнення, візуалізація і аналіз результатів моделювання [32]

Розподіл тиску (рис.5.6) і поля швидкостей (рис.5.5) були отримані з комп'ютерного моделювання процесу класифікації. Ці результати дозволили визначити гідродинамічні характеристики потоку і його вплив на ефективність процесу класифікації. Було виявлено, що обрана оптимальна форма робочого об'єму апарату, що сприяє формуванню стійких вихрів в об'ємі апарату (рис.5.7). Після проведеної експериментальної оцінки було підтверджено вплив контактних елементів на структуру повітряного потоку і розподіл твердих частинок в об'ємі пристрої. Моделювання дозволило візуально побачити концентрацію та розподіл часток на контактних елементах. При порівнянні отриманих та експериментальних даних була підтверджена можливість розділення полідисперсних матеріалів в обсязі одного пристрою без використання послідовно розташованих пристроїв. Отримане поле швидкості повітряного потоку в проточній частині пристрою (рис.5.5) дозволило визначити робочі, технологічні та конструктивні параметри процесу класифікації полідисперсних матеріалів, що забезпечує ефективність процесу і високу ступінь поділу в об'ємі одного пристрою



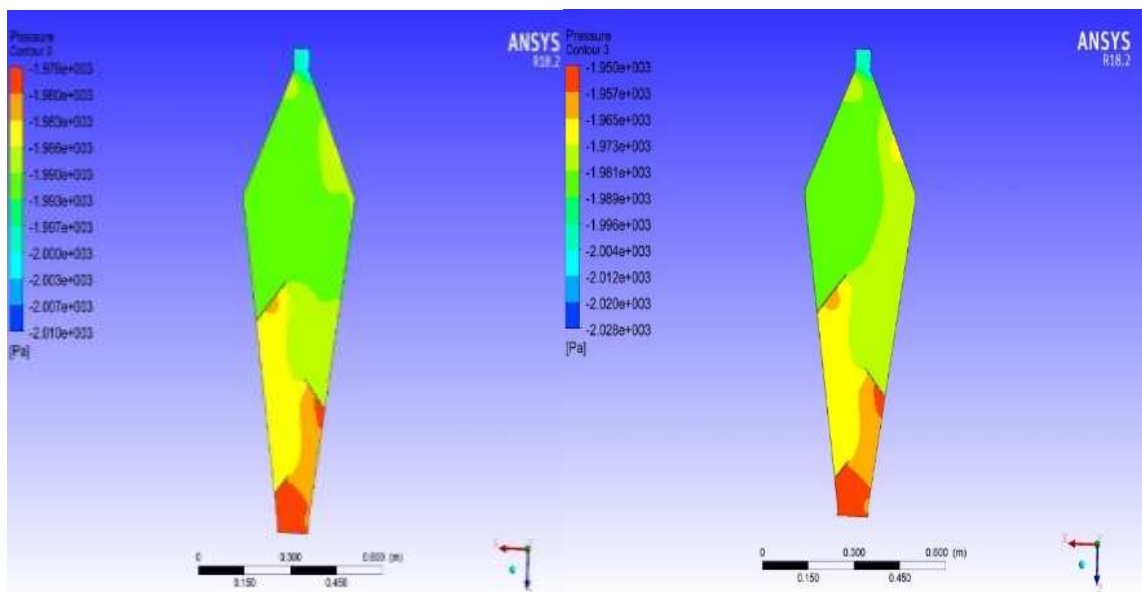
а)

б)

Рисунок 5.5 – Заливка по швидкості повітряного потоку:

а) для частинок $d = -0,315 + 0,2$ мм, $V = 2,6$ м/с;

б) для частинок $d = -0,63 + 0,4$ мм, $V = 3,784$ м/с.



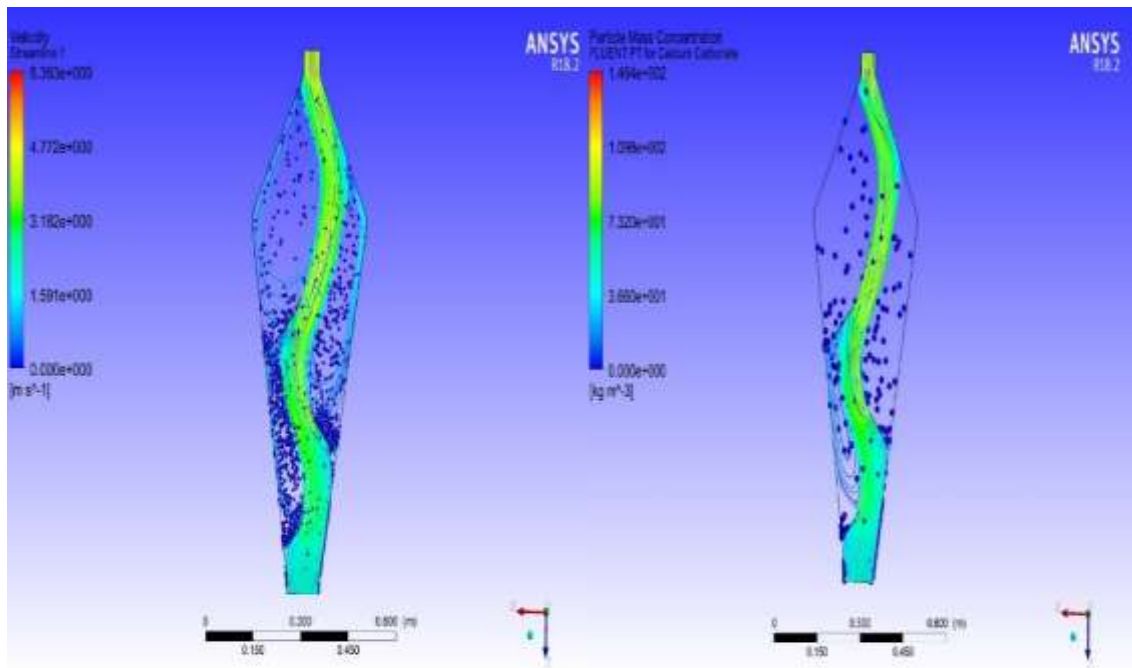
а)

б)

Рисунок 5.6 – Заливка по внутрішньому тиску:

а) для частинок $d = -0,315 + 0,2$ мм, $V = 2,6$ м/с;

б) для частинок $d = -0,63 + 0,4$ мм, $V = 3,784$ м/с.



а)

б)

Рисунок 5.7 – Показники швидкості повітряного потоку:

а) для частинок $d = - 0,315 + 0,2$ мм, $V = 2,6$ м/с;

б) для частинок $d = - 0,63 + 0,4$ мм, $V = 3,784$ м/с.

На основі отриманих даних комп'ютерного моделювання був зроблений висновок про можливість збільшення впливу потоку газу на полідисперсний матеріал і організації руху уздовж стінок вниз крупної фракції за рахунок оптимізації конструкції, зокрема шляхом організації додаткових отворів для вводу повітряного потоку. Дослідницька робота з моделювання була проведена в контексті проекту ДР № 0117U003931, який був замовлений Міністерством освіти і науки України.

6 АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

6.1 Призначення автоматизованої системи управління технологічним процесом

У даній роботі розглядається побудова технологічної схеми процесу пневмокласифікації із застосуванням інтегрованого середовища розробки Trace Mode версії 6.0.

Диспетчерське управління і збір даних - SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) - даний час є основними методами автоматизованого управління складними динамічними системами та процесами. В даній роботі схема автоматизації процесу побудована на принципах диспетчерського управління. Створення системи управління процесу пневмокласифікації передбачає деякі етапи проектування АСУ ТП, таких як наприклад аналіз процесу виробництва, забезпечення безпеки при роботі персоналу, а також забезпечення простоти управління процесом.

