

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Операційне відділення цеху виробництва сульфату амонію. Розробити та модернізувати сушарку-гранулятор киплячого шару

Виконав:

студент групи ХМ.м-21/1

Кліндухов Сергій Володимирович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Скиданенко Максим Сергійович

підпис, дата

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	6
1.1 Механізм утворення та теоретичні основи кінетики росту гранул у киплячому шарі	6
1.2 Обладнання для гранулювання мінеральних добрив	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	21
2.2 Теоретичні основи процесу	24
2.3 Опис конструкції проектного апарата	30
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата	31
2.5 Гідравлічні розрахунки	42
2.5 Вибір допоміжного обладнання	45
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	49
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	49
3.2 Розрахунки на міцність та стійкість	51
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	55
4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання	55
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання	57
5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	63
5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу	63
5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання	64

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	70
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	70
6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора	78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	85
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Станом на сьогодні, аграрний сектор України знаходиться у складному стані та стикається з необхідністю негайного вирішення ряду проблем. Однією з найактуальніших серед цих проблем є питання зменшення плодючості ґрунтів. Це питання стає особливо актуальним у зв'язку з потребами в стабільному і продуктивному сільському господарстві у світі у зв'язку із постійним зростанням чисельності населення на планеті та відповідно попиту на продукти харчування [1].

Важливим ресурсом для сільського господарства є мінеральні добрива, а серед них сульфат амонію, який виробляється на коксохімічних заводах. За обсягами використання, сульфат амонію набагато перевищує інші види азотних добрив, завдяки своєму вмісту азоту, що ставить його на одну з перших позицій, поступаючись лише сечовині та нітрат амонію [2].

У загальному балансі виробництва азотних добрив, сульфат амонію складає 27% від загального обсягу цих добрив. Це пояснюється його високою розчинністю, завдяки чому він легко поглинається вологою, що міститься в ґрунті. Цей процес сприяє ефективному засвоєнню азоту рослинами. Крім того, аміачна форма сульфату амонію дозволяє поступово і повільно вивільняти азот для рослин [3].

З результатів експериментальних досліджень виробництва мінеральних добрив видно, що методи гранулювання мають широке застосування. Ці методи включають екструзію, процес кочення в апаратах тарілчастого та барабанного типів, а також пресове гранулювання та інші. Оскільки сульфат амонію має свої особливості як сировина, науковці рекомендують проводити процес гранулювання в спеціальних апаратах СГПШ (сушарка-гранулятор псевдозрідженого шару), що включають в себе як процес сушки, так і гранулювання в одному апараті. Це сприяє досягненню високої продуктивності та економічної ефективності виробництва [4].

Під час тривалого внесення сульфата амонію в ґрунт, відбувається вивільнення сірчаної кислоти, яка може призвести до кислотного закислення ґрунту та пригнічення добривного впливу. Тому не рекомендується використовувати сульфат амонію в кислих ґрунтах. Крім того, його застосування не є вигідним на піщаних ґрунтах, де втрати азоту восени та взимку можуть бути надто високими [5]. Це підкреслює важливість розумного вибору добрив для конкретного типу ґрунту.

Світова тенденція виробництва гранульованих добрив росте, що підсилює потребу в розробці нових технологій, обладнання та методів для поліпшення якості та ефективності процесів виробництва гранул [6]. Це відкриває можливості для впровадження інновацій та покращення ефективності в сільському господарстві.

Принцип киплячого шару застосовується в різних апаратах з різною конструкцією, які функціонують при різних технологічних умовах. Утворення та ріст гранул визначаються кількома факторами, такими як температурні умови, гідравлічні параметри, особливості пристрою розпилення і багато інших. Основні залежності для визначення швидкості росту гранул базуються на теорії рівномірно-поверхневого укрупнення частинок [7]. Це підкреслює складність і множинні аспекти процесу грануляції.

Метою магістерської роботи є дослідження процесів отримання гранульованого сульфату амонію. Ця робота включає в себе застосування методів математичного моделювання для аналізу процесу утворення гранул. Розрахунки та узагальнення результатів здійснюються за допомогою комп'ютерних програм [8]. Це дозволяє отримати більше інформації та краще розуміння процесу грануляції, що може бути важливим для підвищення ефективності виробництва гранульованих добрив.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Механізм утворення та теоретичні основи кінетики росту гранул у киплячому шарі

Механізм утворення гранул безпосередньо впливає на продуктивність процесу гранулювання, і цей механізм залежить від апаратного обладнання виробничої лінії для виготовлення органічних гранульованих добрив, методів гранулювання та властивостей вихідної сировини у вигляді суспензії. Важливо відзначити, що в процесі гранулювання може мати місце одночасне формування нових частинок разом із збільшенням розмірів наявних, або процеси, в яких розмір частинок може змінюватися в часі без утворення нових зародків гранулювання [9–12]. Це розрізняючі особливості процесу гранулювання підкреслюють складність цього процесу та його множинний характер.

Гранулювання в апаратах з рідким киплячим шаром (РКСГ) передбачає імпульсне нанесення рідини (суспензії, пульпи або розчину), яка перебуває у стані «зрідження», на поверхню твердих частинок. Під час нагрівання ззовні, теплоагент кристалізує цю рідину, випаровуючи розчинник, і утворює твердий органічний шар навколо ядра. Оскільки процес гранулювання в апаратах РКСГ включає в себе як формування нових частинок (зародків), так і одночасний ріст наявних частинок, головною метою є досягнення максимального виходу товарної фракції, зазвичай гранул діаметром 2,5–4 мм. Тому важливим є можливість передбачення та розрахунку фракційного складу та шляхів підвищення виходу цільової фракції шляхом правильної настройки параметрів процесу [9–11]. Це стає ключовим аспектом для оптимізації виробництва гранульованих добрив та підвищення ефективності цього процесу.

Для точного визначення всіх параметрів процесу грануляції, перш за все, потрібно провести дослідження кінетики, гідродинаміки і процесів теплообміну, які відбуваються під час грануляції органічних суспензій. Відповідно до літературних

джерел [13, 14] вже відомі результати численних досліджень, що спрямовані на вивчення закономірностей зміни гранульованого продукту в залежності від параметрів процесу. Ці дослідження мають багато спільних аспектів, але можна виділити три основні методи.

Один із шляхів визначення гранульованого складу продукту полягає у спільному розв'язанні рівнянь, які визначають швидкість росту окремих частинок та розподіл гранул за часом їх перебування в апараті [14]. За умови ідеального перемішування гранул у псевдозрідженому шарі, для полідисперсного рециркуляційного гранулометричного складу можна розрахувати, використовуючи рівняння експоненціального закону росту гранул:

$$F(d_i) = \sum_{k=1}^{k=n} F(d_i, d_{oi}) p_k \quad (1.1)$$

$$F(d_i, d_o) = 1 - \exp(-3(G_M + G_P)/(k \cdot G_M) \ln(d_i/d_o)) \quad (1.2)$$

де: d_o , d_i , d_{oi} – початковий, поточний діаметр частинки k -ї фракції;

G_P – витрата рециркуляції;

G_M – витрата сухого матеріалу що вводиться в шар з рідиною;

p_k – вміст k -ї фракції в рециркуляції;

k – коефіцієнт гранулоутворення.

Коефіцієнт гранулоутворення, який залежить від режиму, вказує на те, яка частина сухої речовини, що вводиться разом із рідиною, розподіляється по поверхні твердих частинок. Якщо $k < 1$ утворюються нові гранули, при $k > 1$ відбувається агломерація раніше утворених частинок.

Інший підхід до визначення гранулометричного складу полідисперсної системи, який описується у літературному джерелі [9], базується на рівнянні суцільності для зміни числа частинок в системі. Так, в основі даного рівняння для розрахунку гранулометричного складу лежить рівняння швидкості росту частинок.

Існують різні точки зору на закон росту частинок. За думкою деяких авторів [15, 16], швидкість зростання частинок є пропорційною поверхні шару і не залежить від розміру частинок у цьому шарі. Відповідно, закон зростання частинок у шарі може бути описаний наступними рівняннями:

$$d = d_o + k\tau \quad (1.3)$$

або
$$\lambda = dd/d_\tau = G_M/(F\rho_m) = const \quad (1.4)$$

або
$$d/d = \exp(G_M/3G_{сл})\tau \quad (1.5)$$

Результати лабораторних експериментів підтверджують правильність даного рівняння лише для вузького діапазону зміни розмірів гранул до 3 мм. Проте в більш широкому діапазоні розмірів лабораторні дослідження, проведені на експериментальній установці періодичної дії, показали, що зміна розміру гранул відбувається за експоненціальним законом [12].

Точний опис кінетики росту гранул є досить складним завданням. Розмір і форма початкових гранул, а також тільки що сформованих, впливають на їхній подальший ріст. Моделі можуть враховувати вихідні параметри гранул для прогнозування їхнього росту. Параметри середовища, такі як температура і тиск, можуть впливати на розчинення та дифузію розчинених речовин, що в свою чергу впливає на ріст гранул.

Кількість розчинених речовин у розчині може визначати, наскільки швидко вони можуть відкладатися на поверхні гранул і сприяти їхньому росту. Ріст гранул може залежати від кількості активних місць для агломерації на поверхні гранул. Це може бути пов'язано з характером поверхні гранул та їхньою хімічною активністю.

У багатьох випадках для розрахунків використовують емпіричні або напівемпіричні залежності, які побудовані на основі експериментальних даних. Моделі

можуть бути адаптовані до конкретних умов процесу та характеристик матеріалу для досягнення кращої відповідності до експериментальних результатів.

Модель Лі або лінійний закон швидкості росту гранул є однією з простих моделей для опису кінетики росту гранул. Вона базується на допущенні пропорційності масової швидкості росту поверхні частинок до концентрації речовини в розчині. Основні ідеї цієї моделі можна виразити математично:

$$\frac{dm}{d\tau} = \lambda \cdot l^2, \quad (1.6)$$

де l – лінійний розмір гранул, m ;

τ – час проведення процесу, s .

Вираз нульового порядку, тобто незалежності швидкості від розміру частинок, випливає зі співвідношення (1.6) автоматично.

Лі спробував врахувати неоднорідність шару та ймовірність попадання розчину на гранули в своєму підході. Замість простого лінійного закону, він ввів більш складені вирази для масової швидкості росту гранул. Лі врахував, що концентрація речовини може змінюватися від точки до точки на поверхні гранули. Отже, він ввів неперервний розподіл концентрації, що дозволило врахувати неоднорідність.

Ймовірність попадання розчину на гранули також була врахована через введення принципово невизначених коефіцієнтів, які ускладнюють виведення та аналіз моделі. Масова швидкість росту гранул за цим підходом може бути виражена у вигляді інтегралу, який враховує ймовірність попадання розчину на різних частинах поверхні гранули. Це може виглядати як інтеграл по поверхні гранули з деякими ваговими функціями.

Цей більш складений підхід дозволяє краще врахувати реальні умови росту гранул та неоднорідності процесу, але водночас призводить до складніших математичних виразів та потребує визначення багатьох невизначених коефіцієнтів:

$$\lambda = \frac{K - C}{3 \cdot b \cdot \rho_T}, \quad (1.7)$$

$$K = \frac{k \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot V_1 \cdot \rho_T \cdot (1 - \varepsilon)}{W} \cdot \left[1 - \frac{\rho_T \cdot (1 - \varepsilon)}{\rho_{НАС}} \right], \quad (1.8)$$

де K – константа;

C – коефіцієнт, що враховує стирання;

b – безрозмірний фактор форми;

ρ_T – щільність твердої фази, $кг/м^3$;

k_1 – коефіцієнт, що враховує розрідження шару в струменевій зоні;

k_2 – коефіцієнт, що враховує попадання частинок в струменеву (факельну) зону;

ε – пористість шару, $м^3/м^3$;

W – маса шару, $кг$;

V_1 – обсяг конуса струменя, $м^3$;

$\rho_{НАС}$ – насипна щільність, $кг/м^3$.

Гриммет спростував модель Лі та виклав свій підхід, враховуючи припущення про рівномірність попадання кожної частинки в зону зростання, стаціонарність системи і ідентичність механізму зростання поверхні кожної частки. Його робота дозволила розробити простіше та математично зручне вираження для опису кінетики росту гранул.

Гриммет ввів поняття густини зростання, яка визначає кількість частинок, що приєднуються до одиниці поверхні за одиницю часу. Він використовував припущення про те, що частинки розподілені рівномірно в просторі, і вивів вираз для густини зростання, який був залежний від концентрації речовини в розчині та інших параметрів.

Цей підхід Гриммета був більш простим і математично зручним, що полегшувало аналіз та розуміння процесу росту гранул:

$$\lambda = \frac{dx}{d\tau} = \frac{(G_M / \rho_T)}{\sum_1^n A_i \cdot N_i} = const, \quad (1.9)$$

де G_M – продуктивність по твердій фазі, $кг/с$;

ρ_T – щільність твердої фази, $кг/м^3$;

A_i, N_i – поверхня частинки i -тої фракції та число часток у ній відповідно (тоді

$\sum_1^n A_i \cdot N_i$ – повна поверхня часток у шарі, $м^2$).

Таким чином, запропоновані гіпотези стосовно швидкості зростання окремих гранул λ при зневодненні розчинів в киплячому шарі ґрунтуються на інтегральному характері залежності λ від повної поверхні частинок у шарі $F_{Ш}$:

$$G_M = 4 \cdot \pi \cdot \rho_T \cdot \int_0^{\infty} \lambda \cdot x^2 \cdot \rho(x) dx. \quad (1.10)$$

При цьому, якщо λ не залежить від x (закон нульового порядку), то з виразу (1.10) випливає:

$$\lambda = \frac{dx}{d\tau} = \frac{G_M}{4 \cdot \pi \cdot \rho_T \cdot \int_0^{\infty} x^2 \cdot \rho(x) dx} = \frac{G_M}{\rho_T \cdot F_{Ш}}. \quad (1.11)$$

Якщо врахувати різні тривалості перебування часток різного розміру в зоні розпилення, можна запропонувати більш загальне рівняння для швидкості зростання гранул. Такі моделі можуть включати різні розподіли часток за розміром та різні кінетичні параметри для різних розмірів часток.

Одним із можливих підходів є використання розширеної моделі кінетики для кожного розміру часток, враховуючи ймовірність попадання в зону зростання та ймовірність подальшого зростання для кожного розміру.

Загальне рівняння для швидкості зростання гранул може бути подане у вигляді інтегрального виразу:

$$\frac{dD}{d\tau} = \frac{2 \cdot G_M}{\rho_T \cdot F_{III}} \cdot (A + B \cdot D), \quad (1.12)$$

де A, B – довільні константи;

D – діаметр часток, m .

Методика Гриммета базується на припущенні про рівномірне розподіл частинок, і вона може бути обмеженою в тих випадках, коли розподіл частинок не є лінійним чи рівномірним. Реальні процеси часто можуть мати більш складний характер, що не завжди відповідає лінійній моделі.

Визначення повної поверхні частинок в шарі може бути складним завданням, особливо, якщо частинки мають складну форму або неправильність. Це може викликати труднощі в експериментальному визначенні або математичному моделюванні цієї величини.

Якщо припустити, що швидкість росту окремих гранул не залежить від їх розміру, то збільшення середнього діаметра часток для такого процесу підпорядковується залежності:

$$\frac{dD}{d\tau} = \frac{1}{3} \cdot \frac{G_M}{\rho_T \cdot G_{B.P.}} \cdot D, \quad (1.13)$$

де $G_{B.P.}$ – маса вихідної «подушки», kg .

Збільшення полімерної оболонки на поверхні кулястої частинки виражено диференціальним рівнянням вигляду:

$$dW_n = PCd\tau, \quad (1.14)$$

де dW_n – приріст маси покриття на поверхні частинок, kg ;

P – витрата розчину-плівкоутворювача, який подається у псевдозріджений шар частинок, m^3/c ;

C – концентрація полімеру в розчині, $кг/м^3$.

Якщо припустити, що всі частинки в шарі мають однаковий розмір і на їхню поверхню наноситься полімерна оболонка постійної товщини, то це може бути описано на основі кінетики зростання оболонки навколо кульовидних частинок.

Можна сформулювати диференціальне рівняння для зміни товщини оболонки в часі. Один з можливих підходів полягає в тому, щоб використовувати рівняння дифузії, яке описує процес переносу речовини в середовищі. Однак реальний вигляд цього рівняння залежить від конкретного механізму зростання оболонки та умов процесу.

Збільшення товщини оболонки призводить до збільшення діаметра частинки, що виражається диференціальним рівнянням:

$$dW_n = \pi d^2 N \rho_n d \frac{d}{2}, \quad (1.15)$$

де N – кількість частинок у шарі;

$\pi d^2 N$ – загальна площа частинок, $м^2$;

$d(d)$ – приріст діаметра частинки, $м$;

ρ_n – густина плівкоутворювача, $кг/м^3$.

Описаний підхід В.Ф. Волкова до аналізу контакту гранул з краплями розчину включає розрахунок випаровування плівки розчину, що повністю охоплює гранулу. Основні елементи його аналізу включають кондукцію тепла від гранули та конвекцію від псевдозріджуючого агента. Цей аналіз використовує спрощену задачу теплообміну для сфери з середовищем постійної температури.

Щоб детальніше розібратися у вибраному методі, можливо, важливо зазначити конкретні припущення або рівняння, які В.Ф. Волков використовував для моделювання теплообміну. Однак основна ідея полягає в тому, що тепло від гранули передається плівці розчину, яка потім випаровується. Цей процес може бути важ-

ливим фактором у кінетиці росту гранул, особливо при наявності псевдозріджуючого агента.