Одними з головних переваг автоматичної системи управління технологічним процесом (АСУТП) є зниження, аж до повного виключення, впливу, людського фактора на керований процес, скорочення персоналу, мінімізація витрат сировини, поліпшення якості вихідного продукту, і в кінцевому підсумку суттєве підвищення ефективності виробництва. Основні функції подібних систем, включає в себе контроль і управління, обмін даними, обробку, накопичення і зберігання інформації, формування сигналів тривоги, побудова графіків і звітів.

Структура автоматизованої системи управління можна розділити на три основні рівня. У перший нижчий рівень, входять датчики, виконавчі механізми, первинні і вторинні перетворювачі. У середній входять програмовані контролери (ПЛК), в верхній ЕОМ. У даній роботі розглянуті перші два рівня.

В технологічній схемі пневмокласифікації здійснюється дистанційний контроль:

- тиску за допомогою датчика тиску;
- температури за допомогою датчика температури;
- кількості подачі сипучого матеріалу.

6.2 Вибір вимірювальних пристроїв

При виборі датчиків, для вимірювання надлишкового тиску, температури враховуються діапазон вимірювань, основна приведена похибка, робота у вибухонебезпечному середовищі, зручність монтажу та обслуговування, ціни.

Для фіксації тиску в об'ємі апарату вибираємо датчик серій Метран 100 типу ДІВ для вимірювання в системі тиск-вакуум. Характеристика якого представлена в таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – Технічна характеристика датчика Метран -100-ДІВ

Характеристика	Метран - 100-ДІВ
Мінімальний тиск, кПа	0-0,04
Максимальний тиск, кПа	100
Похибка вимірювань, %	0,1
Вихідний сигнал, мА	0-5, 0-20, 4-20
Вимірювальне середовище	Газ, рідина

Датчики Метран-100 можуть бути налаштовані на верхню межу вимірювань або діапазон вимірювань від P_{\min} до P_{\max} по стандартному ряду тисків ГОСТ 22520, а також на верхню межу або діапазон вимірювань.

Датчик стійкий до впливу атмосферного тиску від 84,0 до 106,7 кПа (група Р1, ГОСТ 12997). В залежності від кліматичного виконання по ГОСТ 15150 стійкий до впливу температури навколишнього повітря, датчик стійкий до впливу відносної вологості навколишнього повітря до $(95 \pm 3)\%$ при $35 \text{ }^\circ\text{C}$ і

більш низьких температурах без конденсації вологи. Ступінь захисту від впливу пилу і води IP65 по ГОСТ 14254.

Індикаторний пристрій встановлено в корпусі електронного перетворювача (датчики з кодами МП1, МП3, МП5). Індикаторний пристрій для датчиків з кодом МП виконано у вигляді окремого пристрою (виносний індикатор ВІ) і підключається до датчика за допомогою роз'єму. У режимі вимірювання тиску на дисплеї вбудованого або виносного індикатора, HART-комунікатора відображається значення вимірюваного тиску в встановлених при налаштуванні одиницях виміру або в% від діапазону зміни вихідного сигналу. Для датчиків, укомплектованих індикаторними пристроями, похибка індикації значень вхідних вимірюваної величини не перевищує $\pm 1\%$ від верхньої межі або діапазону вимірювань.

Для вимірювання температури газоподібного середовища обираємо датчик Метран-276 [37]. Чутливий елемент первинного перетворювача і вбудований в головку датчика вимірювальний перетворювач перетворюють вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал постійного струму, що дає можливість побудови АСУТП без застосування додаткових нормуючих перетворювачів.

Діапазони уніфікованих вихідних сигналів, номінальна статична характеристика (НСХ) первинного перетворювача, діапазони температур, межі допустимої похибки, залежність вихідного сигналу від температури вказані в табл.6.2.

Таблиця 6.2 – Технічна характеристика датчика Метран-276

Тип та виконання термоперетворювача	НСХ	Вихідний сигнал, мА	Діапазон температур	Похибка %	Залежність вихідного сигналу від температури
ТСПУ Метран-276	Pt100	0-5, 4-20	-50...100, 0...150, 0...50, 0...100	0,25; 0,5	лінійна

Термоперетворювач ТСПУ Метран-276-Ех може застосовуватися у вибухонебезпечних зонах, в яких можливе утворення вибухонебезпечних сумішей газів, парів, горючих рідин з повітрям категорій ІА, ІВ і ІС, груп Т1 -Т6 по ГОСТ Р 51330.11-99. Ступінь захисту термопреобразователя від впливу пилу і води ІР65 по ГОСТ 14254.

Для вимірювання вологості повітря в об'ємі апарата обираємо датчик Ивит-М.Т [36], що призначений для контролю і регулювання вологості і температури повітря і неагресивних газів в харчовій і будівельній промисловості, житлово-комунальному та сільському господарстві, а також в машинобудуванні.

Технічна характеристика:

Діапазон напруги живлення - від 18 до 36 В.

Кількість струмових виходів 4 ... 20 мА - 2.

Діапазон перетворення сигналу по відносній вологості:

- 4 мА відповідає 0% відн.;

- 20 мА відповідає 100% відн., без конденсації вологи;

Діапазон перетворення сигналу по температурі:

- 4 мА відповідає -40 ° С;

- 20 мА відповідає +100 ° С.

Робочий діапазон виміру відносної вологості - від 5 до 95%.

Робочий діапазон вимірювання температури в залежності від конструктивного виконання:

- Н1, У - від мінус 40 до плюс 50 ° С;

- Н2, К1, К2 - від мінус 40 до плюс 100 ° С.

Робочий діапазон експлуатації електронного блоку від мінус 40 до плюс 50 ° С.

Постійна часу вимірювання відносної вологості, при швидкості потоку повітря не менше 1м/с, - не більше 2 хв.

Постійна часу вимірювання температури, при швидкості потоку повітря не менше 1 м/с – не більше 5 хв.

Мінімальна глибина занурення зонда приладу, 11 - 140 мм.

Прилад забезпечує режим індикації виміряних значень на цифровому світлодіодному індикаторі:

- відносної вологості в одиницях % відн.;
- температури в ° С;
- температури точки роси, ° С.

Діапазон температур, що відображаються від мінус 40 до плюс 120, з роздільною здатністю 0,1.

Прилад забезпечує наступні режими індикації:

- перемикання з каналу на канал автоматично через кожні 10 с;
- безперервна індикація обраного каналу.

Прилад має вбудовану систему захисту від перевищення відносної вологості вище 95% поблизу чутливого елемента вологості і температури (ЧЕВТ) і конденсації вологи . При відносній вологості вище 95% автоматично включається.

Прилад виконує перерахунок виміряних значень вологості і температури за заданим алгоритмом з урахуванням нагріву. Час відновлення режиму вимірювання вологості приладу, після спрацювання захисту від перевищення вологості, - не більше 10 хв.

Прилад має взаємозамінний ЧЕВТ.

Електронний блок приладу містить внутрішній фільтр з наступними параметрами:

- час вимірювання - 1 с;
- постійна часу - 10 с;
- смуга фільтра - 10%

Опір навантаження (Опір лінії зв'язку плюс опір на вході вимірювального приладу) - не більше 1,0 кОм.

Середнє значення безперебійної роботи - не менше 20000 ч.

6.3 Автоматизація технологічного процесу пневмокласифікації

У даній роботі розглянуто автоматизація технологічного процесу пневмокласифікації. Технологічна схема процесу представлена на рисунку 2.1

Технологія розділення полідисперсних матеріалів виконується з використанням виробничих апаратів: поличного пневмокласифікатора, циклонів, газодувок, пилоконцентратора та бункерів.