Отриманий результат має вигляд критеріальної залежності:

$$Nu_{E\Phi} = A \cdot \frac{2 \cdot \lambda_T}{\lambda_G} \cdot \frac{T_R - T_{R+\Delta}}{T_{III} - T_{R+\Delta}} \cdot Bi + B \cdot Nu_{Нест}, \quad (1.16)$$

де λ_T, λ_G – теплопровідність твердого матеріалу і газу відповідно;

$T_R, T_{R+\Delta}, T_{III}$ – температура поверхні гранули, плівки і шару відповідно;

$Nu_{E\Phi}, Nu_{Нест}$ – значення критерію Нуссельта: ефективне та розраховане за рівнянням Нестеренко;

Bi – критерій Біо;

A, B – емпіричні константи.

1.2 Обладнання для гранулювання мінеральних добрив

Гранулювання обкочуванням – це процес формування гранул, який базується на переміщенні порошку частинок по поверхні апарату, де вони перекочуються по стінках апарату та між собою. Цей процес включає в себе кілька етапів, які можуть бути визначені апаратурою та умовами процесу.

Основні етапи гранулювання обкочуванням:

1. Початково порошок розподіляється на поверхні апарату, і частинки можуть розташовуватися вільно або утворювати певну структуру.
2. Запускається обкочування частинок, коли вони починають рухатися по поверхні апарату, перекочуючись одна по одній.
3. У результаті обкочування частинки поступово обгортаються і накладаються одна на одну, що призводить до формування гранул.
4. Процес триває досягнення бажаного розміру гранул або інших параметрів, після чого гранульовальна маса виводиться з апарату.

Механізм і кінетика гранулоутворення залежать від кількох факторів, таких як:

- реологічні та адгезійні властивості матеріалу впливають на те, як частинки взаємодіють одна з одною під час обкочування;
- розмір та форма апарату, їхні характеристики (обертання, нахил і т. д.), можуть суттєво впливати на кінетику гранулювання;
- температура, вологість, швидкість обертання валків, час гранулювання і інші умови процесу також впливають на результат.

Ефективне гранулювання обкочуванням вимагає уважного контролю цих параметрів для досягнення бажаних характеристик гранул. Гранулювання обкочуванням здійснюється переважно в апаратах барабанного і тарільчатого типів в присутності рідкої фази, яка вноситься разом із твердими компонентами або спеціально вводиться у вигляді розчинів або плавів.

Барабанні гранулятори (рис. 1.1) є поширеними в промисловості і використовуються для виготовлення гранул з порошкоподібних матеріалів.

Основні характеристики барабанного гранулятора включають:

1. Проста конструкція, яка зазвичай включає барабан або барабани, що обертаються, і механізм подачі матеріалу.
2. Ступінь зволоження матеріалу грає важливу роль в процесі гранулювання. Недостатнє зволоження може призвести до поганої формування гранул, тоді як занадто велике зволоження може спричинити проблеми з ковзанням частинок і знизити ефективність грануляції.
3. Ефективність роботи барабанного гранулятора також залежить від інших факторів, таких як швидкість обертання барабана і метод подачі матеріалу.

Для досягнення оптимального результату важливо контролювати ступінь зволоження, а також інші параметри процесу. Вплив ступеня зволоження на ковзання частинок і продуктивність важливий для забезпечення ефективності гранулювання і отримання бажаного кінцевого продукту.

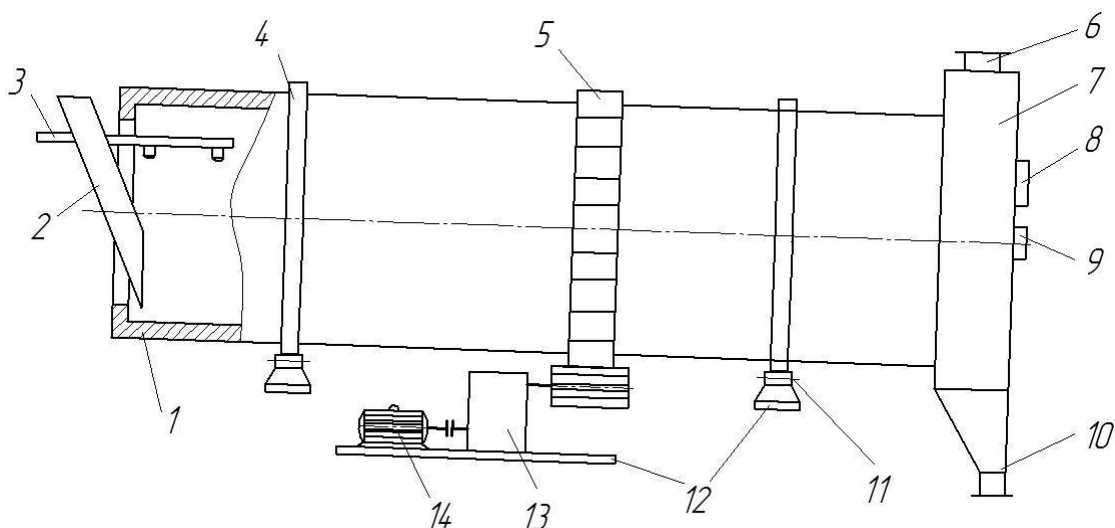


Рисунок 1.1 – Схема барабанного гранулятора: 1 – обичайка; 2 – патрубок для завантаження порошку; 3 – розподільник зв’язуючого; 4 – бандаж; 5 – вінцева шестерня; 6 – патрубок для відсмоктування парів; 7 – камера для вивантаження; 8 – вікно для підсвічування; 9 – оглядове вікно; 10 – патрубок для вивантаження гранул; 11 – опорний ролик; 12 – бетонні основи; 13 – редуктор; 14 – електромотор

Тарільчаті гранулятори (рис. 1.2) мають свої переваги, які роблять їх конкурентоспроможними в деяких ситуаціях порівняно з барабанными. Тарільчаті гранулятори використовують принцип обкочувального руху матеріалу на поверхні тарілки, що сприяє ефективному гранулюванню. Максимальна продуктивність тарільчатого гранулятора досягається при піднятті матеріалу до верхньої точки траєкторії, де найбільше використовується поверхня тарілки.

Параметри, такі як діаметр тарілки, кутова швидкість, кут нахилу, висота борту та умови дозування, впливають на продуктивність гранулятора. Оптимальне їх співвідношення важливе для досягнення максимальної ефективності.

Тарільчаті гранулятори можуть бути більш економічними, компактними та вимагати менших капітальних вкладень порівняно з барабанными. Вони також забезпечують отримання монодисперсних гранул і можуть збільшувати їхню щільність та міцність.

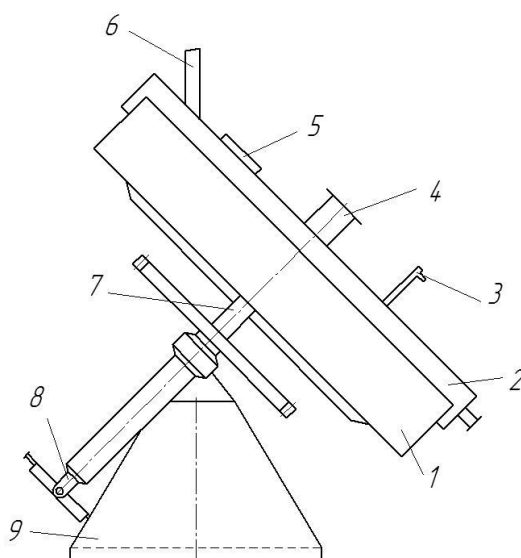


Рисунок 1.2 – Схема тарільчатого гранулятора: 1 – обертова тарілка; 2 – герметизуючий кожух; 3 – форсунка для подачі рідини; 4 – патрубок для відсмоктування парів; 5 – оглядове вікно; 6 – патрубок для подачі порошку; 7 – вал; 8 – механізм для зміни кута нахилу тарілки; 9 – рама

Принцип киплячого шару є важливим і широко використовується в сучасній техніці. Псевдозрідження в апаратах циліндричного типу (рис. 1.3), яке включає струменеве, бульбашкове та поршневе псевдозрідження, є важливим аспектом в процесах обробки матеріалів в хімічній та фармацевтичній промисловості, а також в інших галузях. Давайте розглянемо кожен з цих типів:

- 1. Струменеве псевдозрідження.** У цьому випадку рідинний агент викидається у вигляді струменів на матеріал, що обробляється. Цей метод часто використовується для покриття частинок або грануляції.
- 2. Бульбашкове псевдозрідження.** У цьому випадку газовий агент вводиться у вигляді бульбашок у рідинний агент, що потрапляє на матеріал. Бульбашки створюють розпилений струмінь, який може ефективно взаємодіяти з матеріалом.
- 3. Поршневе псевдозрідження.** Тут рідина вводиться у вигляді струменів за допомогою поршня, який обертається або переміщається вздовж циліндричного апарату. Цей метод також може бути використаний для нанесення або обробки матеріалів.

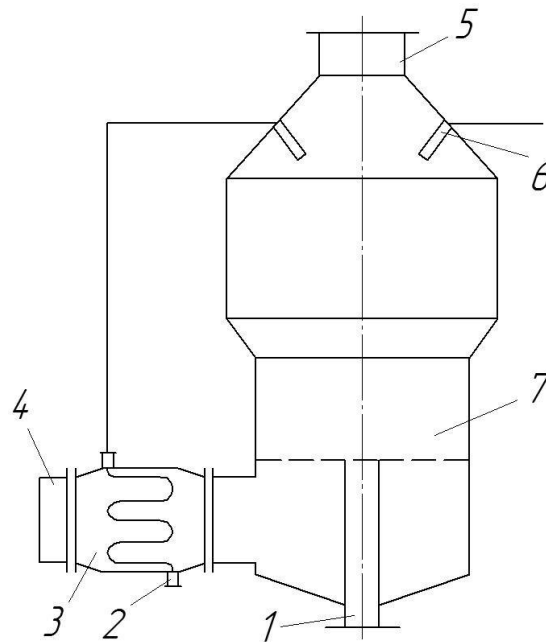


Рисунок 1.3 – Схема циліндричного апарата киплячого шару з центральним вивантаженням: 1 – патрубок для вивантаження продукту; 2 – патрубок для введення рідини; 3 – калорифер; 4 – патрубок для введення теплоносія; 5 – патрубок для виходу відпрацьованого теплоносія; 6 – форсунка для рідини; 7 – корпус апарата

Циліндричні апарати, які використовують псевдозрідження, можуть бути корисними при обробці матеріалів, схильних до злипання. Постійна швидкість псевдозріджувального повітря по всьому перерізу апарата може допомагати уникнути застійних зон та сприяти активнішій поведінці гранул, запобігаючи їх злипанню.

В конічних (рис. 1.4) та конічно-циліндричних (рис. 1.5) апаратах, застосовуючи псевдозрідження, виникають особливості, пов'язані з утворенням фонтануючого шару. Псевдозріджувальний агент, введений у вигляді струменів або бульбашок, захоплює тверді частинки, а потім викидає їх у вигляді фонтану нагору до периферії апарата. Цей фонтан потім рухається вниз вздовж бокової поверхні конуса або конічно-циліндричного апарату.

Після викидання вгору фонтану частинки рухаються вниз вздовж бокової поверхні апарата під впливом гравітації та інших сил.

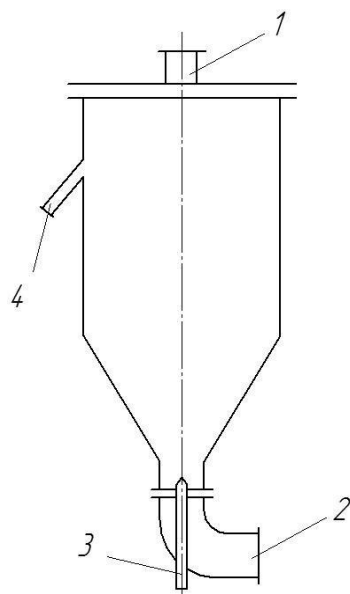


Рисунок 1.4 – Схема конічного апарата з фонтануючим шаром: 1 – патрубок для виходу теплоносія; 2 – патрубок для введення теплоносія; 3 – форсунка рідини; 4 – патрубок для виведення продукту

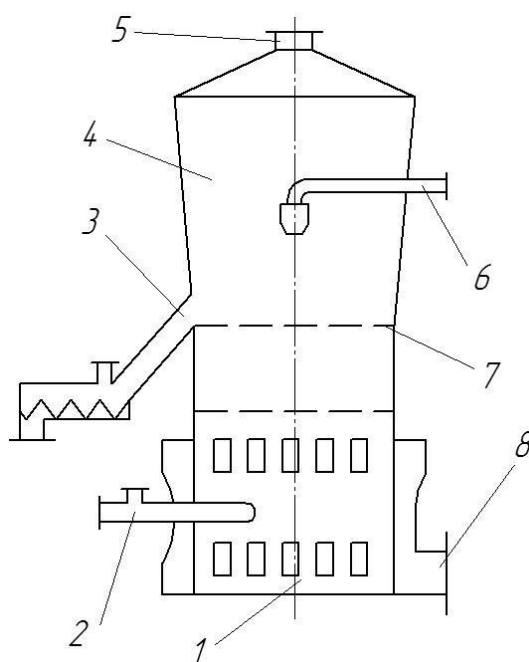


Рисунок 1.5 – Схема конічно-циліндричного апарата киплячого шару з вбудованою топкою і подачею рідини на шар: 1 – вбудована топка; 2 – газова горілка; 3 – патрубок для вивантаження гранул; 4 – корпус апарата; 5 – патрубок для відводу відпрацьованого теплоносія; 6 – механічна форсунка; 7 – газорозподільна решітка; 8 – патрубок для введення теплоносія

Конічні та конічно-циліндричні апарати знаходять застосування для гранулювання матеріалів, які мають малозлипаючі властивості. У таких апаратах створюються сприятливі аеродинамічні умови для ефективного покриття гранул або частинок.

Форма конуса чи конічно-циліндричної конструкції дозволяє оптимізувати аеродинаміку процесу, що може бути корисним при обробці матеріалів за допомогою псевдозрідження.

За допомогою цих апаратів можна створити кращі умови для рівномірного покриття матеріалів та уникнення злипання частинок. Ці особливості роблять конічні та конічно-циліндричні апарати ефективними для конкретних завдань, таких як гранулювання матеріалів, які схильні до злипання, і псевдозрідження дозволяє досягати бажаних результатів у більш сприятливих умовах.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Даний дипломний проект розглядає технологічний процес виробництва сульфату амонію, речовини, яка має ряд характерних фізичних та хімічних властивостей. Сульфат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ є кристалами ромбічної форми, які мають безбарвний колір і густиною $1,769 \text{ г/см}^3$. У технічного сульфату амонію спостерігається сіро-жовтий відтінок. При нагріванні сульфат амонію розкладається, втрачаючи аміак, і перетворюється у кислі солі.

Під час розчинення 1 г-екв солі у 1 літрі води при температурі близько $19,6^\circ\text{C}$ відбувається поглинання тепла приблизно 1 ккал. Під час кристалізації сульфату амонію із розчину виділяється тепло в кількості 2,6 кал/г-мол. У присутності аміаку розчинність сульфату амонію значно знижується.

Сульфат амонію знаходить своє застосування в промисловості в обмеженому обсязі. Ця речовина використовується у виробництві акумуляторів та в медицині, але основним споживачем сульфату амонію є сільське господарство, де він використовується як азотне добриво. Вміст азоту у сульфаті амонію становить від 20,5% до 21%.

Світове виробництво сульфату амонію налічує приблизно 15 мільйонів тонн, і велика частка цього обсягу використовується у виробництві азотних добрив у країнах, таких як Японія, Італія, Великобританія, США та Індія. Обсяг виробництва сульфату амонію складає близько 30% від загального обсягу виробництва азотних добрив.

Сульфат амонію як добриво відзначається своєю фізіологічно кислою природою. Для компенсації його підкислюючої дії в ґрунті необхідно внести удвічі більше вапняку (CaCO_3), ніж у випадку використання аміачної селітри.

Сульфат амонію має ряд переваг перед аміачною селітрою: він не є вогнебезпечним, менше схильний до злежування і має меншу гігроскопічність.

Для досягнення найкращих результатів сульфат амонію повинен мати крупнокристалічну структуру та низький вміст води і смолистих домішок.

На рис. 2.1 зображена технологічна схема установки грануляції сульфату амонію в апараті псевдозрідженого шару.

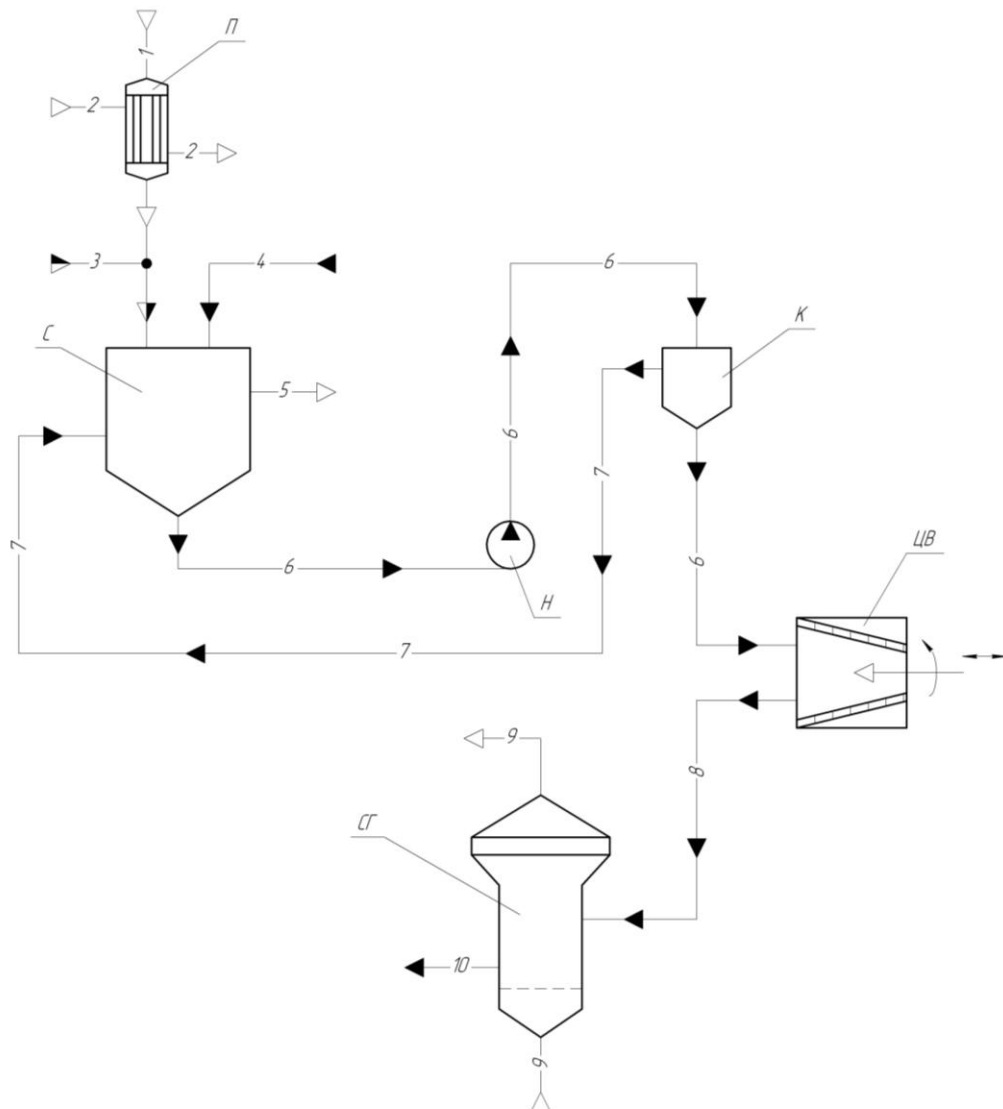


Рисунок 2.1 – Технологічна схема ділянки виробництва сульфату амонію

Головна мета даної установки полягає у виділенні аміаку з коксового газу, отримання сульфату амонію та подальшому переробленні надлишкової аміачної води. Важливо зазначити, що аміак у коксовому газі міститься у кількості приблизно 7-10 грамів на кубічний метр газу, і для його виділення використовуються різні методи, включаючи непрямий, прямий та напівпрямий способи.

Зокрема, напівпрямий метод, який вважається найбільш економічним, є найбільш поширеним у коксохімічній промисловості. Цей метод включає в себе кілька етапів. Спочатку коксовий газ охолоджується, що призводить до утворення смоли та водяної пари. Водяна фаза, утворена цим процесом, розшаровується на два шари: нижній шар містить смолу, а верхній – надсмольну воду, у якій частково розчинений аміак.

Надсмольну воду піддають обробці для виділення з неї аміаку. Потім цей аміак направляється на поглинення сірчаною кислотою, разом з очищеним від смоли коксовим газом, який містить невелику кількість аміаку.

Для виділення аміаку з надсмольної води використовується дистиляція. Під час нагрівання до 100°C гострий пар відділяє розчинений аміак, і частина амонійних солей, що утворилися під час взаємодії аміаку з коксовим газом і домішками, розкладається.

Поглинання аміаку з коксового газу також можливе за допомогою сатураторів, які використовують сатураторний метод. Для цього коксовий газ, охолоджений у холодильниках до $25\text{-}30^{\circ}\text{C}$ і очищений від смоли, підігривають острим паром в решофері П (підігрівачі газу) до $60\text{-}80^{\circ}\text{C}$ та направляють до сатуратора С. До коксового газу перед сатуратором додається паро-аміачна суміш, що отримується при обробці надсмольної води.

Сатуратор С – це циліндричний апарат із конічним днищем, зазвичай виготовлений із вуглецевої сталі і обладнаний кислотостійкими плитами всередині. Сатуратор заповнений насиченим розчином сульфату амонію, в який постійно додається 78%-ва сірчана кислота. У результаті цього процесу сульфат амонію виділяється у вигляді кристалів, які осідають на дно сатуратора.

Пульпа, яка складається з кристалів сульфату амонію та маточного розчину, постійно видаляється з сатуратора і, за допомогою відцентрового насосу Н, направляється в кристалозбірник К. Після цього, маточний розчин з кристалозбірника повертається назад до сатуратора, а кристали переходять до центрифуги безперервної дії Ц для повного відокремлення від маточного розчину.

Після проходження центрифуги сульфат амонію має вміст води приблизно 2%, і в такому стані він може злежуватися та утворювати комки та брили під час зберігання. Проте, якщо вміст води в сульфаті амонію складає менше 0,2%, то він практично не схильний до злежування. Тому після проходження центрифуги сульфат амонію направляється до сушилки-гранулятора псевдозрідженого шару СГ. В цій сушильці-грануляторі сульфат амонію висушується за допомогою потоку гарячого повітря, яке нагрівається до температури від 110 до 130°C.

Важливо зазначити, що одним із способів запобігання злипанню сульфату амонію під час зберігання є випуск продукту у гранульованому вигляді. Такий гранульований сульфат амонію має високу стабільність і не утворює великі комки або брили, що полегшує його транспортування та використання у подальших процесах.

2.2 Теоретичні основи процесу

Після аналізу відповідної літератури можна прийти до висновку, що гранулювання в псевдозрідженому шарі представляє собою складний та багатогранний процес, спрямований на збільшення розмірів гранул або їх формування. У практичному застосуванні надзвичайно важливо вміти коректно розраховувати фракційний склад готового продукту, а також вивчати способи досягнення максимального виходу цільової фракції.

Аналіз результатів досліджень, проведених різними авторами, свідчить про те, що з численних методів розрахунку гранулометричного складу продукту, отриманого в псевдозрідженому шарі, можна виділити три найбільш дієві. Проте, несумісність цих методів з експериментальними даними вимагає проведення додаткових досліджень і розробки нових методик розрахунків фракційного складу.

Експериментальні дослідження кінетики росту частинок в псевдозрідженому шарі вказують на те, що характер формування гранул, і відповідно їхні розміри, залежать від властивостей вихідного матеріалу. Отже, вплив технологічних пара-

метрів процесу на гранулометричний склад та якість продукту на сьогоднішній день не досліджено в повному обсязі. Існуючий науковий матеріал не дає змоги визначити основні параметри регулювання гранулометричного складу продукту повністю.

На сьогоднішній день час виведення промислових грануляторів киплячого шару на стаціонарний режим коливається в межах від 10 до 20 годин, і ця динаміка залежить від кінцевого гранулометричного складу продукту. Потрібно відзначити, що під час запуску апарата, псевдозріджений шар може «сідати» на розподільну решітку, що призводить до припинення роботи гранулятора і викликає зупинку установки в цілому.

Ускладнення виникає через те, що початковий склад гранул у шарі змінюється внаслідок збільшення розмірів гранул у факелі, який створюється роботою форсунки. Це призводить до зміни гідродинамічної ситуації в апараті та умов тепло- та масообміну, що може призвести до осідання і забивання решітки апарату гранулами.

Знання закономірностей зміни гранулометричного складу шару під час перехідного процесу надає можливість знайти оптимальні умови для переходу на стаціонарний режим роботи, налаштувати режими та конструкційні параметри гранулятора так, щоб отримати продукт із заданим гранулометричним складом. Важливо враховувати, що гранулометричний склад продукту залежить від багатьох параметрів процесу, і, отже, його розрахунок повинен проводитися, враховуючи взаємозв'язок режимів процесу та закономірностей гранулоутворення [14].

Тепловий баланс процесу грануляції в псевдозрідженому шарі описується наступним рівнянням:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_5 + I_6 \quad (2.1)$$

де: I_1 – прихід тепла зі зріджуючим агентом;

I_2 – прихід тепла з суспензією;

I_3 – тепло що надходить з гранулами вихідного продукту;

I_4 – теплота розчинення суспензії;

I_5 – витрата тепла з відпрацьованим сушильним агентом;

I_6 – тепло що відводиться з продуктом.

$$I_1 = G_{\text{воз}} \cdot [(0,24 + 0,47 \cdot X_1) \cdot t_{\text{с.а.}} + 595 \cdot X_1] \cdot 4,19 \quad (2.2)$$

де: $t_{\text{с.а.}}$ – температура сушильного агента, °С.

X_1 – вологовміст атмосферного повітря г/(кг·с.в.)

$G_{\text{воз}}$ – вологовміст відпрацьованого сушильного агента.

$$I_2 = (G_{\text{пр}} - G_p) \cdot (C_{\text{пр}} - C_{\text{вод}}) \cdot t_p \quad (2.3)$$

де: $G_{\text{пр}}$ – продуктивність по готовому продукту, т/год;

G_p – витрата вихідних гранул т/ч;

$C_{\text{пр}}$ – теплоємність продукту Дж/(кг·к);

$C_{\text{вод}}$ – теплоємність води Дж/(кг·к);

$$I_3 = G_p \cdot C_p \cdot t_p \quad (2.4)$$

де: C_p – теплоємність розчину Дж/(кг·к);

t_p – температура розчину °С.

$$I_4 = G_{\text{пр}} \cdot q \quad (2.5)$$

де: q – питома теплота розчинення Дж/кг.

$$I_5 = G_{\text{воз}} \cdot [(0,24 + 0,47 \cdot X_2) \cdot t_{\text{сл}} + 595 \cdot X_2] \cdot 4,19 \quad (2.6)$$

де: X_2 – вологовміст відпрацьованого сушильного агента, г/кг;

$t_{\text{сл}}$ – температура в шарі гранул °С.

$$I_6 = G_{\text{пр}} \cdot C_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}} \quad (2.7)$$

де: $t_{\text{пр}}$ – температура продукту °С.

Витрата сушильного агенту $G_{\text{пов}}$ на проведення процесу обчислюється за формулою:

$$G_{\text{воз}} = \frac{(G_{\text{пр}} - G_p) \cdot W_{\text{п}}}{X_2 - X_1}; \quad (1.8)$$

де: X_2 - вологовміст відпрацьованого сушильного агенту визначається за $t_{\text{сл}}$ та φ_2 за I-X діаграмою (рис.5);

$W_{\text{п}}$ – вологовміст суспензії кг/кг.

$t_{\text{сл}}$ – температура в шарі гранул;

φ_2 – відносна вологість відпрацьованого сушильного агенту;

Швидкість початку утворення підвішеного шару (Перша критична швидкість $\omega_{\text{крI}}$) для шароподібних частинок обчислюється за допомогою такого рівняння:

$$Re_{\text{кр}} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}; \quad (1.9)$$

звідки

$$\omega_{\text{крI}} = \frac{v_c}{d} \cdot \frac{Ar}{1400 \cdot 5,22\sqrt{Ar}} \quad (1.10)$$

$$Re_{\text{кр}} = \frac{\omega_{\text{крI}} \cdot d}{v_c}; \quad (1.11)$$

$$Ar = \frac{d^3 (\rho - \rho_c) \cdot g}{v_c^2 \rho_c} \quad (1.12)$$

де: $w_{\text{кр}}$ – критична швидкість потоку, яка відповідає початку утворення підвішеного шару, м/с;

d – діаметр частинок, м;

v_c – коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, м²/с;

ρ, ρ_c – щільність частинок та середовища, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Швидкість початку псевдозрідження гранул матеріалу:

$$w_{\text{по}} = \frac{Re \cdot v}{d_{\text{ср}}} \quad (1.13)$$

де: d_{cp} – середній діаметр гранул в шарі, м.

Робоча швидкість сушильного агента визначається за формулою:

$$v_{раб} = w_{по} \cdot K_{по} \quad (1.14)$$

де: $K_{по} = 3-4$ – число псевдозрідження.

Середня швидкість росту гранул розміру d_{cp} знаходиться за рівнянням:

$$w_p = \frac{d_{cp}}{\tau_p} \quad (1.15)$$

Максимальне винесення з шару матеріалу визначається за рівнянням:

$$G_{y\max} = \frac{\sqrt{kG_o C_o m_{сл}}}{F_o} \quad (1.16)$$

де: k – константа швидкості виносу, визначена дослідним шляхом;

G_o – початкова потужність апарату за твердою фазою, кг/год;

C_o – масова частка дрібних частинок в матеріалі що надходить в апарат;

$m_{сл}$ – маса матеріалу в шарі, кг;

F_o - площа поперечного перерізу апарату.

Гідравлічний опір шару обчислюється за формулою:

$$\Delta P_{сл} = \rho g H (1 - \varepsilon) = \rho g H_o (1 - \varepsilon_o) \quad (1.17)$$

де: ε – порізність підвішеного шару гранул;

$$\varepsilon = \frac{V_{сл} - V_{ТВ}}{V_{сл}} = 1 - \frac{V_{ТВ}}{V_{сл}} \quad (1.18)$$

де: $V_{сл}$ – об'єм підвішеного шару матеріалу;

$V_{ТВ}$ – об'єм матеріалу частинок.

Площа газорозподільної решітки, м:

$$S = \frac{G}{\rho_{газ} \cdot v_{раб}} \quad (1.19)$$

де: $\rho_{газ}$ – щільність псевдозріджуючого агента, кг/м³.

Середній час перебування гранул в псевдозрідженому шарі, знаходиться з рівняння кінетики сушки:

$$\frac{W_{\text{пр}}}{W_{\text{п}}} = 0,1 \cdot Gu^{-0,6} \cdot Fo^{-0,65} \quad (1.20)$$

де: Gu – параметричний критерій Гухмана;

Fo – критерій Фурье.

$$Gu = \frac{T_{\text{сл}} - T_{\text{м}}}{T_{\text{сл}}} \quad (1.21)$$

$$Fo = \frac{a \cdot \tau_{\text{ср}}}{d_{\text{ср}}^2} \quad (1.22)$$

Маса псевдозрідженого шару матеріалу, т:

$$G_{\text{сл}} = G_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{ср}} \quad (1.23)$$

Висота робочої частини апарату, м:

$$H_{\text{р}} = 5,6 \cdot H_{\text{о}} \cdot Re^{0,7} \cdot Ar^{-0,375} \quad (1.24)$$

де: $H_{\text{о}}$ – висота нерухомого шару, м:

$$H_{\text{о}} = \frac{G_{\text{сл}}}{\rho_{\text{н}} \cdot S} \quad (1.25)$$

де: $\rho_{\text{н}}$ – насипна щільність матеріалу гранул, кг/м^3 .

Мінімальна висота сепараційного простору, м:

$$H_{\text{сеп}} = \frac{v_{\text{в}}^2}{2g} \quad (1.26)$$

де: $v_{\text{в}}$ – швидкість вильоту частинок з шару, м/с

$$v_{\text{в}} = 3 \cdot 0,09 \cdot Ar^{0,25} \cdot \lg\left(\frac{v_{\text{раб}}}{w_{\text{по}}}\right) \quad (1.27)$$

Діаметр апарату знаходиться за рівнянням, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad (1.28)$$

2.3 Опис конструкції проектного апарата

Для модернізації проектного гранулятора, в ролі якого виступає пропонований апарат, було внесено конструктивні зміни, які спрямовані на поліпшення його функціональності та продуктивності. Однією з таких модернізацій є збільшення діаметра верхньої частини гранулятора (рис. 2.2).

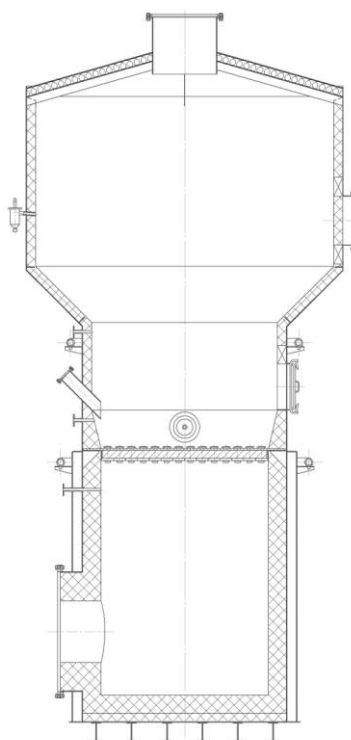


Рисунок 2.2 – Схема сушарки-гранулятора киплячого шару

Розширення поперечного перерізу апарату призводить до істотного зниження швидкості руху сушильного агента в цій області. Завдяки цьому, верхня частина гранулятора стає зоною, де швидкість газового потоку різко зменшується. Ця конструктивна зміна призводить до зменшення кінетичної енергії фракції гранул, яка перебуває в цій області.

У результаті такої модернізації досягається важливий позитивний ефект. Зменшення кінетичної енергії фракції гранул сприяє їхньому збереженню в грануляторі на більш тривалий період часу. Це важливо, оскільки передчасне виведення

гранул із відпрацьованим агентом може негативно вплинути на процес гранулювання та якість кінцевого продукту.

Таким чином, конструктивне рішення зі збільшенням діаметра верхньої частини гранулятора дозволяє ефективно управляти режимом роботи апарату та покращити його продуктивність.