За допомогою пневмокласифікатора забезпечується розділення полідисперсного матеріалу на фракції необхідного розміру. Для забезпечення роботи апарата потрібно забезпечити необхідну швидкість повітряного потоку. Швидкість повітряного потоку, що подається в апарат регулюється за допомогою регулюючого клапану з електроприводом. Регулювання кількості полідисперсного матеріалу, що подається на розділення відбувається за допомогою стрічкового живильника. Температура і тиск в апараті контролюються датчиками температури та тиску. В процесі класифікації сипуча суміш розділяється на декілька різних за розміром фракцій, які за допомогою бокових відводів на яких знаходяться заслонки, після відкриття яких матеріал висипається та за допомогою шнекових транспортерів виводяться із апарату в бункери. Кількість частинок розміром менше 0,2 мм, в результаті тонкої очистки в циклонах відводяться в бункери збору готового продукту, вилучення якого відбувається за допомогою регулюючих заслонок.

При нормальній роботі технологічної схеми процесу пневмокласифікації управління клапанами та заслонками здійснюється дистанційно з операторської станції. Пульти керування обладнанням оснащені моніторами з сенсорним управлінням, на яких відображається поточна інформація про роботу установки. Управління певними параметрами та пристроями в ручному режимі роботи також відбувається з цих панелей.

Завдяки високій якості використовуваних датчиків (індуктивних, фотодатчиків, ємнісних, датчиків температури, тиску і розрідження),

підібраних електродвигунів, комутаторної і захисного обладнання, витрати на електроенергію, витратні матеріали та газ значно зменшуються, що в свою чергу позитивно впливає на собівартість продукту і його якість. В установці розділення полідисперсного матеріалу відбувається контроль наступних параметрів:

- кількість сипучого матеріалу;
- витрата повітря;
- тиск на вході та виході з апарата;
- температура сипучого матеріалу;
- вологість повітря
- кількість сипучого матеріалу в бункерах;

При підвищенні кількості сипучого матеріалу в бункерах до граничного за сигналом від сигналізатора рівня відкривається клапан на вихід.

Пневмокласифікатор забезпечений системою подачі сипучого матеріалу, кількість якого регулюється стрічковим живильником. Також до складу установки пневмокласифікації входять:

- газодувка внутрішнього забору повітря типу ВР165-15.1-8 (ВВД-8), що призначена для забезпечення висхідного потоку повітря в трубопроводі установки;
- газодувка типу ВР165-15.1-8 (ВВД-8) на видув повітря в атмосферу, що призначена для вирівнювання тиску в системі та виходу очищеного повітря в атмосферу;
- циклони, що призначені для тонкої очистки повітря;
- пилеконцентратор, забезпечує вирівнювання тиску в системі, додаткову очистку повітря від пилу та точність подачі пилогазового потоку в циклон.

Перепад тиску в ситемі контролюється за допомогою регулюючих заслонок.

Зупинка апарата пневмокласифікації здійснюється у наступних випадках:

- відхилення тиску в результаті порушення герметичності;
- підвищення температури підшипників електродвигуна і газодувок за встановлену межу;
- під час пожежі на підприємстві.

6.4 Етапи розробки автоматизованої системи управління

Розробка автоматизованої системи управління (АСУ) проводиться в такому порядку:

- а) створення проекту;
- б) створення бібліотеки компонентів;
- в) розробка шаблонів екранів;
- г) розробка шаблонів програм і їх налагодження;
- д) створення вузлів проекту і бази вузлів;
- е) створення архіву та звіту тривоги;
- ж) наладка проекту.

Перед створенням АСУ була проведена настройка інструментального середовища. Після настройки системи розробки TRACE MODE за допомогою інструментальної панелі був створений новий проект.

Використовуючи бібліотеку компонентів створюється набір графічних об'єктів - зображення клапанів, бункерів і т.д. Використовуючи бібліотеку відеокліпів створюються анімації, який візуально дають зрозуміти про хід протікання процесу. При побудові мнемосхеми технологічного процесу попередньо був створений шаблон екрану, який дає можливість розміщувати і редагувати графічні елементи, а також задавати регулюють параметри. Для зручності роботи було поставлено розмір екрану 1024x768, який дає можливість розмістити всі необхідні графічні елементи.

Після попереднього налаштування робочої області за допомогою графічних інструментів створюється мнемосхема на основі якої буде

проводиться контроль і управління регулюючих параметрів установки. Мнемосхема технологічного процесу пневмокласифікації представлена на рисунку 6.1.

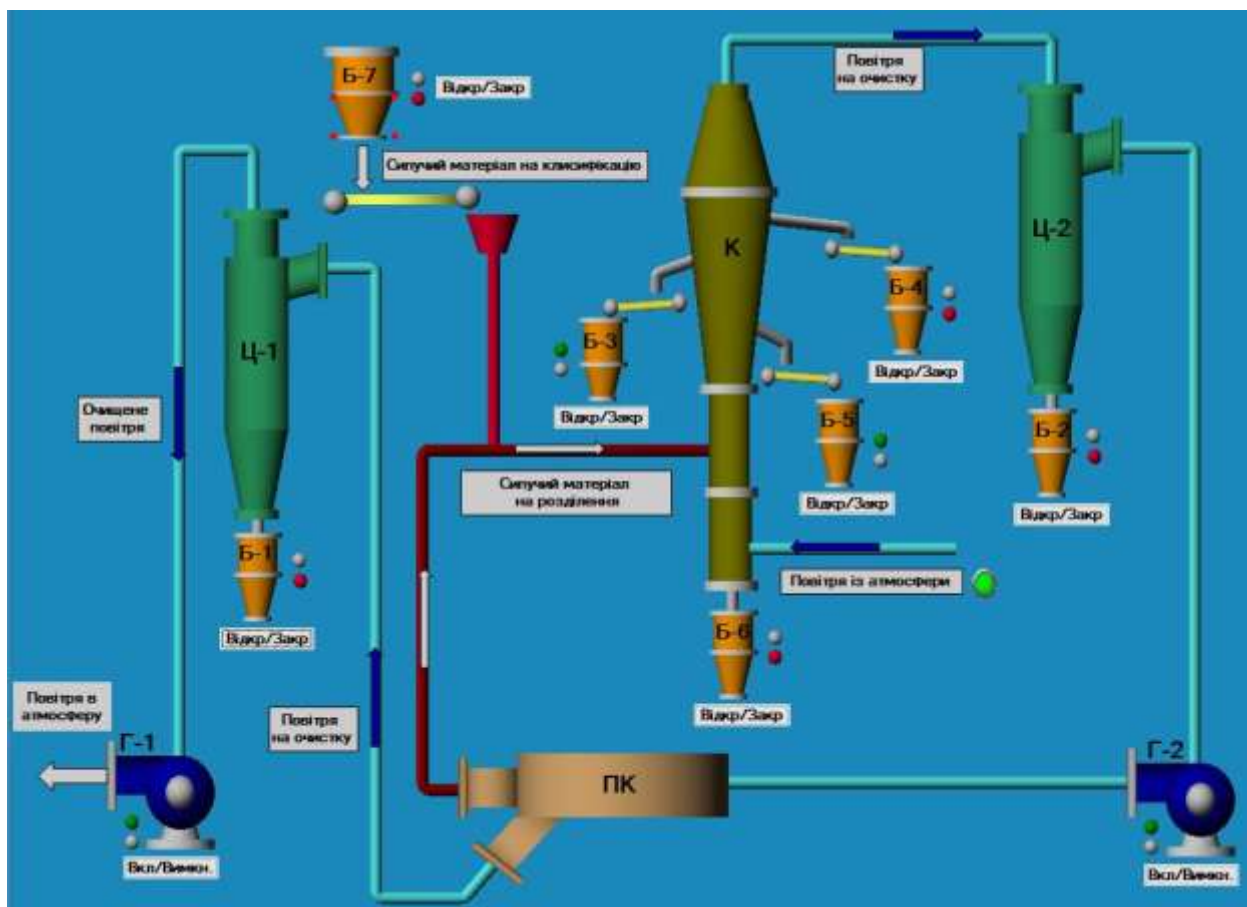


Рисунок 6.1 - Мнемосхема технологічного процесу пневмокласифікації

Після створення мнемосхеми технологічного процесу створюються шаблони програм. Встановлюється тип даних IN / OUT або OUT, за допомогою яких буде виконуватися дистанційне керування регулюючих параметрів процесу.

Середовище Trace Mode дозволяє написати програму без глибоких знань в області програмування. Для написання програми використовувався тип програмування ST. Для контролю процесу додатково створюється FBD-програма, яка дає можливість управляти датчиками сигналізації, які виводять на екран мнемосхеми повідомлення про відхилення значень від заданих параметрів.

Виконання перевірки коректності написання програми є важливим етапом розробки системи автоматизації. Для створюються вузли проекту і канали по аргументам розроблених шаблонів екранів. Для забезпечення працездатності кожної програми виконується прив'язка атрибутів каналів до аргументів. Фіксація неполадок в процесі роботи установки відображається в спеціальному звіті, який за допомогою словника повідомлень, відображає характер неполадки, а також час її виникнення.

Заключною операцією розробки проекту є його налагодження. Для цього створений проект зберігається в режимі монітора реального часу. Після всіх виконаних операцій, прив'язок керуючих програм до обладнання і датчиків, за допомогою раніше побудованої мнемосхами, оператор може виконувати регулювання управляючих параметрів лише натиснувши необхідні кнопки на екрані, що істотно полегшує виробничий процес.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1.1. Аналіз шкідливих факторів і потенційних небезпек при роботі обладнання

Згідно ГОСТ 12.0.003 - 74 «НЕБЕЗПЕЧНІ І ШКІДЛИВІ ВИРОБНИЧІ ФАКТОРИ».

При роботі пневмокласифікатора виділяють наступні виробничі небезпеки:

- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- знижена вологість повітря;
- відсутність або нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;

7.1.2 Допустимий вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Концентрація шкідливих речовин, що містяться в повітрі робочої зони повинна відповідати ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони»

- Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), які використовуються при проектуванні виробничих будівель, технологічних процесів, обладнання, вентиляції.

- Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони підлягає систематичному контролю для попередження можливості перевищення гранично допустимих концентрацій - максимально разових робочої зони (ГДКМР.РЗ) і середньо змінну робочої зони (ГДКСС.РЗ).

- При одночасному вмісті в повітрі робочої зони декількох шкідливих речовин різноспрямованої дії ГДК залишаються такими ж, як і при ізольованому впливі.

- При одночасному вмісті в повітрі робочої зони декількох шкідливих речовин односпрямованої дії (за висновком органів державного санітарного нагляду) сума відношень фактичних концентрацій кожної з них не повинна перевищувати одиниці

7.1.3 Контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони

- Відбір проб повинен проводитися в зоні дихання при характерних виробничих умовах.

- Для кожної виробничої ділянки повинні бути визначені речовини, які можуть виділятися в повітря робочої зони. При наявності в повітрі декількох шкідливих речовин контроль повітряного середовища допускається проводити по найбільш небезпечним і характерним речовин, які встановлюються за органами державного санітарного нагляду.

7.1.4 Вимоги до контролю за дотриманням максимально разової гранично-допустимої концентрації (ГДК)

- Контроль вмісту шкідливих речовин в повітрі проводиться на найбільш характерних робочих місцях. При наявності ідентичного обладнання або виконання однакових операцій контроль проводиться вибірково на окремих робочих місцях, розташованих в центрі і по периферії приміщення.

- Зміст шкідливої речовини в даній конкретній точці характеризується наступним сумарним часом відбору: для токсичних речовин - 15 хв, для речовин переважно фіброгенного дії - 30 хв. За вказаний період часу може бути відібрана одна або кілька послідовних проб через рівні проміжки часу. Результати, отримані при одноразовому відборі або при усередненні послідовно відібраних проб, порівнюють з величинами ГДКМР.РЗ.

- Протягом зміни і (або) на окремих етапах технологічного процесу в одній точці повинно бути послідовно відібрано не менше трьох проб. Для аерозолів переважно фіброгенного дії допускається відбір однієї проби.

- При можливому надходженні в повітря робочої зони шкідливих речовин з гостронаправленим механізмом дії повинен бути забезпечений безперервний контроль з сигналізацією про перевищення ГДК.

- Періодичність контролю встановлюється в залежності від класу небезпеки шкідливої речовини: для I класу - не рідше 1 разу на 10 днів, II класу - не рідше 1 разу на місяць, III і IV класів - не рідше 1 разу в квартал.

Залежно від конкретних умов виробництва періодичність контролю може бути змінена за погодженням з органами державного санітарного нагляду. При встановленому відповідно вмісту шкідливих речовин III, IV класів небезпеки рівню ГДК допускається проводити контроль не рідше 1 разу на рік.

7.1.5 Вимоги до контролю за дотриманням середньо-змінної гранично-допустимої концентрації (ГДК)

- Середньо змінну концентрації визначають для речовин, для яких встановлено норматив - ГДКСС.РЗ. Вимірювання проводять приладами індивідуального контролю або за результатами окремих вимірів. В останньому випадку її розраховують як величину, середньозважену в часі, з урахуванням перебування працюючого на всіх (в тому числі і поза контактом з контрольованим речовиною) стадіях і операціях технологічного процесу. Обстеження здійснюється протягом не менше ніж 75% тривалості зміни протягом не менше 3 змін.

7.1.6 Оптимальні і допустимі величини показників мікроклімату у виробничих приміщеннях

Показниками, що характеризують мікроклімат, є:

1) температура повітря;

- 2) відносна вологість повітря;
- 3) швидкість руху повітря;
- 4) інтенсивність теплового випромінювання.

- Оптимальні показники мікроклімату поширюються на всю робочу зону, допустимі показники встановлюються диференційовано для постійних і непостійних робочих місць ..

- Допустимі величини показників мікроклімату встановлюються у випадках, коли за технологічними вимогами, технічних і економічних причин не забезпечуються оптимальні норми.

- У кабінах, на пультах і постах керування технологічними процесами, в залах обчислювальної техніки та інших виробничих приміщеннях при виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово-емоційним напруженням, повинні дотримуватися оптимальні величини температури повітря 22-24 ° С, його відносної вологості 60-40% і швидкості руху (не більше 0,1 м / с). Перелік інших виробничих приміщень, в яких повинні дотримуватися оптимальні норми мікроклімату, визначається галузевими документами, узгодженими з органами санітарного нагляду в установленому порядку.

- При забезпеченні оптимальних показників мікроклімату температура внутрішніх поверхонь конструкцій, що обгороджують робочу зону (стін, підлоги, стелі та ін.), Або пристроїв (екранів і т.п.), а також температура зовнішніх поверхонь технологічного устаткування або огорожувальних його пристроїв не повинні виходити більш ніж на 2 ° С за межі оптимальних величин температури повітря, для окремих категорій робіт. При температурі поверхонь огорожувальних конструкцій нижче або вище оптимальних величин температури повітря робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м. Температура повітря в робочій зоні, виміряна на різній висоті і в різних ділянках приміщень, не повинна виходити протягом зміни за межі оптимальних величин, для окремих категорій робіт.

- При забезпеченні допустимих показників мікроклімату температура внутрішніх поверхонь конструкцій, що обгороджують робочу зону (стін, підлоги, стелі та ін.), Або пристроїв (екранів і т.п.) не повинна виходити за межі допустимих величин температури повітря, встановлених для окремих категорій робіт . Перепад температури повітря по висоті робочої зони при всіх категоріях робіт допускається до 3 ° С.