2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

Необхідно провести розрахунок основних параметрів у процесі гранулювання сульфату амонію в апараті з використанням методу псевдозрідженого шару. В цьому процесі затравка постачається у формі гранул, а суміш надходить у вигляді розчину.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Питома витрата розчину C_c , кг/кг	0,40
Продуктивність апарату по готовому продукту $G_{пр}$, кг/год	1500
Вологість продукту $W_{пр}$, кг/кг	0,008
Середній діаметр гранул продукту $d_{пр}$, мм	2
Насипна щільність нерухомого шару продукту $\rho_{сл}$, кг/м ³	800
Щільність гранул продукту, кг/м ³	1400
Теплоємність продукту $C_{пр}$ ккал/(кг·град).	0,42
Теплота розчинення продукту $q_{пр}$ ккал/кг.	28
Вологість розчину W_p , кг/кг	0,7
Коефіцієнт температуропровідності розчину a , м ² /ч.	$14 \cdot 10^{-4}$
Температура розчину t_p , °C.	20

Продовження табл. 2.1

Температура псевдозрідженого шару $t_{сл}, ^\circ\text{C}$.	70
Відносна вологість відпрацьованого сушильного агенту $\varphi_2, \%$.	20
Питома напруженість факелу суспензії по вологі $q_{вл}, \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.	8600
Тиск перед форсункою $P, \text{МПа}$.	0,3
Концентрація суспензії у повітряному факелі $\chi, \text{кг}/\text{кг}$.	2

Питома витрата розчину визначається за формулою:

$$G_{п} = \frac{C_c \cdot G_{пр}}{1 - W_{п}} = \frac{0,40 \cdot 1500}{1 - 0,7} = 2000 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (1.30)$$

де $W_{п}$ – вологість розчину;

$G_{пр}$ – продуктивність апарату по готовому продукту, $\text{кг}/\text{год}$.

C_c – питома масова витрата сульфату амонію.

Кількість випареної в апараті води знаходиться за формулою:

$$G_{вл} = G_{п} \cdot W_{п} - G_{пр} \cdot W_{пр} = 2000 \cdot 0,7 - 1500 \cdot 0,008 = 1388 \text{ кг}/\text{год} \quad (1.31)$$

де $G_{п}$ – витрата суспензії сульфату амонію, $\text{кг}/\text{год}$.

$W_{пр}$ – масова вологість продукту.

Витрата повітря під газорозподільчу решітку:

$$G_{воз} = \frac{G_{вл}}{x_2 - x_1} = \frac{1388 \cdot 1000}{44 - 10} = 40820 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (1.32)$$

де x_2 – вологовміст відпрацьованого сушильного агенту, визначається за φ_2 та $t_{сл}$ з діаграми вологовмісту, x_1 – середній вологовміст атмосферного повітря взятого з навколишнього середовища = 10 г/кг с.в.

З діаграми отримано $x_2 = 44$ г/кг с.в.

Швидкість початку псевдозрідження $V_{по}$ визначаємо з рівняння:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (1.33)$$

$$Ar = \frac{g \cdot d_{ср}^3}{v^2} \cdot \frac{\rho_{ТВ} \cdot \rho_{Газ}}{\rho_{ТВ}} \quad (1.34)$$

$$V_{\text{по}} = \frac{2,35 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{0,002 \cdot (1400 + 5,22 \sqrt{2,35 \cdot 10^5})} = 0,65 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.35)$$

де Ar – критерій Архімеда для частинки з середнім розміром $d_{\text{ср}}$;

Re – критерій Рейнольдса що відповідає початку псевдозрідження гранул з середнім розміром $d_{\text{ср}}$;

$\rho_{\text{ТВ}}, \rho_{\text{газ}}$ – щільність відповідно твердих часточок та газу зріджуючого агенту $\text{кг}/\text{м}^3$;

ν – кінематична в'язкість сушильного агенту $\text{м}^2/\text{с}$.

$V_{\text{по}}$ – швидкість початку псевдозрідження гранул матеріалу $\text{м}/\text{с}$.

Робоча швидкість псевдозрідження гранул матеріалу визначається за наступним рівнянням:

$$V_{\text{р}} = 4V_{\text{по}} = 4 \cdot 0,65 = 2,6 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.36)$$

де $V_{\text{по}}$ – швидкість початку псевдозрідження гранул матеріалу $\text{м}/\text{с}$.

Температура теплоносія під решіткою $t_{\text{вх}}$ визначається за рівнянням:

$$G_{\text{воз}} \cdot C_{\text{воз}} \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{сл}}) + G_{\text{п}} \cdot [C_{\text{пр}}(1 - W_{\text{п}}) + C_{\text{воз}} \cdot W_{\text{п}}] \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{пр}}) + G_{\text{п}} \cdot (1 - W_{\text{п}}) \cdot q_{\text{пр}} = G_{\text{вл}} \cdot r \quad (1.37)$$

де r – теплота пароутворення;

$W_{\text{п}}$ – вологоємність розчину сульфату амонію.

$G_{\text{п}}$ – витрата розчину сульфату амонію, $\text{кг}/\text{год}$.

$q_{\text{пр}}$ – теплота розчинення продукту, $\text{ккал}/\text{кг}$.

$C_{\text{воз}}$ – теплоємність повітря, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$.

$t_{\text{п}}$ – температура розчину, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{пр}}$ – температура продукту (температура в шарі гранул), $^{\circ}\text{C}$;

$G_{\text{вл}}$ – кількість випареної в апараті води, $\text{кг}/\text{год}$.

$$40820 \cdot 0,245 \cdot (t_{\text{вх}} - 70) + 2000 \cdot [0,42(1 - 0,7) + 0,245 \cdot 0,7] \cdot (20 - 70) + 2000 \cdot (1 - 0,7) \cdot 28 = 1388 \cdot 595$$

Для визначення витрат умовного палива, в даному випадку природного газу, необхідних для нагріву повітря до вказаної температури, ми можемо скористатися наступною формулою:

$$G_{\text{т}} = \frac{G_{\text{воз}} \cdot C_{\text{воз}} \cdot (t_{\text{вх}} - 20)}{q_{\text{усл}}} = \frac{40820 \cdot 0,245 \cdot (157 - 20)}{7000} = 195,75 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (1.38)$$

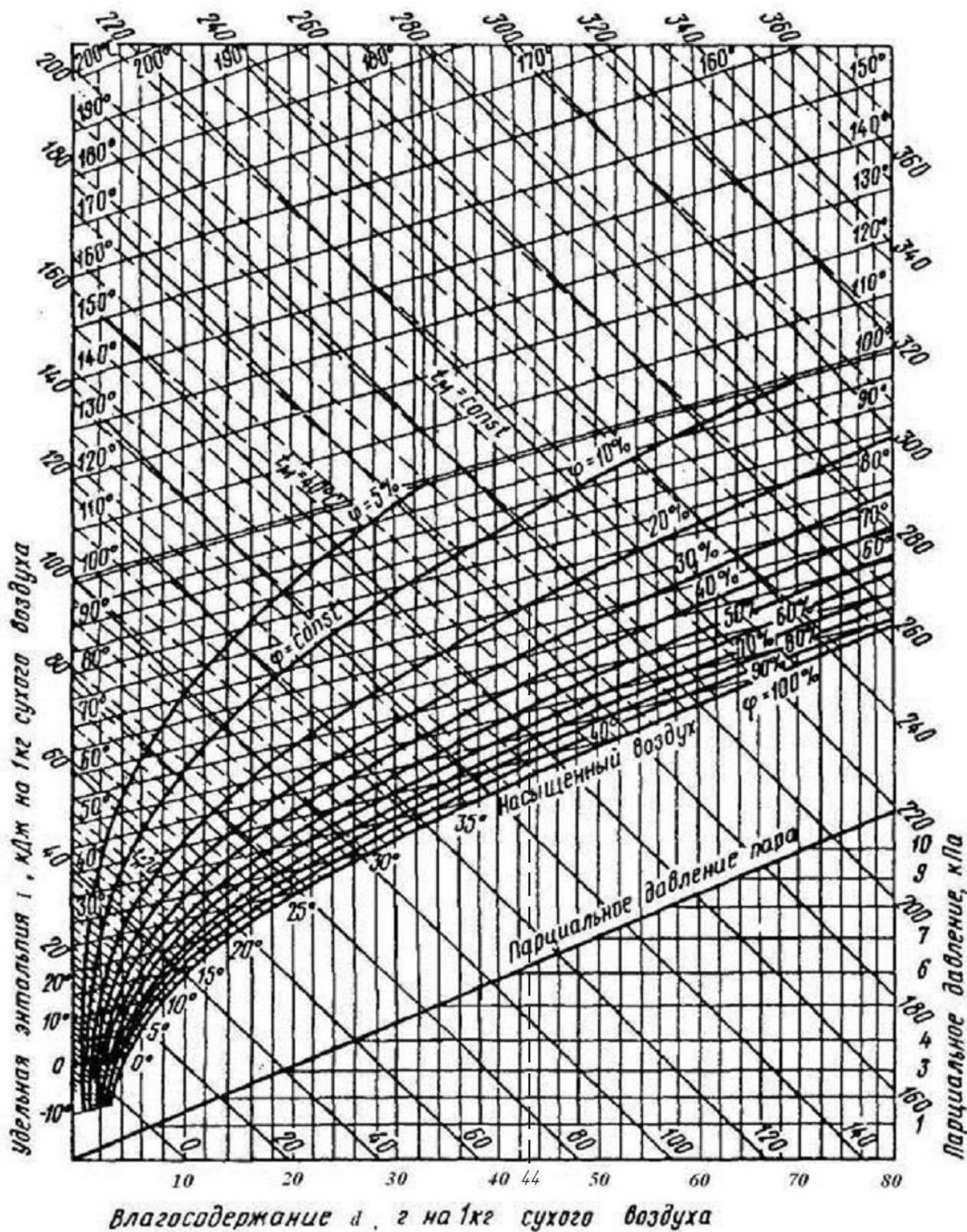


Рисунок 2.3 – Діаграма вологості повітря

Розв'язавши рівняння з однією невідомою, отримуємо значення $t_{\text{вх}}=155,35^\circ\text{C}$. З урахуванням тепловтрат в навколишнє середовище, необхідна температура теплоносія під решіткою складатиме $t_{\text{вх}} = 157^\circ\text{C}$.

Час перебування в грануляторі матеріалу визначають з формули:

$$\frac{W_{\text{пр}}}{W_{\text{п}}} = 0,1 \cdot Gu^{-0,60} Fo^{-0,65} \quad (1.39)$$

де Gu – параметричний критерій Гухмана;

Fo – критерій Фурье.

$$Gu = \frac{T_{\text{сл}} - T_{\text{м}}}{T_{\text{сл}}} \quad (1.40)$$

$$Fo = \frac{a \cdot \tau_{\text{ср}}}{d_{\text{пр}}^2} \quad (1.41)$$

де $T_{\text{сл}}$ – температура в шарі матеріалу °С;

$T_{\text{м}}$ – температура мокрого термометра °С;

$W_{\text{п}}$ – вологовміст розчину;

$W_{\text{пр}}$ – вологовміст продукту (гранул) на виході з апарату.

$d_{\text{пр}}$ – діаметр товарних гранул, м.

$\tau_{\text{ср}}$ – середній час перебування гранул в апараті, год.

a – коефіцієнт теплопровідності, м²/год.

Підставимо критерії в рівняння та одержуємо рівняння з одним невідомим:

$$\frac{0,008}{0,7} = 0,1 \left(\frac{70 - 36}{273 + 70} \right)^{-0,60} \left(\frac{14 \cdot 10^{-4} \cdot \tau}{4 \cdot 10^{-6}} \right)^{-0,65} \quad (1.42)$$

Звідки:

$$\tau_{\text{ср}} = 0,68 \text{ год} = 68 \text{ хв.} \quad (1.43)$$

Маса псевдозрідженого шару часточок визначається за рівнянням:

$$G_{\text{сл}} = G_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{ср}} = 1500 \cdot 0,68 = 1020 \text{ кг} \quad (1.44)$$

де $\tau_{\text{ср}}$ – середній час перебування гранул в апараті, год.;

$G_{\text{пр}}$ – продуктивність апарату по готовому продукту, кг/год.

Висота нерухомого шару частинок визначається за рівнянням:

$$H_0 = \frac{G_{\text{сл}}}{\rho_{\text{пр}} \cdot S} = \frac{1020}{800 \cdot 4,318} = 0,32 \text{ м} \quad (1.45)$$

де $G_{\text{сл}}$ – маса псевдозрідженого шару часточок, кг;

$\rho_{\text{сл}}$ – насипна щільність продукту кг/м^3 .

S – площа газорозподільчої решітки апарату м^2 .

Висота псевдозрідженого шару визначається за рівнянням:

$$H_p = 1,5 \cdot H_o = 1,5 \cdot 0,32 = 0,48 \text{ м} \quad (1.46)$$

де H_o – висота нерухомого шару частинок, м.

Висота робочої частини апарату визначається за рівнянням:

$$\begin{aligned} H_r &= 5,6 H_o Re^{0,7} Ar^{-0,375} = \\ &= 5,6 \cdot 0,48 \cdot \left(\frac{2,5 \cdot 0,002}{20 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,7} \cdot (2,35 \cdot 10^5)^{-0,375} = 0,83 \text{ м} \end{aligned} \quad (1.47)$$

де H_o – висота нерухомого шару частинок, м.

Враховуючи властивості суспензії, прийmemo апарат круглого перерізу, на якому форсунки розміщені на боковій стінці апарату з подачею рідини в шар.

Швидкість витання частинок визначимо з рівняння:

$$Re_B = \frac{0,8 \cdot Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}} = \frac{0,8 \cdot 2,35 \cdot 10^5}{18 + 0,61\sqrt{2,35 \cdot 10^5}} = 600 \quad (1.48)$$

$$V_B = 6 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт струменя визначаємо з рівняння:

$$C_1 = 0,8 \cdot Ar^{-0,115} \cdot Re_{\text{по}}^{0,32} = 0,8 \cdot (2,35 \cdot 10^5)^{-0,115} \cdot 63^{0,32} = 0,73 \quad (1.49)$$

Протяжність факела розпилу розчину в апараті:

$$X_\Phi = 1,2 \cdot H_p = 1,2 \cdot 0,48 = 0,58 \text{ м} \quad (1.50)$$

Комплекс $V_o r_o$, де r_o – радіус струменя в зоні витікання, а V_o – швидкість витікання обчислюємо за наступною формулою:

$$V_o r_o = \left(\frac{X_\Phi}{H_p} \right) \cdot 0,366 \cdot V_B \cdot C_1 \cdot H_p = \frac{0,58}{0,48} \cdot 0,366 \cdot 6 \cdot 0,73 \cdot 0,48 = 0,93 \text{ м}^2/\text{с} \quad (1.51)$$

де X_Φ – протяжність факела розпилу, м;

H_p – висота псевдозрідженого шару, м;

C_1 – коефіцієнт струменя;

V_B – швидкість витання часточок, м/с.

H_p – висота псевдозрідженого шару, м.

Горизонтальна дальnobійність факела, тобто мінімальна відстань до найближчої стінки апарату визначається за наступним рівнянням:

$$X_r = \frac{V_o r_o}{0,585 \cdot V_B \cdot C_1} = \frac{0,93}{0,585 \cdot 6 \cdot 0,73} = 0,363 \text{ м} < 2 \text{ м} \quad (1.52)$$

де r_o – радіус струменя в зоні витікання, м;

V_o – швидкість витікання суспензії м/с;

C_1 - коефіцієнт струменя суспензії;

V_B – швидкість витання часточок, м/с.

Максимальний радіус факела тобто мінімальна відстань від сопла форсунки до газорозподільчої решітки визначається за наступним рівнянням:

$$b_{max} = 0,565 \cdot \frac{V_o r_o}{V_B} = 0,565 \cdot \frac{0,93}{6} = 0,086 \text{ м} \quad (1.53)$$

Відстань від сопла форсунки до перерізу струменя з максимальним радіусом:

$$h_\phi = 1,25 \frac{V_o r_o}{V_B \cdot C_1} = 1,25 \frac{0,93}{6 \cdot 0,73} = 0,265 \text{ м} \quad (1.54)$$

Поверхня факела розпилу суспензії обчислюється за формулою:

$$F_\phi = \pi \cdot b_{max} \cdot \left[\sqrt{b_{max}^2 + h_\phi^2} + \sqrt{b_{max}^2 + (x_\phi - h_\phi)^2} \right] \quad (1.55)$$

$$F_\phi = 3,14 \cdot 0,086 \cdot \left[\sqrt{0,086^2 + 0,265^2} + \sqrt{0,086^2 + (0,58 - 0,265)^2} \right] = 0,164 \text{ м}^2$$

де b_{max} – максимальний радіус факела розпилу форсунки, м;

h_ϕ – відстань від сопла форсунки до перерізу струменя з максим радіусом м;

x_ϕ – протяжність факела розпилу, м.

Допустима потужність однієї форсунки знаходиться за формулою:

$$G_\phi = q_{вл} \cdot F_\phi = 8600 \cdot 0,164 = 1412 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (1.56)$$

де F_ϕ – поверхня факелу розпилу, м²;

$q_{вл}$ – питома напруженість факелу розчину по вологі, кг/(м²·год).

Кількість форсунок визначаємо за такою формулою:

$$Z = \left(\frac{G_{\text{вл}}}{G_{\text{ф}}} + 1 \right) = \left(\frac{1388}{1412} + 1 \right) = 2 \text{ шт} \quad (1.57)$$

де $G_{\text{ф}}$ – допустима потужність однієї форсунки кг/год;

$G_{\text{вл}}$ – кількість випареної в апараті води, кг/год.

Швидкість витікання суспензії з сопла:

$$V_{\text{ист}} = \varphi \sqrt{2g \frac{P}{\rho_{\text{п}}}} = 0,97 \sqrt{(2 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 10^4) / 1200} = 21,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.58)$$

де $\rho_{\text{п}}$ – густина суспензії сульфату амонію, кг/м³;

P – тиск суспензії перед форсункою, МПа.

Еквівалентна швидкість витікання суспензії при коефіцієнті витрати рідини $\zeta_0 = 0,25$.

$$V_{\text{п}} = \zeta_0 \cdot V_{\text{ист}} = 0,25 \cdot 21,5 = 5,38 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.59)$$

Діаметр вихідного сопла рідини:

$$d_{\text{ж}} = \sqrt{\frac{4G_{\text{п}}}{Z \cdot \pi \cdot V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2000}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,38 \cdot 1200 \cdot 3600}} = 0,0074 \text{ м} \quad (1.60)$$

де $G_{\text{п}}$ – витрата розчину сульфату амонію, кг/год.

$\rho_{\text{п}}$ – густина розчину, кг/м³;

$V_{\text{п}}$ – еквівалентна швидкість витікання розчину при коефіцієнті витрати рідини $\zeta_0 = 0,25$ в м/с.

Зовнішній діаметр рідинного патрубку приймається конструктивно за розміром $d_{\text{ж}}$: $d_{\text{жн}} = 0,015 \text{ м}$.

Швидкість витікання розпилюючого агента з кільцевого каналу:

$$V_{\text{ф}} = (10 \div 15) \cdot V_{\text{в}} = 78 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.61)$$

Еквівалентна швидкість струменя (круглого перерізу):

$$V_0 = \frac{V_{\text{ф}} + V_{\text{п}}}{1 + \chi} = \frac{78 + 5,38}{1 + 2} = \frac{27,8 \text{ м}}{\text{с}} \quad (1.62)$$

де V_{Π} – еквівалентна швидкість витікання розчину при коефіцієнті витрати рідини $\zeta_0 = 0,25$ в м/с;

V_{Φ} – швидкість витікання розпилюючого агента з кільцевого каналу, м/с.

Діаметр круглого повітряного сопла:

$$d_0 = \frac{2C_1}{V_0} = \frac{2 \cdot 0,73}{27,8} = 0,052 \text{ м} \quad (1.63)$$

де V_0 – еквівалентна швидкість струменя, м/с.

C_1 - коефіцієнт струменя круглого перерізу;

Діаметр повітряного каналу форсунки:

$$d_{\Phi} = \sqrt{d_0^2 + d_{\text{жн}}^2} = \sqrt{0,052^2 + 0,015^2} = 0,054 \text{ м} \quad (1.64)$$

де d_0 – діаметр круглого повітряного сопла, м;

$d_{\text{жн}}$ – зовнішній діаметр рідинного патрубку, м.

Витрата розпилюючого повітря на одну форсунку:

$$G_p = \frac{\pi \cdot d_0^2 \cdot V_{\Phi} \cdot \rho_{\text{в}}}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,052^2 \cdot 78 \cdot 0,7 \cdot 3600}{4} = 414 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad (1.65)$$

де $\rho_{\text{в}}$ – густина повітря, кг/м³.

Максимальна швидкість вильоту частинок з шару:

$$V_r = 3 \cdot 0,09 \cdot Ar^{0,25} \cdot \lg \frac{V_p}{V_{\text{по}}} = 3 \cdot 0,09 \cdot (2,35 \cdot 10^5)^{0,25} \cdot \lg \frac{2,6}{0,65} = 3,6 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.66)$$

де $\rho_{\text{в}}$ – густина повітря, кг/м³;

V_p – робоча швидкість псевдозрідження частинок, м/с.

$V_{\text{по}}$ – швидкість початку псевдозрідження частинок, м/с.

Площа газорозподільчої решітки апарату визначається за формулою:

$$S = \frac{G_{\text{воз}}}{\rho_{\text{воз}} \cdot V_p \cdot 3600} = \frac{40820}{0,98 \cdot 2,6 \cdot 3600} = 4,318 \text{ м}^2 \quad (1.67)$$

де $\rho_{\text{воз}}$ – густина зріджуючого агента (повітря) що подається під решітку апарата, кг/м³;

$G_{\text{воз}}$ – витрата зріджуючого агента (повітря) під газорозподільчу решітку, кг/год;

V_p – робоча швидкість псевдозрідження гранул матеріалу м/с.

Мінімальна висота сепараційної зони:

$$H_c = \frac{V_r^2}{2 \cdot g} = \frac{3,6^2}{2 \cdot 9,81} = 0,66 \text{ м} \quad (1.68)$$

де V_r – максимальна швидкість вильоту частинок з шару, м/с.

Висота робочої частини апарату, визначаємо за наступною формулою:

$$H = H_r + H_c + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{воз}}}{5,7 \cdot \rho_{\text{в}} \cdot Z}} \quad (1.69)$$

$$H = 0,83 + 0,66 + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{40820}{5,7 \cdot 0,7 \cdot 2}} = 2,71 \text{ м}$$

Діаметр апарату знаходимо з раніше визначеного перерізу газорозподільчої решітки, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad (1.70)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,318}{3,14}} = 2,345 \text{ м}$$

де S - площа газорозподільчої решітки апарата м^2 .

Прийемо апарат з внутрішнім діаметром грануляційної зони 2,360 м.

Здійснимо перерахунок площі газорозподільчої решітки відповідно до прийнятого стандартного діаметра апарата:

$$s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (1.71)$$

$$s = \frac{3,14 \cdot 2,360^2}{4}$$

Звідки

$$S = 4,37 \text{ м}^2$$

Кількість пневматичних форсунок визначаємо за формулою:

$$Z = \left(\frac{G_{\text{вп}}}{G_{\text{ф}}} + 1 \right) = \left(\frac{1388}{1412} + 1 \right) = 2 \text{ шт} \quad (1.69)$$

де G_f – допустима потужність однієї форсунки кг/год;

$G_{вл}$ – кількість випареної в апараті води, кг/год.

Для забезпечення нормального входу та виходу продуктів в проектованому апараті використовуються стандартні штуцери, обладнані приварними фланцями для з'єднання з тонкостінними патрубками.

Відповідно до проведених розрахунків прийmemo швидкість руху газів в трубопроводі $w_g = 6 м/с$, а швидкість руху рідини $w_p = 1 м/с$.

Діаметри штуцерів апарату обчислюються за формулою:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (1.70)$$

де V – об'ємна витрата потоку, м³/с;

w – швидкість руху рідин або газів в трубопроводі, м/с.

Діаметри штуцерів представлено в табл. 2.2.

Таблиця 2.3 – Діаметри штуцерів грануляційного апарата

Найменування	Кільк. шт.	Умовний прохід D_y , мм.	Тиск умовний P_y , МПа
Вхід димових газів	1	1500	0,1
Вихід димових газів	1	800	0,1
Вихід повітря в холодильник	1	350	
Вихід повітря на спалювання природнього газу	1	350	
Вихід повітря на розбавлення димових газів	1	500	
Вихід гранул	1	250	0,1
Вхід ретура	1	150	0,1
КВП (замір температури)	3	50	0,1

Продовження табл. 2.3

Люк оглядовий	1	260	
Люк робочий	1	580	
Лаз ремонтний	2	630	0,1

2.5 Гідравлічні розрахунки

Гідравлічний опір, який виникає в апараті псевдозрідженого шару, складається з суми опору від шару гранул, опору від газорозподільчої решітки та опору від зрошення розчином. Перш за все, проведемо розрахунок гідравлічного опору, який створюється шаром гранул.

Об'єм, який займає псевдозріджений шар матеріалу:

$$V = S \cdot h \quad (1.71)$$

$$V = 4,37 \cdot 0,48 = 2,1 \text{ м}^3;$$

де S – площа поперечного перерізу апарата, м^2 .

h – висота псевдозрідженого шару, м.

Із урахування порізності (вільного об'єму), об'єм твердих частинок у шарі буде складати:

$$V_{\text{гр}} = S \cdot h \cdot (1 - \varepsilon) \quad (1.72)$$

Порізність псевдозрідженого шару розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot \text{Re} + 0,36 \cdot \text{Re}^2}{\text{Ar}} \right)^{0,21} \quad (1.73)$$

де Re – критерій Рейнольдса;

Ar – критерій Архімеда.

Критичне значення критерію Рейнольдса, при якому розпочинається псевдозрідження, визначається за рівнянням:

$$\text{Re}_{1\text{кр}} = \frac{\text{Ar}}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{\text{Ar}}} \quad (1.74)$$

У критерій Архімеда входять відомі величини:

$$Ar = \frac{d_{гр}^3 \cdot \rho_n \cdot g \cdot (\rho_{гр} - \rho_n)}{\mu_n^2} \quad (1.75)$$

$$Ar = \frac{0,004^3 \cdot 0,94 \cdot 9,81 \cdot (1400 - 0,94)}{(21,7 \cdot 10^{-6})^2} = 1753000$$

$$Re_{1кр} = \frac{1753000}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{1753000}} = 211$$

де $d_{гр}$ – діаметр частинок, м;

μ_n – динамічна в'язкість повітря, Па·с.

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot 211 + 0,36 \cdot 211^2}{1753000} \right)^{0,21} = 0,4$$

$$V_{гр} = S \cdot h \cdot (1 - \varepsilon) = 4,37 \cdot 0,48 \cdot (1 - 0,4) = 1,26 \text{ м}^3$$

де S – площа поперечного перерізу апарата, м^2 .

h – висота псевдозрідженого шару, м.

ε – порізність шару гранул.

Сила тяжіння шару визначається за формулою:

$$G_{гр} = S \cdot h \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (\rho_{гр} - \rho_n) \cdot g \quad (1.76)$$

$$G_{гр} = 4,37 \cdot 0,48 \cdot (1 - 0,4) \cdot (1400 - 0,94) \cdot 9,81 = 17270 \text{ кг.}$$

де ρ_n – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – прискорення сили тяжіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Гідравлічний опір псевдозрідженого шару обчислюється як відношення ваги частинок до площі поперечного перерізу апарата:

$$\Delta P = \frac{G_{гр}}{S} = h \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (\rho_{гр} - \rho_n) \cdot g \quad (1.77)$$

$$\Delta P = \frac{17270}{4,37} = 3952 \text{ Па}$$

Одержано значення гідравлічного опору сухого шару гранул. У випадку якщо гранули зрошуються розчином сульфату амонію необхідно застосовувати залежність [13]:

$$\frac{\Delta P_{\Sigma}}{\Delta P_c} = 3,8 \cdot l_{\text{пит}}^{-0,76} \cdot \left(\frac{l_{\text{пит}}}{g_{\text{пит}}} \right) + 0,95 \quad (1.78)$$

де $l_{\text{пит}}$ – питома витрата розчину, кг/кг;

$g_{\text{пит}}$ – питома витрата повітря, кг/кг;

S – площа поперечного перерізу апарата, м²

$$l_{\text{пит}} = \frac{G_c}{S}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad (1.79)$$

$$g_{\text{пит}} = \frac{G_{\text{воз}}}{S}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad (1.80)$$

$$l_{\text{пит}} = \frac{2000}{4,37} = 457,7 \text{ кг/кг}$$

$$g_{\text{пит}} = \frac{40820}{4,37} = 9341 \text{ кг/кг}$$

$$\frac{\Delta P_{\Sigma}}{\Delta P_c} = 3,8 \cdot 457,7^{-0,76} \cdot \left(\frac{457,7}{9341} \right) + 0,95 = 0,952 \quad (1.81)$$

$$\frac{3952}{\Delta P_c} = 0,952$$

Звідси опір псевдозрідженого шару в апараті враховуючи опір зрошення складає $\Delta P_c = 4151$ Па.

Відповідно до [13] опір газорозподільчої решітки враховуючи розмір отворів, що дорівнює 5мм та живому перерізі 5%, в залежності від живого перерізу ψ (в%) та робочої швидкості псевдозріджуючого агента $V_{\text{раб}}$ буде виражатися такою емпіричною формулою:

$$\Delta H_{\text{реш}} = 1,44 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{V_{\text{раб}}}{\psi} \right)^2 \quad (1.82)$$

$$\Delta H_{\text{реш}} = 1,44 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{6}{5} \right)^2 = 2074 \text{ Па} \quad (1.83)$$

Сумарний опір в апараті псевдозрідженого шару складає:

$$\Sigma \Delta H = \Delta H_{\text{реш}} + \Delta P_c \quad (1.84)$$

$$\Sigma \Delta H = 2074 + 4151 = 6225 \text{ Па}$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір насоса для перекачування розчину. Для всмоктуючого та нагнітаючого трубопроводів приймемо однакову швидкість витікання рідини, рівну $w = 1,5 \frac{м}{с}$.

Діаметр трубопроводу розраховується за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.85)$$

де V – об’ємна витрата рідини що перекачується насосом, $м^3/с$.

$$V = \frac{G}{3600 \cdot \rho_{ж}}, \quad (2.86)$$

де G – масова витрата рідини що перекачується насосом, $кг/ч$.

$$V = \frac{2000}{3600 \cdot 1200} = 4,63 \cdot 10^{-4} \frac{м^3}{с}$$

$$d = \sqrt{\frac{4,63 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,02 \text{ м.}$$

Знаходимо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_{ж}}{\mu}, \quad (2.87)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,02 \cdot 1200}{0,300} = 160,$$

отже режим ламінарний. Абсолютну шерохуватість трубопроводу при використанні сталених труб приймають $\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$. Тоді:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,02} = 0,01 \quad (2.88)$$

Далі одержимо:

$$\frac{1}{e} = 100; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 56000; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 1000; \quad (2.89)$$

$$Re > 560 \cdot \frac{1}{e} \quad (2.90)$$

Для ламінарного потоку рідини коефіцієнт гідравлічного тертя визначають за наступною формулою:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (1.91)$$

$$\lambda = \frac{64}{160} = 0,4$$

Знаходимо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та нагнітаючої ліній.

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід в трубу (прийємо з гострими краями) $\xi_1 = 0,5$;
- 2) 2 коліна с кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2, \quad (2.92)$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для нагнітаючої лінії:

- 1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0,65$;
- 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;
- 3) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3, \quad (2.93)$$

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 + 1 = 4,95.$$

Втрачений напір у всмоктуючій лінії визначаємо за такою формулою:

$$h_{п.вс.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.94)$$

де l, d_3 – відповідно довжина та еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{п.вс.} = \left(0,04 \cdot \frac{12}{0,02} + 2,7 \right) \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 3,1 \text{ м.}$$

Втрачений напір у нагнітаючій лінії визначаємо за формулою: (2.61):

$$h_{п.наг.} = \left(0,04 \cdot \frac{8}{0,02} + 4,95 \right) \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 2,4 \text{ м.}$$

Загальні втрати напорі:

$$h_{II} = h_{II.BC.} + h_{II.HAF.}, \quad (2.95)$$

$$h_{II} = 3,1 + 2,4 = 5,5 \text{ м.}$$

Визначаємо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{жс} \cdot g} + H_{Г} + h_{II}, \quad (2.96)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті та ємності, з якої подається рідина.

У нашому випадку ця різниця рівна $(P_2 - P_1) = 0,2 - 0,1 = 0,1 \text{ МПа}$;

$H_{Г}$ – геометрична висота підйому рідини.

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{1200 \cdot 9,81} + 10 + 5,5 = 24 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу знаходимо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_{жс} \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.97)$$

де Q – подача (витрата), $Q = 5,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

H – напір насосу.

$$N_{II} = 1200 \cdot 9,81 \cdot 5,6 \cdot 10^{-4} \cdot 24 = 160 \text{ Вт.}$$

Потужність, що повинна розвиватися електродвигуном насосу на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.98)$$

де η_n , $\eta_{пер}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса та передачі від електродвигуна до насосу. Прийmemo $\eta_n = 0,6$ и $\eta_{пер} = 1$, та отримаємо

$$N = \frac{160}{1 \cdot 0,6} = 267 \text{ Вт.}$$

Зробимо свій вибір на користь відцентрового насосу марки Х8/30 з такими характеристиками:

- об'ємна подача насоса $8,6 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- напір насоса 30 м;
- потужність що використовується насосом 4,0 кВт;
- частота обертання 48 об/хв.

Розрахунок та вибір ємності для розчину. Розрахунок об'єму ємності для зберігання розчину сульфату амонію виконується, враховуючи необхідний резерв часу на одну годину роботи та коефіцієнт заповнення $\psi = 0,8$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.99)$$

де G – загальна витрата суміші, $G = 3189 \frac{\text{кг}}{\text{час}}$;

τ – резерв робочого часу, $\tau = 1$ год.

ρ – щільність розчину при температурі 20°C , $\rho = 1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

$$V_{EP} = \frac{2000 \cdot 1}{0,8 \cdot 1200} = 2,1 \text{ м}^3.$$

Задаємося діаметром ємності $D = 1,6$ м, тоді її висота буде складати:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}, \quad (2.100)$$

$$H = \frac{2,2}{0,785 \cdot 1,6^2} = 1,1 \text{ м}.$$

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [19]

Правильний вибір матеріалів та технології виробництва апаратів впливає на багато аспектів їх функціонування, таких як тривалість служби, трудомісткість виготовлення і вартість. Вибір матеріалів і заготовок визначається кількома факторами, такими як особливості виробництва, конструкційні особливості, умови експлуатації і технологічні вимоги, а також економічна доцільність. При роботі в агресивному середовищі необхідно враховувати характер цього середовища, концентрацію речовин у ньому та температурний режим.

Для виготовлення сталевих зварних апаратів використовують напівфабрикати, які постачаються металургійною промисловістю у різних формах, таких як листовий, сортовий та фасонний прокат, труби, спеціальні заготовки і відливки. Вибір матеріалу повинен враховувати хімічну і корозійну стійкість в умовах відповідного середовища, де працюватиме апарат, а також зварювальні властивості, міцність та пластичність при робочих навантаженнях. Матеріал повинен бути придатним для холодної і гарячої обробки, мати доступну вартість і бути доступним на ринку. Крім того, матеріал повинен відповідати вимогам діючих стандартів і технічних умов постачальників, що підтверджується сертифікатами якості.

При виборі конструкційних матеріалів для обладнання, важливо враховувати різні фактори, які впливають на його експлуатацію. Перш за все, це умови роботи обладнання, такі як температура, тиск, концентрація робочих речовин та їх агресивність. Крім того, важливо враховувати механічні властивості матеріалів, їх хімічну стійкість, теплопровідність, технологічність у виготовленні та вартість.