Коливання температури повітря по горизонталі в робочій зоні, а також протягом зміни допускаються до 4 ° С - при легких роботах, до 5 ° С - при середній тяжкості роботах і до 6 ° С - при важких роботах, при цьому абсолютні значення температури повітря, виміряної на різній висоті і в різних ділянках приміщень протягом зміни, не повинні виходити за межі допустимих величин.

Вимоги до температури внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій і пристроїв не поширюються на температуру поверхонь систем охолодження та опалення приміщень і робочих місць.

- При забезпеченні оптимальних і допустимих показників мікроклімату в холодний період року слід застосовувати засоби захисту робочих місць від радіаційного охолодження від зашкленних поверхонь віконних прорізів, в теплий період року - від попадання прямих сонячних променів.

- Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляції на постійних і непостійних робочих місцях не повинна перевищувати 35 Вт / м² при опроміненні 50% поверхні тіла і більше, 70 Вт / м² - при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50 % і 100 Вт / м² - при опроміненні не більше 25% поверхні тіла.

- Інтенсивність теплового опромінення працюючих від відкритих джерел (нагрітий метал, скло, "відкрите" полум'я та ін.) Не повинна перевищувати 140 Вт / м², при цьому опроміненню не повинно піддаватися

більше 25% поверхні тіла і обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, в тому числі засобів захисту обличчя та очей.

При наявності теплового опромінення температура повітря на постійних робочих місцях не повинна перевищувати верхні межі оптимальних значень для теплого періоду року, на непостійних робочих місцях - верхні межі допустимих значень для постійних робочих місць.

- У виробничих приміщеннях, розташованих в четвертому будівельно-кліматичному районі, що визначається відповідно до будівельних норм і правил по кліматології і геофізики, затвердженими Держбудом СРСР, при дотриманні вимог щодо попередження перегрівання працюючих, верхню межу допустимої температури повітря в теплий період року, допускається підвищувати на постійних і непостійних робочих місцях відповідно:

не вище 31 і 32 ° С - при легких роботах;

не вище 30 і 31 ° С - при роботах середньої важкості;

не вище 29 і 30 ° С - при важких роботах.

Швидкість руху повітря при цьому повинна збільшуватися на 0,1 м / с, а відносна вологість повітря знижуватиметься на 5% на кожен градус підвищення температури, починаючи від верхніх меж допустимих температур повітря, встановлених в табл. 1 для окремих категорій робіт по тяжкості в теплий період року.

- У виробничих приміщеннях, розташованих в будівельно-кліматичному підрайоні IV Б, який визначається відповідно до будівельних норм і правил по кліматології і геофізики, затвердженими Держбудом СРСР, допускається в теплий період року на постійних і непостійних робочих місцях підвищувати відносну вологість повітря, але не більше ніж на 10% по відношенню до допустимих величин, наведених для різних параметрів температури повітря.

- У виробничих приміщеннях, в яких допустимі нормативні величини показників мікроклімату неможливо встановити через технологічних вимог до виробничого процесу або економічно обґрунтованої недоцільності, має

бути забезпечений захист працюючих від можливого перегрівання та охолодження: системи місцевого кондиціонування повітря, повітряне душирование, приміщення для відпочинку і обігрівання, спецодяг та інші засоби індивідуального захисту, регламентація часу роботи та відпочинку і т. п. З метою профілактики і теплових травм температура зовнішніх поверхонь технологічного устаткування або огорожувальних його пристроїв не повинна перевищувати 45 ° С.

7.2 Основні положення, щодо контролю за вентиляцією, опалення та кондиціонування повітря

- При виробництві, зберіганні продукції, в робочих приміщеннях слід передбачати вентиляцію, опалення та кондиціонування повітря з СНиП 2.04.05-91 «ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ І КОНДИЦІОНУВАННЯ»

- У проектах опалення, вентиляції та кондиціонування слід передбачати технічні рішення, що забезпечують:

а) нормовані метеорологічні умови і чистоту повітря в обслуговуваній зоні приміщень житлових, громадських, а також адміністративно-побутових будівель підприємств;

б) нормовані метеорологічні умови і чистоту повітря в робочій зоні виробничих, лабораторних і складських приміщень в будівлях будь-якого призначення;

в) нормовані рівні шуму і вібрацій від роботи обладнання і систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, крім систем аварійної вентиляції і систем протидимного захисту, для яких при роботі або випробуванні згідно ГОСТ 12.1.003-83 * в приміщеннях, де встановлено це обладнання, допустимо шум не більше 110 дБА, а при імпульсному шумі не більше 125 дБА;

г) ремонтпридатність систем опалення, вентиляції та кондиціонування;

д) вибухопожежобезпеку систем опалення, вентиляції та кондиціонування.

У проектах слід передбачати чисельність персоналу по експлуатації систем опалення, вентиляції та кондиціонування.

- У проектах реконструкції та технічного переозброєння діючих підприємств, житлових, громадських і адміністративно-побутових будівель, слід використовувати при техніко-економічному обґрунтуванні існуючі системи опалення, вентиляції та кондиціонування, якщо вони відповідають вимогам цих норм.

- Опалювальне-вентиляційне обладнання, трубопроводи та повітроводи, що розміщуються в приміщеннях з агресивним середовищем, а також призначені для видалення повітря з агресивним середовищем, слід передбачати з антикорозійних матеріалів або з захисними покриттями від корозії.

- Гарячі поверхні опалювального і вентиляційного обладнання, трубопроводів і повітроводів, що розміщуються в приміщеннях, в яких вони створюють небезпеку займання газів, парів, аерозолів або пилу, слід ізолювати, передбачаючи температуру на поверхні теплоізоляційної конструкції не менш, ніж на 20% нижча за температуру їх самозаймання .

При відсутності технічної можливості знизити температуру поверхні ізоляції до зазначеного рівня опалювальне-вентиляційне обладнання, трубопроводи та повітроводи не слід розміщувати в зазначених приміщеннях.

- Теплоізоляційні конструкції слід проектувати згідно зі СНиП 2.04.14-88 «Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів».

- Опалювальне та вентиляційне нестандартизоване обладнання, повітроводи і теплоізоляційні конструкції слід передбачати з матеріалів, дозволених до застосування в будівництві.

Санітарно - гігієнічний контроль систем вентиляції виробничих приміщень проводиться силами венслужб або санітарними лабораторіями

підприємства згідно МУ 4425 - 87 «Санітарно - гігієнічний контроль систем вентиляції виробничих приміщень», в такі строки:

- в приміщеннях, де можливе виділення шкідливих речовин I - II класу шкідливості, 1 раз на місяць;

- системи місцевої витяжної і місцевої припливної вентиляції - 1 раз на рік;

- систем механічної і природної вентиляції - 1 раз в три роки.

- Виробничі приміщення, в яких проводяться роботи, повинні бути забезпечені проточною водою, питної якості, згідно ГОСТ 2874 -82 «Вода питна. Гігієнічні вимоги і контроль за якістю, і каналізацією».

- Викинь забрудненого повітря в атмосферу повинні відповідати нормам ГОСТ 17.2.3.0278 «Охорона природи. Атмосфера. Правила встановлення допустимих викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами» і не повинні перевищувати сумарних річних викидів.

- Технологічні стоки виробництва (кількість і хімічний склад) повинні відповідати нормам Сан Пин 4630 -88 "Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення":

- Оцінка шуму, і граничні рівні шуму і його вимірювання по ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Загальні вимоги безпеки»:

- 1.1. У стандартах і технічних умовах на машини повинні бути встановлені граничні значення шумових характеристик цих машин.

- 1.2. Шумову характеристику слід вибирати з числа передбачених ГОСТ 23941-79 «Шум. Методи визначення шумових характеристик. Загальні вимоги».