Одним з ключових аспектів при виборі матеріалу є його зварювальна здатність, оскільки більшість з'єднань в хімічному обладнанні виготовляються

зварюванням. У хімічній промисловості використовують агресивні речовини, тому корозійна стійкість матеріалів є критичним фактором для тривалого функціонування обладнання.

Вибір конструкційного матеріалу також повинен бути здійснений з урахуванням вартості матеріалу та його доступності на ринку. У даному випадку, враховуючи параметри процесу грануляції, які включають високу температуру (до 200°C) і тиск в апараті (до 0,6 МПа), а також помірну агресивність суспензії, найбільш підходящим матеріалом для виготовлення апарату киплячого шару є низьколегована сталь з низьким вмістом легуючих елементів (до 2,5%). Цей матеріал може бути представлений у вигляді листового прокату, що має товщину (4-160мм) згідно з відповідними стандартами, такими як ГОСТ 5520-79 і ГОСТ 19281-89.

Листовий прокат вважається основним матеріалом, який широко використовується в виготовленні апаратів псевдозрідженого шару. З нього виготовляють різноманітні деталі, такі як обичайки, днища, фланці, газорозподільчі решітки та інші.

Один із типів сталі, який використовується в цілях конструкційного призначення, це сталь 16ГС. Вона є низьколегваною та призначена для виготовлення зварних конструкцій. Використовується для апаратів, фланців, днищ, обичайок, посудів і багатьох інших компонентів. Цей матеріал має властивості, такі як гарна зварюваність, висока міцність і ударна в'язкість, і може працювати в широкому діапазоні температур від -70°C до +475°C. Крім того, він легко деформується як при гарячій, так і при холодній обробці, і може бути зварений різними методами.

Іншим типом сталі є сталь Ст3, яка є конструкційною вуглецевою сталлю звичайної якості. Вона застосовується для виготовлення збірників, насосів, несучих елементів як зварних, так і незварних конструкцій, які працюють в широкому діапазоні температур від -40°C до +425°C. Ця сталь добре зварюється різними методами і не схильна до відпускнуї крихкості.

Сталь 35Х є прикладом конструкційної легованої сталі і використовується для виготовлення деталей, таких як осі, вали, шестерні та інші поліпшені компоненти. Однак важливо враховувати, що ця сталь має обмежену зварюваність і може бути схильною до відпускнуї крихкості.

Пароніт – це матеріал, який використовується для виготовлення прокладок. Він виготовлений шляхом пресування асбокаучукової маси, яка містить азбест, каучук і порошкові інгредієнти. Пароніт використовується для ущільнення фланцевих з'єднань та інших місць, де необхідно запобігти витoku рідини або газу.

Обрання відповідного матеріалу є важливим етапом у виготовленні хімічних апаратів та обладнання.

3.2 Розрахунки на міцність та стійкість [20]

Для циліндричних сталевих апаратів, корпуси яких виготовляються з листового прокату, за базовий береться внутрішній діаметр, виміряний в міліметрах, з відповідного ряду ГОСТ 9617-89. Наприклад, для мого апарату базовим значенням є обичайка з діаметром 2600 мм для робочої частини та 4000 мм для сепараційної частини. Оскільки стінка апарату повинна бути однаковою по всій довжині корпусу, товщина стінки визначається за максимальним значенням товщини обичайок, яке відповідає товщині сепараційної зони апарату з діаметром 4000 мм.

Для розрахунку товщини стінки обичайки і днища [20], спочатку ми визначаємо величину нормативної допустимої напруги для сталі 16ГС при розрахунковій температурі, яка дорівнює максимально можливій температурі в апараті, а саме 200°C: $\sigma^* = 165 \text{ МПа}$.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma \cdot \eta, \quad (3.1)$$

где $\eta = 1$ – поправочний коефіцієнт для листового прокату.

$$[\sigma] = 165 \cdot 1 = 165 \text{ МПа} .$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1} , \quad (3.2)$$

де $\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа}$ – межа текучості сталі 16ГС при температурі 20°C [15].

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа} .$$

У нашому випадку розрахунковий тиск буде дорівнювати робочому тиску в апараті: $P_p = P = 0,2 \text{ МПа}$.

Оскільки розрахунковий тиск 0,2 МПа то випробувальний тиск при гідравлічних випробуваннях розраховуємо за рівнянням:

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]} , 0,2 \right\} , \quad (3.3)$$

где $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 170 \text{ МПа}$ – допустиме напруження сталі 16ГС при температурі 20°C ($\eta = 1$).

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,2 \cdot 170}{165} = 0,31 \text{ МПа} , 0,2 \text{ МПа} \right\} = 0,31 \text{ МПа} .$$

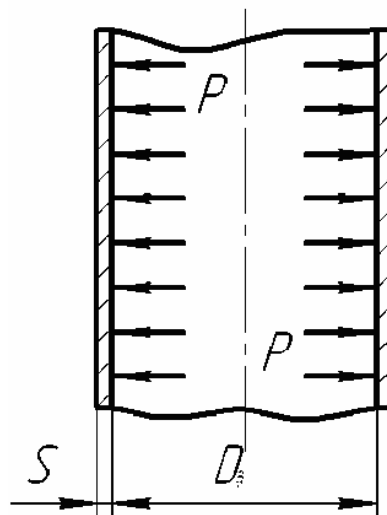


Рис. 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Розрахункова товщина циліндричної обичайки [20]:

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_P}, \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_H - P_H} \right\}, \quad (3.4)$$

де $\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних швів з двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичною або напівавтоматичною зваркою.

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{0,2 \cdot 4000}{2 \cdot 1 \cdot 165 - 0,2} = 2,43 \text{ мм}, \frac{0,31 \cdot 4000}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 0,31} = 2,44 \text{ мм} \right\} = 2,44 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_H \geq S_P^H + c, \quad (3.5)$$

де c – прибавка до розрахункових конструкційних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.6)$$

c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна прибавка.

Прийmemo, що $c_2 = c_3 = 0$. Прибавку для компенсації корозії та ерозії знаходимо за рівнянням:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.7)$$

де $\Pi = 0,18 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$ – проникність матеріалу;

$\tau = 15 \text{ лет}$ – срок служби апарату.

В результаті одержимо:

$$c = c_1 = 0,18 \cdot 15 = 2,7 \text{ мм}.$$

$$S_H = 2,44 + 2,7 = 5,14 \text{ мм}.$$

Прийmemo $S_H = 6 \text{ мм}$.

Розрахунковий діаметр днища: $D_p = D = 2600 \text{ мм}$.

Коефіцієнт конструкції днища: $K = 0,45$.

$$(S - c) / (S_1 - c) = (6 - 1,8) / (45 - 1,8) = 0,1 < 0,25 \quad (3.8)$$

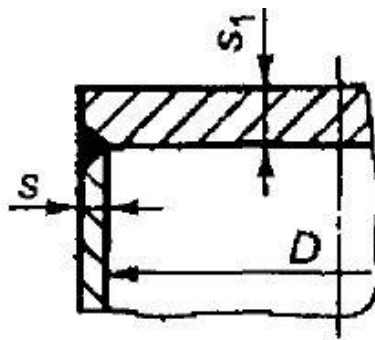


Рис. 3.2 – Розрахункова схема плоского днища:

Сумарна прибавка до товщини стінки днища [17]:

$$c = c1 + c2 + c3 = 1,8 + 0 + 0 = 1,8 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт послаблення плоского днища отворами $K_o = 1$ (отвори в днищі відсутні).

Розрахункова товщина стінки циліндричної частини днища:

$$S_p = p \cdot D / (2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p) = 0,2 \cdot 2600 / (2 \cdot 1 \cdot 170,4 - 0,2) = 1,53 \text{ мм.} \quad (3.9)$$

де: $[\sigma]$ – допустиме напруження сталі 16ГС при температурі 155°C.

Розрахункова товщина стінки циліндричної частини днища з врахуванням прибавок:

$$S_p + c = 1,53 + 1,8 = 3,33 \text{ мм} \quad (3.10)$$

Міцність забезпечена.

Розрахункова товщина центральної частини днища:

$$S_{1p} = K \cdot K_o \cdot D_p \cdot (p / (\phi \cdot [\sigma]))^{0,5} = 0,45 \cdot 1 \cdot 2600 \cdot (0,2 / (1 \cdot 170,4))^{0,5} = 40 \text{ мм} \quad (3.11)$$

Розрахункова товщина центральної частини з врахуванням прибавок:

$$S_{1p} + c = 40,08 + 1,8 = 41,88 \text{ мм} \quad (3.12)$$

Міцність забезпечена.

Допустимий тиск на плоске днище або кришку:

$$[P] = [((s1 - c) / (K \cdot K_o \cdot D_p))^2 \cdot [\sigma] \cdot \phi] = [((45 - 1,8) / (0,45 \cdot 1 \cdot 2600))^2 \cdot 170,4 \cdot 1] = 0,23 \text{ МПа} \quad (3.13)$$

Міцність забезпечена.

Приймаємо $S = 6 \text{ мм}$, $S_1 = 45 \text{ мм}$.

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компоновання основного та допоміжного обладнання

Правильне розміщення обладнання є дуже важливим. Саме компоновання має безпосередній вплив на ключові аспекти безпечної і ефективної експлуатації промислових об'єктів.

Перш за все, слід ретельно розробити процес виробництва добрих і визначити оптимальний порядок операцій та послідовність роботи установки. Важливо розміщувати обладнання так, щоб забезпечити ефективність цих операцій.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Закритий процес дозволяє зберігати та повторно використовувати реагенти, що використовуються у виробництві, такі як аміак та сірчана кислота. Це сприяє зменшенню витрат та впливу на навколишнє середовище. Система включає в себе заходи для зменшення викидів газів і рідких стічних вод у навколишнє середовище. Застосування технологій очищення та фільтрації допомагає забезпечити додержання стандартів екологічної безпеки.

Введення систем моніторингу для вимірювання та контролю основних параметрів процесу, таких як температура, тиск, концентрація реагентів і продуктів, допомагає підтримувати ефективність і безпеку процесу. Методи обробки та використання відходів дозволяють зменшити відходи та оптимізувати їх вторинне використання або видалення.

Закритий варіант компоновання може включати заходи для оптимізації енергоспоживання та зменшення витрат енергії у виробництві. Ці заходи спрямовані на створення більш екологічно чистого та ефективного процесу виробництва сульфату амонію.

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання [21, 22]

Проведення будівельних робіт та споруд доручається спеціалізованій будівельній організації, яка виступає в ролі головного підрядника. Ця організація співпрацює з різними спеціалізованими підрядниками для виконання різноманітних завдань, таких як монтаж, сантехніка, електротехніка, теплоізоляція та інші види робіт.

Для організації та виконання монтажних робіт, розробляється проект проведення робіт (ППР), який включає в себе наступні складові:

- Відомості про обсяги монтажних робіт та фінансові розрахунки, пов'язані з трудовими витратами.
- Обсяги виготовлення металоконструкцій і трубопроводів, а також витрати на їх виготовлення та монтаж.
- Технічні рішення, що стосуються монтажу обладнання та використання вантажопідйомних кранів та механізації.
- Графік проведення будівельних, монтажних та спеціальних робіт, який охоплює всі організації, що працюють на об'єкті.
- Робочі креслення металоконструкцій і трубопроводів, а також схеми та технологічні карти, що визначають послідовність монтажу.

- Перелік необхідного монтажного обладнання, механізмів, інструментів та матеріалів.

- Креслення для будівельних помостів, ліса, драбин та робочих площадок для робіт на висоті.

- Перелік заходів з техніки безпеки та охорони праці.

Для монтажу грануляційних установок киплячого шару використовують самохідні стрілові крани, які дозволяють ефективно встановлювати обладнання на фундаменті. Після розташування обладнання на фундаменті проводиться перевірка відповідності його розміщення проектним вимогам та вимірюються відхилення від проектних осей в горизонтальному та вертикальному напрямках.

Вибір конкретного методу монтажу та використання необхідних механізмів залежить від конструкції, маси та розмірів обладнання. У процесі монтажу грануляційних установок застосовуються такі методи:

Метод ковзання без відриву від землі використовується для установки вертикальних апаратів за допомогою самохідних кранів або щогл. Під час цього процесу апарат підводиться за допомогою монтажних пристроїв, які закріплені на корпусі апарату вище центру ваги. Нижню частину апарату, яка розташована на санях або візку, підтягують за допомогою трактора або лебідки, щоб підняти апарат і встановити його на фундамент.

Важливо, щоб кран, який використовується для монтажу, мав достатню вантажопідйомність, яка не менше маси самого апарату, що піднімається.

Метод повороту навколо шарніра. Шарнір розташований біля фундаменту і прикріплений до нього. Нижня частина апарату з'єднана з шарнірним пристроєм. Під час підняття за верхню частину апарат обертається на шарнірі, і коли досягає вертикального положення, основа апарату встановлюється на фундамент. Цей спосіб дозволяє піднімати апарати значно більшої маси, в порівнянні з вантажопідйомністю монтажних кранів або механізмів.

Інший метод – *метод витискання* – є варіацією методу обертання навколо шарніра. У цьому випадку штовхачі прикріплені до корпусу апарату за допомогою

шарнірів і рухаються по коліях. Під час роботи лебідки кінці штовхачів пересуваються вздовж рейок і піднімають апарат до вертикального положення. Цей метод застосовується в обмежених умовах, коли не можна використовувати вантажопідйомні крани або щогли з розтяжками.

План подачі деталей і вузлів гранулятора в монтажну зону розробляється з урахуванням часу, місця, транспортних та підйомних засобів та трудових витрат. У цьому плані вказуються час, коли деталі або вузли мають бути доставлені, місце, де вони мають бути розташовані, і використовувані транспортні та підйомні засоби. Запас деталей у монтажній зоні не повинен перевищувати 2-3 змінної потреби. Зберігання вузлів і деталей в монтажній зоні має здійснюватися так, щоб не заважати виконанню монтажних робіт. Подача деталей на місце монтажу найкраще проводити через зміни, коли вони не використовуються для монтажу.

Процес монтажу грануляторів киплячого шару включає в себе кілька важливих кроків, які спрямовані на надійне та ефективне встановлення обладнання.

Першим етапом є установка апарату на фундамент або спеціальну опорну металоконструкцію. Ця операція може виконуватися різними механізмами, такими як мостові крани, тельфери, електроталі, автокрани, щогли тощо. У випадку відсутності вказаних механізмів в монтажній зоні, можуть бути використані ручні талі, домкрати та інші прості такелажні пристрої.

Після установки апарату його піддають вивірці за допомогою нівеліра або гідростатичного рівня. Вивірка включає в себе перевірку відхилень апарата по осях, висотній відмітці та орієнтації штуцерів і патрубків щодо комунікацій.

Допустимі відхилення по осях і висоті зазвичай залежать від конкретних обставин, але, як правило, не перевищують ± 2 мм для апаратів, що розміщуються групами, і ± 5 мм для окремо розташованих апаратів.

Важливим аспектом вивірки є використання фланців горловини і штуцерів як основи для вимірювань. Це дозволяє забезпечити точність та надійність під час процедури вивірки.

Під час монтажу обладнання вельми важливо надавати особливу увагу якості та надійності фланцевих з'єднань. Установка прокладок повинна проводитися дуже обережно, і фланці повинні бути звільнені від будь-яких забруднень та корозії. Для забезпечення надійності фіксації прокладок (особливо на плоских фланцях), їх можна кріпити до фланців за допомогою ниток.

Мідні і сталеві прокладки мають бути ретельно прокалені і очищені від залишків іржі, забруднень та інших дефектів. Поверхні металевих прокладок повинні бути гладкими і без раковин, виїмок, глибоких подряпин та інших пошкоджень. Ширина металевих прокладок повинна бути на 0,1-0,2 мм менше ширини пазу.

Паронітові прокладки перед установкою слід піддавати процедурі проварювання в рослинній олії при температурі, що не перевищує 300°C, до їх розм'якшення.

Болти, які використовуються для фланцевих з'єднань, повинні бути в хорошому стані, без відламаних або пошкоджених ниток різьблення. Головки болтів не повинні мати подряпин або тріщин у місцях з'єднання з тілом болта. Затягування болтів слід виконувати рівномірно, спочатку хрестоподібно під кутом 90°, а потім послідовно за годинниковою стрілкою. Для затягування болтів рекомендується використовувати ключі з обмежувачами зусилля затяжки. Гайки болтів також рекомендується кріпити шайбами, а для апаратів, які піддаються вібраціям, можуть бути використані пружинні шайби.

Для апаратів, які працюють при тиску до 50 атмосфер і температурах до 435°C, застосовуються болти, виготовлені зі сталі марок 35 і 40, а гайки – зі сталі марок 25 і 30, відповідно до ГОСТ 1050-57.

Після завершення монтажу, апарат піддається гідравлічним випробуванням та готується до введення в експлуатацію.

Під час використання технологічного обладнання не рідко виникають ситуації, коли воно працює не так, як повинно, і може виходити з ладу. Для забезпечення нормальної роботи обладнання передбачена система технічного обслуговування і ремонтів. Ця система включає в себе два основних види ремонтів: технологічний ремонт і капітальний ремонт.

Технологічний ремонт – це вид ремонту, який виконується під час експлуатації обладнання з метою забезпечення його нормального функціонування. В рамках технологічного ремонту проводяться різноманітні дії, такі як заміна або відновлення окремих деталей та їх налаштування. Наприклад, це може включати в себе заміну сальникової набивки в вузлах запірної арматури та грануляційного апарату.

Капітальний ремонт – це більш серйозний вид ремонту, який виконується з метою відновлення ресурсу обладнання. В рамках капітального ремонту можуть замінитися або відновлюватися будь-які частини обладнання, включаючи основні, і проводиться їх налаштування.