- Значення гранично допустимих шумових характеристик машин слід встановлювати виходячи з вимог забезпечення на робочих місцях допустимих рівнів шуму відповідно до основним призначенням машини і вимог даного стандарту. Методи встановлення гранично допустимих шумових характеристик стаціонарних машин по ГОСТ 12.1.023 - 80

«Система стандартів безпеки праці. Шум. Методи встановлення шумових характеристик стаціонарних машин ».

- Якщо значення шумових характеристик машин, перевищують значення, встановлені відповідно до вимог п. 1.3 цього стандарту, то в стандартах і (або) технічних умовах на машини допускається встановлювати узгоджені в установленому порядку технічно досяжні значення шумових характеристик цих машин.

Технічно досяжні значення шумових характеристик машин повинні бути обґрунтовані:

- результатами вимірювання шумових характеристик представительного числа машин одним з методів по ГОСТ 23941 - 79 «Шум. Методи визначення шумових характеристик. Загальні вимоги»;

- даними про шумових характеристиках кращих моделей аналогічних машин, що випускаються за кордоном;

- аналізом методів і засобів зниження шуму, що використовуються в машині;

- наявністю розроблених засобів захисту від шуму до рівнів, установлених, і включенням їх в нормативно-технічну документацію на машину;

- планом заходів щодо зниження шуму до рівня, відповідного вимогам п. 1.3 цього стандарту.

- Шумові характеристики машин або граничні значення шумових характеристик повинні бути вказані в паспорті на них, керівництві (інструкції) з експлуатації або іншої супровідної документації.

7.3 Захист від шуму

- При розробці технологічних процесів, проектуванні, виготовленні та експлуатації машин, виробничих будівель і споруд, а також при організації робочого місця мають бути вжиті всі необхідні заходи щодо зниження

шуму, що впливає на людину на робочих місцях, до значень, що не перевищують допустимі;

- розробкою шумобезопасной техніки;
- застосуванням засобів і методів колективного захисту по ГОСТ 12.1.029 - 80 «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація»;
- застосуванням засобів індивідуального захисту по ГОСТ 12.4.051-78 «Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».

Будівельно-акустичні заходи, що передбачаються при проектуванні підприємств, будівель і споруд різного призначення, - по нормативно-технічних документів;

- Зони з рівнем звуку або еквівалентним рівнем звуку вище 85 дБ А повинні бути позначені знаками безпеки згідно з ГОСТ 12.4.026 - 76 «Кольори сигнальні і знаки безпеки». Працюючих в цих зонах адміністрація зобов'язана забезпечувати засобами індивідуального захисту згідно з ГОСТ 12.4.051-78 «Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні вимоги та методи випробувань ».

- На підприємствах, в організаціях та установах повинен бути забезпечений контроль рівнів шуму на робочих місцях не рідше одного разу на рік.

- Вимоги до рівня вібрації на робочих місцях по ГОСТ 12.1.012 - 90 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги»:

7.4 Вимоги до забезпечення віробезпеки

- Основним способом забезпечення віробезпечного має бути створення і застосування віробезпечних машин.

Створення віробезпечних машин повинно забезпечуватися застосуванням методів, що знижують вібрацію в джерелі збудження, які наведені в ГОСТ 26568 - 85 «Методи і засоби захисту. Класифікація».

- При проектуванні і будівництві будівель і промислових об'єктів, інших елементів виробничого середовища, а також розробці технологічних процесів повинні бути використані методи, що знижують вібрацію на шляхах її поширення від джерела збудження, по ГОСТ 26568 - 85 «Методи і засоби захисту. Класифікація».

При проектуванні технологічних процесів і виробничих будівель і споруд повинні бути:

- обрані машини з найменшою вібрацією;
- зафіксовані робочі місця (зони), на яких працюють можуть піддаватися впливу вібрації;
- визначені вимоги віробезпечного по санітарним нормам з урахуванням тимчасових обмежень впливу вібрації, закладених в технологічний процес і зафіксованих у проектній документації;
- розроблені схеми розміщення машин з урахуванням створення мінімальних рівнів вібрації на робочих місцях;
- проведена і вказана в проектно-технологічній документації оцінка очікуваної вібраційного навантаження на оператора;
- обрані будівельні рішення підстав і перекриттів, що забезпечують виконання вимог вібраційної безпеки праці;
- обрані і розраховані необхідні кошти віброзахисту для машин або робочих місць, що забезпечують разом з будівельними рішеннями виконання вимог віробезпечного праці.

При проектуванні будівельних конструкцій, систем установки машин, засобів віброзахисту від загальної вібрації робочих місць допускається використовувати норми на амплітуди віброперемещенія.

Віробезпечного праці на підприємствах повинна забезпечуватися:

- дотриманням правил і умов експлуатації машин і введення технологічних процесів, використанням машин тільки відповідно до їх призначення, передбаченим НД;

- підтриманням технічного стану машин, параметрів технологічних процесів і елементів виробничого середовища на рівні, передбаченому НД, своєчасним проведенням планового і попереджувального ремонту машин;

- вдосконаленням режимів роботи машин і елементів виробничого середовища, винятком контакту працюючих з вібруючими поверхнями за межами робочого місця або зони введенням огорожень, попереджувальних знаків, використанням попереджувальних написів, забарвлення, сигналізації, блокування і т.п. ;

- поліпшенням умов праці (в т.ч. зниженням або виключенням дії супутніх несприятливих чинників);

- застосуванням засобів індивідуального захисту від вібрації;

- введенням і дотриманням режимів праці та відпочинку, в найбільшій мірі знижують несприятливу дію вібрації на людину;

- санітарно-профілактичними і оздоровчими заходами, передбаченими рекомендаціями МОЗ СРСР і його органів;

- контролем вібраційних характеристик машин і вібраційного навантаження на оператора, дотриманням вимог віробезпечного і виконанням передбачених для умов експлуатації заходів.

- При недостатності цих заходів повинні використовуватися методи і засоби боротьби з вібрацією в джерелі і на шляхах її поширення по ГОСТ 26568 - 85 «Методи і засоби захисту. класифікація ».

- Методи визначення освітленості робочих місць по ГОСТ 24940-96 «Методи вимірювання освітленості»:

- До роботи з пневмокласифікатором допускаються чоловіки не молодше 18 років, які пройшли перевірку під час прийняття на роботу і періодично перевірку, з розрахунком комплексу діючих шкідливих факторів виробництва.

- Процес пневмокласифікації має ряд небезпек. Які можуть викликати травматизм:

- обладнання працює під тиском;

- високий рівень запиленості повітря робочих місць, у випадках розгерметизації обладнання пневмопроводів і бункерів;

- присутність обертових частин;

- удар електричним струмом.