Технічне обслуговування (ТО) – це комплекс заходів, спрямованих на забезпечення працездатності основного та допоміжного технологічного обладнання. ТО включає в себе ряд операцій, таких як запуск і зупинка обладнання, періодичний огляд та контроль за механізмами, а також виконання ремонтів для забезпечення функціональності обладнання.

Система ремонтів включає в себе кілька видів ремонтів, включаючи технологічний огляд, поточний ремонт, середній ремонт і капітальний ремонт.

Капітальний ремонт гранулятора киплячого шару є складним процесом, що включає в себе наступні кроки та дії:

- Демонтування обладнання: спочатку роз'єднують фланцеві стики, знімають трубну обв'язку, оглядове скло, кришки люків, форсунки, кришку апарату, верхню та середню секцію апарату, а також перфоровану газорозподільчу решітку.

- Підготовка та обслуговування обладнання: після демонтування важливо встановити спеціальні заглушки для запобігання небажаним речам у відкритих каналах апарату. Також проводять очищення та промивання всього обладнання та газорозподільчої решітки. Під час огляду можуть виявити дефектні деталі, які потребують заміни.

- Заміна та ремонт деталей: дефектні або зношені деталі замінюються новими або відремонтованими. Комплектують апарат новими прокладками та іншими необхідними компонентами.

- Повторне складання обладнання: після заміни деталей та виконання необхідних робіт встановлюють перфоровану решітку, прокладки, середню частину апарату, форсунки, верхню кришку апаратів, оглядові вікна та люки.

- З'єднання та відновлення обладнання: відновлюють фланцеві стики та встановлюють трубну обв'язку для забезпечення герметичності системи.

- Випробовування та приймання в експлуатацію: обладнання піддається випробуванню, під час якого переконуються в його правильному функціонуванні та відсутності витoku рідини чи інших неполадок. Після успішного випробування обладнання готують до повторного використання.

- Документація: після завершення капітального ремонту ведуть відповідну документацію, яка включає в себе дані про проведені роботи, замінені деталі, результати випробувань та іншу інформацію, необхідну для подальшої експлуатації та обслуговування обладнання."

Цей процес допомагає забезпечити безперебійну та ефективну роботу гранулятора після капітального ремонту.

5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу

При виборі конкретних типів автоматичних пристроїв для системи управління необхідно керуватися рядом факторів, які враховують особливості об'єкта управління та обраної системи управління, чи то централізованої, чи локальної. Перш за все, важливо враховувати рівень пожежної та вибухонебезпечності, агресивність і токсичність середовища, кількість параметрів, які підлягають контролю і регулюванню, а також вимоги до якості цього контролю та регулювання.

У випадку, коли технологічні апарати і панелі управління знаходяться на великій відстані один від одного, на практиці краще використовувати електричні засоби автоматизації. Вони відрізняються меншими запізненнями і вищою точністю вимірювання, порівняно з пневматичними пристроями. Крім того, використання електронних засобів спрощує впровадження обчислювальних машин.

Під час вибору конкретних типів автоматичних пристроїв, рекомендується керуватися такими засадами:

- Для контролю та регулювання однакових параметрів технологічного процесу слід використовувати однакові автоматичні пристрої, що спрощує їхнє придбання, налаштування та обслуговування.

- Завжди варто віддавати перевагу автоматичним пристроям серійного виробництва, оскільки вони зазвичай більш доступні та надійні.

- При наявності великої кількості однакових параметрів контролю, рекомендується використовувати централізовані засоби контролю та управління.

- У випадку автоматизації складних технологічних процесів рекомендується використовувати обчислювальні та керуючі машини.

- Клас точності приладів повинен відповідати технічним вимогам та потребам процесу.

- Для локального контролю рекомендується застосовувати прості та надійні прилади, такі як термометри розширення в захисних чохлах, загального призначення манометри, лічильники і ротаметри. Ці прилади ефективно працюють в умовах значних коливань температури, вологості, підвищеної вібрації та механічних впливів.

- Для автоматизації технологічних апаратів, які мають справу з агресивними середовищами, завжди слід передбачати встановлення спеціалізованих приладів.

У схемах автоматизації завжди рекомендується застосовувати принцип уніфікації, що передбачає використання однотипних технічних засобів автоматизації. Це забезпечує взаємозамінність, зручність експлуатації, налаштування та комплектацію приладів. Важливо використовувати доступні та надійні прилади, які відповідають необхідному класу точності. Усі ключові параметри технологічного процесу мають бути під постійним контролем і вимірюванням відповідними приладами, які одночасно відображають ці параметри.

5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання [23]

В хімічній промисловості велика увага приділяється комплексній автоматизації та механізації, оскільки ця галузь відома своєю складністю та вимогами до точності і надійності процесів. Однією з головних причин цієї уваги є складність і висока швидкість протікання технологічних процесів, а також їхня чутливість до порушень режиму. До цього додається шкідливість умов роботи і небезпека, пов'язана з вибуховою та пожежною небезпечністю речовин, які обробляються. Однак, завдяки механізації виробництва, можливо скоротити важку фізичну працю та збільшити продуктивність.

Давайте розглянемо основні принципи управління процесом гранулювання на прикладі апарату РКСГ (розпилююча киплячого шару сушарка-гранулятор). В цей

апарат подається розчин для грануляції та сушки, затравочний матеріал і гарячий теплоносіє (повітря) для підтримки киплячого шару та сушки гранул.

Оцінювати ефективність процесу можна за допомогою показників, таких як гранулометричний склад та якість кінцевого продукту, яка включає в себе вологість, щільність та пористість гранул. Якість гранул контролюється шляхом взяття проб та їхнього аналізу в лабораторії підприємства. Метою управління є підтримання заданої висоти киплячого шару, температурного режиму в шарі гранул, витрати розчину та тиску повітря в пневмофорсунці.

Важливо розглянути можливі впливи на об'єкт управління, які можуть бути керуючими або збурюючими. Наприклад, витрату та температуру теплоносія (повітря) можна легко стабілізувати або використовувати для внесення ефективних регулюючих впливів. Також можна використовувати витрату розчину та затравочних гранул для корекції процесу.

Зауважимо, що деякі параметри, такі як початкова температура розчину та його питома теплоємність, визначаються технологічними режимами інших процесів і не піддаються регулюванню. Також, зміни температури навколишнього середовища важко контролювати і компенсувати.

Для успішного контролю і управління процесом гранулювання важливо врахувати кілька ключових параметрів. Основними контрольованими величинами в цьому процесі є витрати, температури та тиск, а саме: витрати розчину, кінцева та початкова температури розчину, тиск повітря на пневмофорсунці, висота киплячого шару, температура теплового агента, розрідження в апараті, маса затравки та рівень в збірнику готових гранул.

Знання поточних значень цих параметрів є важливим для ефективного керування процесом на різних етапах, від пуску і наладки до повноцінної експлуатації. Наприклад, інформація про витрату розчину, теплоносія та затравки необхідна для обчислення техніко-економічних показників процесу. Витрати суспензії, затравки, теплоносія, а також температура теплового агента і розрідження в апараті

важливі для оперативного управління процесом та забезпечення його безперервності.

Зазначимо, що одним із ключових параметрів контролю є висота киплячого шару матеріалу. Зміни в цій величині впливають на інтенсивність циркуляції матеріалу та гранулометричний склад продукту. Однак важливо враховувати, що висота шару також впливає на продуктивність установки та якість гранульованого продукту. Температурний режим в шарі гранул також належить до ключових параметрів. Його дотримання визначає якість та гранулометричний склад продукту, кількість нових центрів грануляції через теплове розтріскування та інші важливі характеристики.

Отже, контроль та регулювання цих параметрів визначають успіх гранулювального процесу та якість отримуваних гранул.

Для забезпечення стабільної температури в шарі гранул в ході гранулювального процесу використовуються два основних методи. Давайте розглянемо їх докладніше:

1. Зміна витрат та (або) температури сушильного агента. Перший метод полягає у зміні температури повітря, яке подається під газорозподільчу решітку апарата. Для досягнення цієї зміни можна впливати на витрату палива в топці, що регулює температуру сушильного агента. Збільшення витрати палива призведе до збільшення температури повітря, що входить в апарат.

2. Зміна витрат затравки та розчину. Другий метод контролю температури в киплячому шарі полягає в регулюванні температури шляхом зміни вологості в апараті. Це досягається шляхом контролю над подачею розчину та затравки в апарат. Збільшення температури в шарі свідчить про зниження середнього значення вологості частинок твердого матеріалу.

Регуляція цього процесу здійснюється регуляторами, які контролюють і коригують подачу затравки і розчину в апарат. Це включає регулювання швидкості обертання шнека живильника, рівня маси затравки і кількості поданого розчину.

Підтримання постійної температури повітря на вході в апарат забезпечується за допомогою автоматичної системи регулювання, яка змінює подачу паливного газу в топку. Регулятор стану встановлює оптимальну кількість первинного повітря в топку для повного згорання газу.

Зміна витрати вторинного повітря в змішувальну камеру також впливає на температуру в шарі гранул. Задане розрідження в апараті регулюється за допомогою клапана, встановленого на лінії відпрацьованого сушильного агента.

Рівень псевдорозрідженого матеріалу в апараті вимірюється гідростатичним диференціальним манометром за перепадом тиску в апараті.

Для точного контролю над процесом грануляції в грануляторі використовуються різні методи та компоненти автоматичного регулювання. Розглянемо їх більш детально:

– Контроль вологості: кількість вологи в матеріалі обчислюється за допомогою обчислювального пристрою, який генерує вихідний сигнал для екстремального регулятора. Цей регулятор в свою чергу впливає на витрату теплового агента. Важливо врахувати обмеження, які стосуються мінімальної вологості сухого матеріалу, а також мінімальних і максимальних значень витрат сушильного агента.

– Схема автоматичного управління: система автоматичного управління гранулятором включає в себе різні компоненти для регулювання різних параметрів. Це включає в себе наступне:

- регулювання співвідношення витрати палива і первинного повітря;
- контроль температури сушильного агента на вході в гранулятор;
- моніторинг витрати сушильного агента;
- регулювання температури киплячого шару;
- вимірювання рівня киплячого шару в апараті;
- контроль розрідження в сушарці;
- регулювання відношення тиску повітря в пневмофорсунку до витрати розчину;
- відношення подачі розчину в залежності від кількості поданої затравки;

– Регулювання рівня шару та киплячого шару: забезпечення стабільного рівня шару гарантує певний час перебування матеріалу в апараті і контролює гранулометричний склад продукту. Це також мінімізує можливість винесення матеріалу з теплоносієм. До точності регулювання рівня киплячого шару пред'являють особливо високі вимоги. В якості регулюючих впливів використовують витрату зернистого матеріалу на вході та виході апарату (рис 5.1а), або витрату газу на кипіння шару (рис 5.1б).

У грануляційній установці використовуються різні засоби та прилади для контролю та регулювання різних параметрів процесу. Наприклад, для контролю витрати загального повітря та газів, що відходять, використовуються осьові напрямні апарати, які встановлюються на всмоктуванні вентилятора і димососа. Для регулювання витрати первинного повітря ефективно використовується розподільний клапан.

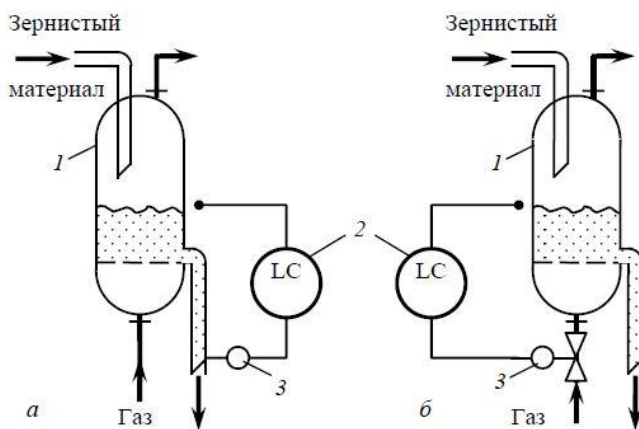


Рисунок 5.1 – Регулювання рівня киплячого шару:

а) відведенням гранульованого матеріалу; б) зміною витрати газу;

1-апарат з киплячим шаром, 2-регулятор рівня, 3-регулюючий орган.

Для точного контролю температурних параметрів в грануляційній установці використовуються низькоінерційні термопари. Термопари, які призначені для вимірювання температури в шарі матеріалу, встановлюються таким чином, щоб їхні кінці знаходилися на відстані від решітки приблизно в $1/3$ діаметра решітки і мали

невеликий нахил від 5 до 10 градусів до центру апарату. Зазвичай кінці термопар розташовуються на відстані від 100 до 150 мм від решітки. Оптимальним місцем для розміщення термопари вважається газохід, який з'єднує топку з підрешіточним простором апарату КС.

Для контролю температури газів, що виходять з грануляційної установки, встановлюється термометр опору перед циклонами. Для вимірювання перепаду тиску використовують дифманометри.

Основними параметрами, які підлягають контролю в грануляційній установці, є температура в киплячому шарі, тиск повітря, яке подається в форсунку для розпилення розчину, витрата розчину, витрата теплоносія і маса затравочного матеріалу.

Контроль температури в киплячому шарі може бути здійснений двома способами: зміною витрати розчину та затравочного матеріалу або зміною температури теплоносія. В цій роботі віддана перевага другому способу регулювання температури шару через зміну температури теплоносія. Цей спосіб визнається більш простим і надійним, оскільки для зміни температури потрібно лише передати відповідний сигнал на калорифер, який, в свою чергу, скоригує напругу на нагрівних витках і підвищить їхню температуру. Порівняно з першим способом, де потрібно регулювати декілька змінних (кількість гранул, кількість розчину), цей метод є більш простим і ефективним.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів [24]

Системи безпеки на виробництві стежать за численними аспектами, щоб гарантувати безпеку персоналу та виробничого процесу. Розглянемо деякі з найважливіших аспектів та факторів, які потрібно враховувати під час роботи обладнання:

Механічні фактори: вони включають в себе рухомі машини та механізми, такі як збірники з мішалками, приводи, вали, а також висоту та пересувні частини апаратів. Дотримання вимог безпеки під час роботи з цими компонентами є важливою складовою забезпечення безпеки на робочому місці.

Електробезпека: стосується можливості ураження струмом при доторканні до кабелю, електричних приводів та електрообладнання, що знаходиться під напруженням. Серед ризикових компонентів можна виокремити електронасоси, силові трансформатори та електродвигуни, які керують мішалками та газодувками, а також можливу небезпеку статичної електрики.

Небезпечні фактори: вони можуть включати в себе наявність отруйних або вибухонебезпечних речовин, запиленість приміщень при розгерметизації циклонів, пилозбірників та трубопроводів, а також термічну небезпеку від нагрітих поверхонь топки та гранулятора. Ці фактори вимагають особливої уваги та заходів з безпеки.

Пожежна безпека: вона стосується можливих джерел загоряння, таких як електромережі, природний газ, горючі речовини та високі температури в робочому середовищі. Ретельний контроль над цими чинниками допомагає попередити виникнення пожеж.

Хімічні фактори: включають речовини та сполуки азоту, які можуть бути присутніми у вихідній речовині. Особливий нагляд за цими речовинами важливий для уникнення небезпеки для здоров'я персоналу.

Шкідливі фактори: включає параметри мікроклімату, освітлення, шум, вібрацію та повітря в робочій зоні. Існує потенційна небезпека зараження вірусами від сировини.

Джерелами механічної небезпеки є різні компоненти обладнання, такі як електродвигуни, рухомі частини мішалок, вали газодувки та насосів. Важливо дотримуватися вимог безпеки при роботі з цим обладнанням.

На підприємствах не передбачено робочих місць технологічного обслуговуючого персоналу на висоті більше ніж 1,5 метрів над рівнем підлоги. Якщо виникає потреба в ремонтних роботах на висоті більшій за 1,5 метра, то обов'язково використовуються стаціонарні підмости, огороження та стаціонарні пояси безпеки. Робота на висоті має проводитися тільки в присутності дублера для забезпечення безпеки.

Всі переходи, робочі та обслуговуючі площадки, кришки ємностей повинні бути оснащені перилами висотою 1 метр і огорожені бортом висотою не менше 0,15 метра. Відчинені монтажні прорізи також повинні мати огороження зі зйомними перилами.

Роботи по чистці та ремонту обладнання, що приводиться в рух електродвигунами, необхідно виконувати тільки після відключення електродвигуна та вивіски попереджувального плакату «Не вмикати – працюють люди».

Для запобігання механічним небезпекам застосовуються різні засоби захисту. Наприклад, рухомі частини обладнання можуть бути огорожені суцільними кожухами і металевими сітками. Горизонтальні ремінні передачі повинні бути захищені з усіх боків, а вертикальні – на висоту до 2 метрів.

У виробництві часто використовується обладнання, яке працює під тиском, і для забезпечення безпеки важливо дотримуватися вимог «ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Забороняється експлуатація обладнання під тиском без необхідних клейм та вказівок щодо строків опосвідчення. Для безпеки експлуатації систем під підвище-

ним тиском застосовуються запірна арматура, прилади контролю і запобіжні пристрої.

Забезпечення механічної безпеки є надзвичайно важливою складовою безпечного виробничого середовища і вимагає постійного дотримання вимог і процедур безпеки на виробництві.

Основними заходами захисту від впливу електричного струму є:

- Усунення небезпеки ураження при пробі: використання захисного заземлення, занулення та захисного відключення.
- Забезпечення недоступності струмоведучих частин: захист від переходу високої напруги в мережу низької напруги та захисне розділення мереж.
- Застосування електрозахисних засобів: персонал повинен використовувати відповідні електрозахисні засоби під час експлуатації установок.
- Організація безпечної експлуатації електроустановок: важливо дотримуватися правил безпеки при роботі з електрообладнанням.