З метою забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці, запобігання нещасним випадкам, необхідно виконувати наступні умови техніки безпеки:

- усі працівники повинні бути навчені безпечним методам роботи відповідно до «Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці»;

- необхідно дотримуватися вимог інструкцій, правил, норм;

- при виробництві, транспортуванні, зберіганні повинні дотримуватися вимог до виробничого обладнання та технологічного процесу відповідно до ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ «Оборудование производственное. Загальні вимоги безпеки », ГОСТ 12.3.002-75« Система стандартів безпеки праці. Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки »;

- всі роботи в цеху, пов'язані з природним газом, проводити відповідно до "Правил безпеки в газовому господарстві" і "інструкцією з техніки безпеки та пожежної безпеки при обслуговуванні ГРП (ГРУ), і установок, що працюють на природному газі";

- вогневі роботи проводити відповідно до умов «Інструкції з організації безпечного проведення вогневих робіт»;

- ремонтні роботи проводити відповідно до інструкції ОК-4 «Інструкція з охорони праці при проведенні ремонтних робіт»;

- вимоги до електропостачання, пристрої, монтажу і експлуатації мереж, проводок, електроустановок, повинні бути згідно з чинними «Правилами улаштування електроустановок», «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» і «Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів», «Правилами захисту від

статичної електрики в виробництвах хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості »;

- обладнання та комунікації повинні підлягати періодичному огляду, ППР, поточного і капітального ремонтів відповідно до зазначених норм пробігу і затвердженого графіка ремонтів;- необхідно вести технологический процесс в соответствии с нормами технологического режима;

- не допускати експлуатацію ненастроєного обладнання, комунікацій та запірної арматури;

- забороняється пуск в експлуатацію виробничого обладнання без огорожі, звукової та світлової сигналізації, контрольно-вимірювальних приладів, блокувань, що забезпечують безпечне обслуговування; електродвигуни та пускова апаратура повинні бути заземлені;

- контрольно-вимірювальні прилади, запобіжні пристрої повинні бути поладжені і у відповідні строки перевірені службою КВПіА;

- все фланцеві з'єднання трубопроводів, по яких транспортуються агресивні рідини, повинні мати захисні кожухи;

- необхідно забезпечувати безперебійну роботу припливно-витяжної вентиляції;

- необхідно дотримуватись вимог до зберігання і споживання паливних легкозаймистих матеріалів;

- забороняється зберігання масляного мотлоху ПММ поблизу джерел горіння. Проїзд та прохід до засобів пожежогасіння та пожежних гідрантів повинні бути вільними;

- при виникненні пожежі вживаються заходи щодо ліквідації її силами цехової дружини, викликається пожежна команда об'єднання або міська пожежна команда;

- обслуговуючий персонал повинен мати спецодяг і взуття, повинен бути забезпечений іншими індивідуальними засобами захисту;

- кожен працівник повинен вміти надавати допомогу потерпілому залежно від характеру нещасних випадків:

а) при попаданні кислоти або водного аміаку на тіло або в око, уражене місце необхідно швидко промити великою струменем питної води. При попаданні на шкіру водного аміаку, після промивання водою, необхідно обробити ушкоджене місце 3-5% оцтом або розчином лимонної кислоти, негайно звернутися до лікаря;

б) при термічних опіках, незалежно від ступеня опіку, на пошкоджене місце потрібно накласти стерильну пов'язку, не допускаючи ушкоджень обпаленої тканини і негайно звернутися до лікарні;

в) при закритих переломах кісток кінцівок необхідно накласти шину або інше підручний засіб (дошку, планку) до пошкодженої кінцівки і викликати швидко допомогу;

г) якщо робочого уражений електричним струмом, йому необхідно надати допомогу відповідно до "Інструкції по наданню першої допомоги при пошкодженні електрострумом";

д) при отруєнні, задушенні потерпілого необхідно вивести із загазованого атмосфери на свіже повітря, потім направити в медпункт, а при необхідності викликати лікаря. У разі втрати свідомості з зупинкою дихання потерпілому потрібно негайно, не чекаючи приходу лікаря, робити штучне дихання.

7.5 Розрахунок заземлення апарата [30 ст. 28]

Вид заземлювача - стрижень.

Довжина заземлювача – 200 см.

Діаметр заземлювача – 1,5 см .

Ширина сполучної лінії – 3 см.

Ґрунт - ґрунт.

Кліматична зона - 2.

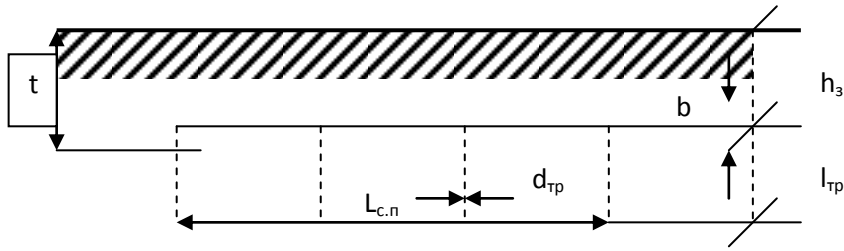


Рисунок 7.1 – Схема заземлення

1. Відповідно до вимог ПУЕ визначається допустимий опір розтікання струму в заземленні. Для мереж з напругою до 1000 В $R_з = 4$ Ом.

2. Питомий опір ґрунту $\rho_{\text{табл}} = 3000$ Ом · см [31]

3. Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів $K_{\text{п.т.}} = 1,7$ і для сполучної лінії $K_{\text{п.с.}} = 4,0$, які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року і залежать від опадів.

4. Визначення питомого розрахункового опору ґрунту для вертикальних електродів:

$$\rho_{\text{розр.т}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{п.т.}}, \text{ Ом} \cdot \text{см} \quad (7.1)$$

$$\rho_{\text{розр.т}} = 3000 \cdot 1,7 = 5100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

5. Визначення питомої розрахункового опору ґрунту для горизонтальних заземлювачів:

$$\rho_{\text{розр.п}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{п.с.}}, \text{ Ом} \cdot \text{см} \quad (7.2)$$

$$\rho_{\text{розр.п}} = 3000 \cdot 4,0 = 12000 \text{ Ом} \cdot \text{см.}$$

6. Визначення відстані від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_з + \frac{l_Т}{2}, \text{ см} \quad (7.3)$$

де $h_з = 60$ см – глибина заглиблення стержню, см;

$l_Т$ – довжина вертикального заземлювача, см.

$$t = 60 + \frac{200}{2} = 160 \text{ см.}$$

7. Визначення опору розтікання струму для одиничного заземлювача, який розташований нижче поверхні землі:

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{розр.Т}}}{l_T} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l_T}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot t + l_T}{4 \cdot t - l_T} \right); \quad (7.4)$$

$$R_T = 0,366 \cdot \frac{5100}{200} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 200}{1,5} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 160 + 200}{4 \cdot 160 - 200} \right) = 16 \text{ Ом.}$$

8. Визначення необхідної кількості вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

$$n_T \cdot \eta_{E.T} = \frac{R_T}{R_3} \quad (7.5)$$

$$n_T \cdot \eta_{E.T} = \frac{16}{4} = 4 \text{ шт.}$$

9. Визначення відстані між вертикальними заземлювачами:

$$L_T = l_T \cdot c, \text{ см} \quad (7.6)$$

де $c = 1$

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

10. Коефіцієнт екранування труб при числі труб n_T і $C = \frac{L_T}{l_T}$ дорівнює 0,74.

11. Визначення необхідної кількості вертикальних заземлювачів виходячи з коефіцієнта екранування:

$$n_{T.E} = \frac{R_T}{R_3 \cdot \eta_{E.T}} \quad (7.7)$$

$$n_{T.E} = \frac{16}{4 \cdot 0,74} = 5,4 \approx 6 \text{ шт.}$$

12. Визначення розрахункового опору розтікання струму при взятому кількості вертикальних заземлювачів ПЭ.Т:

$$R_{\text{розр.Т}} = \frac{R_T}{n_{TE} \cdot \eta_{E.T}}; \quad (7.8)$$

$$R_{\text{розр.Т}} = \frac{16}{6 \cdot 0,74} = 3,6 \text{ Ом.}$$

13. Визначення довжини сполучної лінії:

$$L_{3.C} = 1,05 \cdot L_T \cdot (n_{TE} - 1); \quad (7.9)$$

$$L_{3.C} = 1,05 \cdot 200 \cdot (6 - 1) = 1050 \text{ см.}$$

14. Визначення опору розтікання струму в сполучній лінії:

$$R_{3.C} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{розр.л}}}{L_{3.C}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{3.C}^2}{h_3 \cdot b_C}, \quad (7.1)$$

де: h_3 - глибина занурення вертикальних заземлювачів;

b_C - ширина сполучної лінії.

$$R_{3.C} = 0,366 \cdot \frac{12000}{1050} \cdot \lg \frac{2 \cdot 1050^2}{60 \cdot 3} = 17,1 \text{ Ом.}$$

15. Коефіцієнт екранування $\eta_{E.3.C}$ для сполучної лінії дорівнює 0,74.