Захисне заземлення – це процес навмисного електричного з'єднання металевих неструмоведучих частин обладнання з землею, що запобігає небезпеці в разі надмірної напруги.

Електродвигуни насосів, компресорів та газодувок живляться від електромережі з напругою 380 В та частотою струму 50 Гц. Вимоги до електрообладнання, пристосувань, монтажу та експлуатації повинні відповідати «Правилам техніки безпеки при експлуатації електрообладнання споживачів» і «Правилам захисту від статичного струму у виробництвах хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості». Періодична перевірка надійності заземлення має здійснюватися електролабораторією.

Для забезпечення ефективного контролю над умовами праці і запобігання впливу шкідливих чинників, таких як хімічні речовини і мікроклімат, необхідно дотримуватися ряду нормативних документів і вимог.

Контроль за концентрацією шкідливих хімічних речовин в повітрі робочої зони виробничого приміщення є однією з головних запорукою здоров'я працівників.

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88, концентрація аміаку не повинна перевищувати 20 мг/м³. Періодичність контролю цих параметрів регламентована ГОСТ 12.1005-88. Також цей стандарт визначає методи і способи вимірювання концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

Щодо мікроклімату, вимоги до нього залежать від характеру робочого процесу і умов праці. Оптимальні параметри мікроклімату включають температуру повітря, відносну вологість повітря і швидкість руху повітря. Вони визначені в нормативах МОЗ України і забезпечують комфортні умови для працівників. Наприклад, у виробничих приміщеннях оптимальна температура повітря зазвичай знаходиться в діапазоні 22-24°C, відносна вологість 60-40%, а швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,1 м/с.

Важливо відзначити, що оптимальні і допустимі параметри мікроклімату можуть різнитися для різних видів робіт і робочих зон. Наприклад, для робіт, пов'язаних із нервово-емоційним напруженням, які виконуються в кабінах, на пультах керування, встановлення оптимальної температури, вологості і швидкості руху повітря є особливо важливим.

Поширення оптимальних норм мікроклімату для різних робочих зон і робочих місць регулюється галузевими документами, які узгоджені з органами санітарного нагляду. Визначення категорії робіт за важкістю та оптимальних метеорологічних умов для робочої зони приміщення подано в додатку до відповідних нормативних документів, які регулюють сферу охорони праці.

Важливо зазначити, що фактичні параметри мікроклімату в робочих приміщеннях повинні відповідати вимогам «ДНАОП 0.03-3.15-86 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень N 4088-86». Забезпечення здорових умов праці включає в себе не лише відповідність нормативам, але і систематичний контроль та підтримання параметрів мікроклімату на відповідному рівні.

Контроль за температурними коливаннями в робочій зоні є важливим аспектом забезпечення комфорту та безпеки працівників. Згідно з вимогами, температурні коливання повітря в залежності від важкості робіт повинні відповідати наступним

нормам: до 4°C для легких робіт, до 5°C для середньої тяжкості робіт і до 6°C для важких робіт. При цьому абсолютні значення температури повітря мають залишатися в межах допустимих величин, які визначені в таблиці 5.

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного устаткування також регулюється для забезпечення безпеки. Вимоги до інтенсивності опромінення залежать від відсотка опромінюваної поверхні тіла працівника. Для більшості випадків, інтенсивність теплового опромінення не повинна перевищувати 35 Вт/м² для 50% поверхні тіла і більше, 70 Вт/м² для величини опромінюваної поверхні від 25% до 50%, і 100 Вт/м² для опромінювання не більше 25% поверхні тіла.

Процеси виробництва та зберігання гранульованого сульфату амонію вимагають належного обладнання і управління умовами приміщень. Виробничі приміщення повинні бути оснащені системами обігріву, вентиляції та кондиціонування, відповідно до СНіП 2.04.05-91 і ГОСТ 12.4.021–75. Забезпечення санітарно-гігієнічного контролю систем вентиляції та промислових приміщень покладається на вентиляційні служби або санітарні лабораторії, згідно з МУ 4425-87. Контроль повинен проводитися із заданою періодичністю, залежно від типу системи вентиляції.

Викиди забрудненого повітря в атмосферу повинні відповідати вимогам ДСП 201-97. Температура зовнішньої поверхні технологічного обладнання чи огорожувальних засобів також регулюється згідно ГОСТ 12.1.005-88. Наприклад, температура поверхні апаратів при виробництві гранульованих добрив не повинна перевищувати 45°C в місцях, де є можливість контакту з персоналом.

Застосування заходів для нормалізації мікроклімату, таких як вентиляція приміщення, кондиціонування повітря, утеплення устаткування і раціональне розміщення обладнання, є необхідним для забезпечення оптимальних умов праці. Для робіт різної категорії тяжкості діють відповідні стандарти мікроклімату, які регулюються ГОСТ 12.1.006-88 і ДСН 3.36-042-99. Для запобігання перевищенню концентрації пилу в повітрі робочих приміщень, важливо забезпечити безперерв-

ну і ефективну роботу систем проточно-витяжної вентиляції, як це вимагається СНіП 2.04.05-92.

Усі ці заходи і вимоги спрямовані на забезпечення безпеки і комфорту працівників під час їхньої професійної діяльності, а також на дотримання всіх нормативів і стандартів, що регулюють умови праці та виробничий процес.

Забезпечення належного освітлення та контроль за рівнем шуму та вібрації вирішуються через ряд обов'язкових нормативних вимог та заходів.

Освітлення виробничих приміщень має велике значення для забезпечення продуктивності працівників та їхнього комфорту. Згідно з вимогами, всі приміщення повинні мати освітленість, яка відповідає розряду та підрозряду зорових робіт, що визначені у СНіП 11-4-79. Мінімальні рівні освітленості для конкретного підприємства докладно розглянуті у таблиці 1 додатку.

Згідно з СНіП II - 4 - 89, для робіт середньої точності, до коефіцієнта природного освітлення (КПО) слід застосовувати 1,5%. У разі, коли природного освітлення недостатньо, виробничі приміщення мають бути оснащені системами штучного освітлення. Паралельно передбачено аварійне освітлення, яке активується при відключенні основного джерела освітлення для продовження робіт.

Для аварійного освітлення зазвичай використовуються лампи розжарювання, які живляться від акумуляторів. Метод визначення освітленості робочих місць, згідно ГОСТ 24940-81, включає в себе конкретні вимоги до розміщення та інтенсивності освітлення.

При виробництві гранульованих органічних добрив освітленість приміщення також регулюється згідно СНіП 11-4-79, редакція 1991 року. Для відповідності цим вимогам освітлення визначається згідно з таблицею, наведеною у відповідному додатку.

Джерелами шуму і вібрації в виробничому приміщенні є насоси, мішалки, сушарка-гранулятор киплячого шару, компресори, газодувки та пневмокласифікатори. Згідно ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ, ДСН 3.36-042-99 та ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ,

рівні шуму та вібрації на робочому місці оператора відповідають допустимим нормам.

Для зменшення рівня шуму та вібрації можуть бути впроваджені наступні заходи:

- поліпшення умов експлуатації робочого обладнання;
- виконання робіт з зменшення биття обертових вузлів і механізмів;
- застосування демпфуючих матеріалів, таких як гума і пінополістирол;
- використання звукоізоляції та віброізоляції обладнання;
- застосування звукопоглинаючого облицювання виробничих приміщень;

Для обслуговуючого персоналу рекомендується використовувати протишумові навушники класу «А» за ГОСТ 12.4.051-87. Вимоги до рівня вібрації на робочих місцях також регулюються згідно ГОСТ 12.1.012-90.

За загальними стандартами безпеки та пожежної небезпеки, виробниче приміщення належить до категорії Д пожежонебезпечних приміщень за класифікацією, встановленою ОНТП - 24 - 86. Сировина, та продукти які використовуються, пожежонебезпечних особливостей не мають.

Під час виробництва використовується спеціальна топка, призначена для нагрівання матеріалів, і як паливо використовується газ, а саме природний газ або метан. Для запобігання виникненню вибухів та пожеж, відповідно до вимог ГОСТ 12.004-91, необхідно вживати заходів для виключення можливості створення вибухонебезпечних середовищ та джерел ініціювання вибуху. Це означає, що потрібно уникати наявності відкритого вогню, горючих матеріалів, електричних розрядів, іскор від ударів тощо в приміщенні.

Забезпечення пожежної безпеки у таких умовах передбачає використання системи пожежного захисту та системи попередження пожежі. Ці системи призначені для виявлення, локалізації і загашення пожежі в найранніші стадії її розвитку.

У якості першочергових засобів пожежогасіння можуть бути використані ручні вогнегасники, такі як ОУ-2 та ОУ-5, які підібрані залежно від площі приміщення.

Це надійний спосіб негайного реагування на пожежу та локалізації її початкового джерела.

Загалом, усі ці заходи та обладнання призначені для забезпечення безпеки персоналу і уникнення пожежі в пожежонебезпечних умовах виробничого приміщення.

Проведення ремонтних робіт у місцях, де існує потенційна небезпека виникнення пожежі чи вибуху, є процедурою, яка передбачає дотримання суворих норм та вимог щодо безпеки. Ця процедура регулюється наступним чином:

- Наряд-допуск: перед початком ремонтних робіт, задля безпеки, необхідно скласти наряд-допуск на газонебезпечні роботи. Цей документ складає начальник цеху та він має відповідати встановленій «Інструкції по організації та проведенню робіт в газонебезпечних місцях на підприємствах хімічної промисловості».

- Вогневі роботи: якщо ремонтні роботи включають вогневі роботи, то вони повинні виконуватися з дотриманням всіх вимог «Інструкції по організації безпечного проведення вогневих робіт в цехах та на території підприємства».

- Контроль за повітряним середовищем: під час виконання вогневих і газонебезпечних робіт, необхідно постійно контролювати стан повітряного середовища в приміщеннях та закритих апаратах. Це важливо для запобігання виникненню вибухів та інших аварійних ситуацій.

- Ремонтні роботи: ремонтні роботи повинні здійснюватися відповідно до інструкції «Про порядок безпечного проведення ремонтних робіт на підприємстві». Це передбачає впровадження заходів безпеки, які мають на меті запобігання пожежам і вибухам.

- Зберігання горючих матеріалів: необхідно дотримуватись вимог щодо зберігання та використання горючих та легкогорючих матеріалів. Забороняється зберігати горючі речовини, промаслене ганчір'я або ГСМ, поблизу джерел горіння.

- Засоби пожежогасіння: перед роботою слід перевірити доступність та працездатність засобів пожежогасіння, таких як вогнегасники типу ОУ-2 та ОУ-5. Кількість вогнегасників має бути розрахована залежно від площі приміщення.

- Медична безпека: на фіксованих місцях цеху обладнуються аптечки першої медичної допомоги, оснащені перев'язочними, нейтралізуючими та протиопіковими засобами. Це допомагає забезпечити негайну допомогу в разі травм.

- Спецодяг і засоби захисту: обслуговуючий персонал повинен мати спецодяг та індивідуальні засоби захисту відповідно до типових норм.

Кожен працівник повинен бути обізнаним про методи та дії, необхідні для надання невідкладної допомоги потерпілому відповідно до характеру надзвичайної ситуації, яка може виникнути в робочому середовищі. Ось деякі поради щодо надання допомоги в різних ситуаціях:

А) При контакті з кислотою або кислими розчинами, якщо ця речовина потрапила на тіло або в очі, негайно слід промити пошкоджену область чистою водою та відразу звернутися до медичного працівника для надання необхідної медичної допомоги.

Б) При опіках незалежно від їх ступеня важкості, на вражену ділянку слід накласти стерильну пов'язку, не торкаючись опіків, і відразу звернутися до лікаря для надання лікарської допомоги.

В) У разі закритого перелому кісток кінцівок необхідно накласти шину або інший доступний матеріал (наприклад, дошку або планку) до пошкодженої кінцівки та якнайшвидше викликати швидку допомогу для подальшого лікування.

Г) Якщо працівник отримав удар електричним струмом, перш за все, потрібно забезпечити безпеку та вимкнути джерело струму. Потім слід надавати допомогу відповідно до «Інструкції по наданню першої допомоги при враженні електричним струмом».

Д) У випадку отруєння або задушення природним газом, потерпілого слід негайно вивести на свіже повітря, розстебнути одяг, дати понюхати нашатирний спирт та якнайшвидше викликати медичну допомогу. Якщо ситуація вимагає, необхідно також звернутися до лікаря.

Знання та уміння надавати першу допомогу може врятувати життя та запобігти серйозним ушкодженням в небезпечних ситуаціях на робочому місці.

6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора

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

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

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

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

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

Відповідно до вимог ПУЕ визначаємо допустиме опір розтікання струму в заземленні R_3 . Для мереж з напругою до 1000 В можна взяти $R_3 = 40 \text{ Ом}$.

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

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів $K_{\text{П.Т.}}$ і для сполучної смуги $K_{\text{П.С.}}$, які враховують зміну опору ґрунту в різні пори

року залежно від наявності опадів. $K_{п.т.} = 1,4...1,6$, $K_{п.с.} = 2,5...4$. Приймаємо $K_{п.т.} = 1,5$, $K_{п.с.} = 3$.

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

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

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

$$\rho_{розр.т.} = \rho_{табл.} \cdot K_{п.т.}, \quad (6.1)$$

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

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

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

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

$$\rho_{\text{розр.п.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_{\text{п.с.}}, \quad (6.2)$$

$$\rho_{\text{розр.п.}} = 2000 \cdot 3 = 6000 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Опір розтікання струму для вертикального заземлювача може бути розрахований з урахуванням кількох факторів, таких як геометричні параметри заземлювача та властивості ґрунту. Для одиночного вертикального заземлювача, розташованого нижче поверхні землі, можна використовувати спрощені формули. Один з підходів до розрахунку опору розтікання струму для вертикального

заземлювача полягає у використанні рівнянь, що базуються на геометричних та електрофізичних властивостях системи.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$n_{\text{Т.Е.}} = \frac{R_T}{R_3 \cdot \eta_{\text{Е.Т.}}}, \quad (6.7)$$

$$n_{\text{Т.Е.}} = \frac{11,13}{4 \cdot 0,78} = 3,57 \approx 4.$$

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

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

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

Для визначення довжини сполучної смуги можна скористатися наступною формулою:

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

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

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

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

де $h_3 = 80 \text{ см}$ – глибина закладення вертикальних заземлювачів;

$b_C = 5 \text{ см}$ – ширина сполучної смуги.

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

Визначаємо коефіцієнт екранування для сполучної смуги: $\eta_{\text{Е.З.С.}} = 0,77$.

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

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

де $n_{\text{Е.С.}} = 1$.

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

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

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

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

Висновок: обрана система захисного заземлення є ефективною, оскільки

$$R_{\text{РОЗР.П.Т.Е.}} = 3,57 \text{ Ом} > R_{\text{ЗАГ.РОЗР.}} = 2,88 \text{ Ом}.$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Господаренко Г.М. Основи інтегрованого застосування добрив / Г.М. Господаренко. – К. : Нічлава, 2002. – 344 с.
2. Забелешинский Ю.А. Эффективность производства и применения минеральных удобрений / Ю.А. Забелешинский, Н.С. Корогодов, Э.И. Цыпина. – М. : Химия, 1980. – 272 с.
3. Казакова Е.А. Гранулирование и охлаждение азотсодержащих удобрений / Е.А. Казакова. – М.: Химия, 1980. – 288 с.
4. Кочетков В.Н. Гранулирование минеральных удобрений / В.Н. Кочетков. – М. : Химия, 1975. – 224 с.
5. Агрохімічне обслуговування сільськогосподарських формувань / В.І. Лопушняк, І.О. Корчинський, М.М. Вислободська [та ін.] – Львів: Новий Світ-2000, 2009. – 288 с.
6. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / М.В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 429 с.
7. Романков П.Г. Сушка во взвешенном состоянии / П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская. – Изд. 2-е, пер. – Л. : Химия, 1968. – 204 с.
8. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студ. денної, заочної та дистанційної форм навчання / В.І. Склабінський, Я.Е. Михайловський, Р.О. Острога, М.С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
9. Классен П.В. Основы техники гранулирования / П.В. Классен, И.Г. Гришаев. – М. : Химия, 1982. – 272 с.
10. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. – М. : Химия, 1984. – 320 с.
11. Буевич Ю.А. Струйное псевдоожигение / Ю.А. Буевич, Г.А. Минаев. – М. : Энергия, 1984. – 133 с.

12. Классен П.В. Основные процессы технологии минеральных удобрений / П.В. Классен, И.Г. Гришаев. – М. : Химия, 1990. – 304 с.
13. Соколовский А.А. Обезвоживание и грануляция растворов и суспензий в аппаратах кипящего слоя / А.А. Соколовский, Н.М. Плотникова, А.С. Безруков. – Под ред. Б.С. Сажина // ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. Серия: Техника сушки во взвешенном слое. Вып. 1. – М., 1965. – 64 с.
14. Овчинников Л.Н. Интенсификация тепловых и массообменных процессов в гетерофазных средах : монография / Под ред. А.Г. Липина; Иван. гос. хим. технол. ун.-т. Иваново, 2009. – 164 с.
15. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В.В. Кафаров, М.Б. Глебов. – М. : Высш. шк., 1991. – 400 с.
16. Одинцов А.В. Расчет гранулометрического состава продукта при нанесении гетерофазной оболочки / А.В. Одинцов, А.Г. Липин, А.С. Кувшинова // Сб. трудов XXII международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-22». – Псков, 2009. – Т. 9, секция 10. – С. 147–148.
17. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М. : Химия, 1971. – 784 с.
18. Врагов А.П. Массообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : Навчальний посібник. – Суми : Вид-во СумДУ, 2007. – 256 с.
19. Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с.
20. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

21. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.
22. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
23. Голубятников В. А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / В. А. Голубятников, В. В. Шувалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1985. – 352 с.
24. Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.