16. Визначення розрахункового опору розтікання електричного струму в сполучній лінії з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{\text{розр.С}} = \frac{R_{3.C}}{n_c \cdot \eta_{E.3.C}}; \quad (7.1)$$

$n_c = 1$ –кількість ліній.

$$R_{\text{розр.С}} = \frac{17,1}{1 \cdot 0,74} = 23,1 \text{ Ом.}$$

17. Визначення загального розрахункового теоретичного опору розтікання струму від вертикальних заземлювачів та з'єднувальних ліній:

$$R_{\text{заг.розр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{розр.Г}}} + \frac{1}{R_{\text{розр.С}}}}; \quad (7.1) \quad 2)$$

$$R_{\text{заг.розр}} = \frac{1}{\frac{1}{3,6} + \frac{1}{23,1}} = 3,11 \text{ Ом.}$$

Порівнюючи R_3 с $R_{\text{заг.розр}}$ робимо висновок, що використана система заземлення в даному випадку ефективна, тому що $R_3 > R_{\text{заг.розр}}$ ($4 > 3,11$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Барский М.Д. Фракционирование порошков. М: Недра, 1980. - 327 с.
2. Коузов П.А., Скрябина Л.Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л.: Химия, 1983. - 143 с.
3. Донат Е.В., Голобурдин А.И. Аппараты со взвешенным слоем для интенсификации технологических процессов. М.: Химия, 1993. - 144 с.
4. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдоожижения. М.: Химия, 1967. - 664 с.
5. Kaiser F. Der Zickzack - Sieber - eine Windsichter nach neuere Prinzip // Chem. Ing. Tech., 1963, Bd. 35, № 4, S. 273-282.
6. Игнатъев И.К. А.с. № 507311. Бюл. № 11, 1976.
7. Барский М. Д., Ревнивцев В.И., Соколкин Ю.В. Гравитационная классификация зернистых материалов. М.: Недра, 1974. - 232 с.
8. Донат Е.В. Воздушный сепаратор для одновременного разделения полидисперсных материалов на несколько фракций // Химическая промышленность. - 1957. - № 4. - С. 43-45.
9. Донат Е.В., Вернидуб В.Д., Кирсанов В. А. и др. Аппарат с наклонными перфорированными полками для обеспыливания подсыпочных материалов // Цветные металлы. 1977. - № 4. - С.44-46.
10. Донат Е.В., Вирченко В.М., Юхименко Н.П. Аппарат для охлаждения и обеспыливания гранулированных и зернистых материалов // Химическая промышленность. - 1984. - № 3. - С. 180-181.
11. Гаврилов А.Г., Донат Е.В., Вирченко В.М. А.с. № 927348. Бюл. № 18, 1982.
12. Кравчик В.Е. Исследование механизма распределения двухфазного потока в условиях каскадной воздушной классификации. Дис... канд. техн. наук. Свердловск: УГПИ, 1982. - 186 с.
13. Шрайбер А.А., Милютин В.Н., Яценко В.П. Гидромеханика двухкомпонентных потоков с твердым полидисперсным веществом. К.: Наукова думка, 1980. - 252 с.

- 14.А.С. 1651997 СССР. Пневматический классификатор/ М.Д. Барский и др. - 4с.; Оpubл.1982, Бюл.№20.
- 15.А.С. 1438860 СССР. Пневматический классификатор/ В.В. Воробь-ев и др. - 4с.; Оpubл.1983, Бюл.№43.
- 16.А.С. 1572616 СССР. Пневматический классификатор/ М.Д. Барский и др. – 2 с.; Оpubл.1990, Бюл.№23.
- 17.А.С. 1459736 СССР. Пневматический классификатор/ Ф.П. Спива-ков и др. – 4 с.; Оpubл.1989, Бюл.№7.
- 18.А.С. 1447429 СССР. Пневмокласификатор/ В.Е. Кравчик и др. – 4 с.; Оpubл.1988, Бюл.№48.
- 19.А.С. 1510958 СССР. Пневмокласификатор/ В.А. Кирсанов и др. – 4 с.; Оpubл.1989, Бюл.№36.
- 20.А.С. 1220822 СССР. Пневматический классификатор/ А.Т. Тен-тимишев и др. – 2 с.; Оpubл.1986, Бюл.№12.
- 21.А.С. 1510958 СССР. Батарейный пневмокласификатор/ В.А. Кир-санов и др. – 4 с.; Оpubл.1987, Бюл.№15.
- 22.. А.С. 522860 СССР. Пневматический классификатор / Н.И. Гель-перин и др. – 2 с.; Оpubл.1976, Бюл.№28
- 23.А.С. 1715442А1 СССР. Пневматический классификатор / Е.Р.Мошев и др. – 3 с.; Оpubл.1992, Бюл.№8
- 24.А.С. 103056 СССР. Гравитационный воздушный сепаратор / Е.В.Донат и др. – 3 с.; Оpubл.1955
- 25.А.С. 604551 СССР. Пневматический классификатор / Г.С.Пономарёв и др. – 3 с.; Оpubл.1978, Бюл.№16
- 26.А.С. 927348 СССР. Классификатор / А.Г.Гаврилов, Е.В, Донат и В.М. Вирченко – 3 с.; Оpubл.1982, Бюл.№18
- 27.Юхименко Н.П., Н.А., Вакал С.В., Кононенко Н.П., Филонов А.П. Ап-параты взвешенного слоя. - Сумы: Собор, 2003. - 304 с.
- 28.Протодьяконов И.О., Богданов С.Р. Статистическая теория явлений переноса в процессах химической технологии. Л.: Химия, 1983. - 400 с.

- 29.Тодес О.М., Цитович О.Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем. Л.: Химия, 1981. - 296 с.
- 30.Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з курсу "Охорона праці в галузі" для студентів спеціальностей 8.070801 „Екологія та охорона навколишнього середовища ” та 8.090220 „Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів ” денної та заочної форм навчання / Укладач О.П. Будьоний, відповідальний за випуск Л.Д. Плящук - Суми: Вид-во СумДУ, 2006 - 35с.
- 31.Справочник. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование. С. В. Белов, А. Ф. Козьяков, О. Ф. Партолин и др. Под ред. С. В. Белова. М., Машиностроение, 1989. 368 с.
- 32.Varukha D. A. Simulation of separation and air classification processes of aerodisperse systems in the shelving device / D. A. Varukha, V. A. Smirnov, M. Edl, M. M. Demianenko, M. P. Yukhymenko, I. V. Pavlenko, O. O. Liaposhchenko // Journal of Engineering Sciences. – Sumy : Sumy State University, 2018. – Volume 5, Issue 1. – P. F5-F9.
- Мухлєнова А.П., Сажина Б.С., Фролова В.Ф. Расчёты аппаратов кипящего слоя: Справочник. – Л.: Химия, 1986. – 352с.
- 33.Классен П.В., Гришаев И.Г. Основные процессы технологии минеральных удобрений. – М.: Химия, 1990. – 304с.
- 34.Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Лацинский А.А., Толчинский А.Р., Л., «Машиностроение», 1970 г., 752 стр. Табл. 476. Илл 418. Библио 218 назв.
- 35.Лацинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд – ние, 1981. – 382 с., ил.
- 36.Руководство по эксплуатации РЭЛС.421262.007 РЭ.
- 37.Преобразователи температуры, аналоговые с унифицированным выходным сигналом ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-274, ТСПУ Метран-276. Руководство по эксплуатации.