

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Відділення очищення газу від сірководню
установки отримання гранульованого амофосу. Розробити
та модернізувати насадковий абсорбер

Виконав:
студент групи ХМ.м-21/2

Лиховид Віталій Олександрович

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	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	5
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	15
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	15
2.2 Теоретичні основи процесу	18
2.3 Опис конструкції проектованого апарата	21
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата	24
2.5 Гідравлічні розрахунки	36
2.6 Вибір допоміжного обладнання	37
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	43
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	43
3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність	46
РОЗДІЛ 4. БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	53
4.1 Обґрунтування компоновання основного та допоміжного обладнання	53
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт насадкового абсорбера	57
РОЗДІЛ 5. АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	61
5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу	61
5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання	63
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	66
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва	66
6.2 Розрахунок потенційно небезпечного фактора	70
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	74
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Сірководень (H_2S) – це хімічна сполука, яка складається з двох атомів водню і атома сірки. У незначних концентраціях сірководень може мати певні корисні властивості. Наприклад, він використовується у лікувальних ваннах і в мікроскопічних кількостях може мати благотворний вплив на організм людини. Однак, висока концентрація сірководню може бути небезпечною. Адже по суті, H_2S є отруйною газовою речовиною, і при вдиханні людиною високих концентрацій цього газу може виникнути серйозна загроза для здоров'я і навіть життя. Неконтрольовані викиди сірководню в атмосферу можуть призвести до серйозних наслідків для навколишнього середовища і здоров'я людей. Тому важливо контролювати і обмежувати викиди сірководню у навколишнє середовище і дотримуватися відповідних безпеки на робочому місці та виробництві, щоб уникнути негативних наслідків для екології планети [1].

У значній кількості сірководень утворюється у виробничих процесах, зокрема, на гідрометалургійних фабриках, підприємствах органічного синтезу, аграрних та хімічних заводах. У біогазовій промисловості також існує проблема очищення біогазу від сірководню і вуглекислого газу. Сірководень може утворюватися під час біологічного розкладу органічних речовин у біогазі, і його наявність може призвести до проблем у використанні біогазу як джерела енергії. Тому важливо розробляти і впроваджувати методи очищення газових сумішей від H_2S , які дозволяють забезпечити ефективну і безпечну роботу промислових підприємств [2].

Сірководень і сірчана кислота, яка може утворюватися під час окислення сірководню, мають руйнівний вплив на технічні комунікації та інфраструктуру. Це особливо важливо на промислових об'єктах, де присутні великі концентрації сірководню. Сірководень може спричинити корозію металевих трубопроводів, резервуарів, компресорів та іншого технологічного обладнання, яке не захищене від його впливу. Ця корозія може призвести до зниження життєвого циклу устаткування і підвищення витрат на ремонт та заміну [1, 2].

Крім того, сірководень, який викидається в атмосферу і окислюється у сірчану кислоту, може призвести до утворення кислотних дощів. Ці дощі мають негативний вплив на навколишнє середовище, ґрунт, водні ресурси і рослинність. Сірчана кислота може спричинити забруднення водних джерел та негативно вплинути на екосистеми. Тому контроль над викидами сірководню та іншими сірчистими сполуками, а також використання антикорозійного захисту і методів очищення газів є важливими завданнями для підприємств і організацій з метою забезпечення як технічної безпеки, так і охорони довкілля [1, 2].

Використання води як абсорбенту для видалення сірководню з газового потоку є одним із простих та ефективних методів очищення газів. Цей процес відомий як водяна абсорбція сірководню. У цьому процесі сірководень розчиняється у воді, утворюючи сірководень у водному розчині. Важливо контролювати температуру та тиск в колоні, щоб забезпечити ефективну абсорбцію. Зазвичай, вибирають низькі температури, оскільки при підвищеній температурі сірководень гірше розчиняється у воді. Також, може бути важливим регульований рівень рН водного розчину, щоб підтримувати оптимальні умови для абсорбції. Загалом, дану магістерську кваліфікаційну роботу виконано у відповідності до методичних вказівок [3] із представленням усіх нормативних розділів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Аналіз методів очищення газів від сірководню [1, 2]

На початку проведемо аналіз відомих методів очищення газів від сірководню за джерелами [1, 2]. Існує багато різних таких методів і їх вибір залежить від конкретних завдань та обставин. Деякі з цих методів спрямовані на видалення сірководню в конкретних лабораторних умовах або в обмежених виробничих процесах. Інші методи знаходять застосування у широкому комбінованому очищенні газоповітряних середовищ від кислих сполук, включаючи сірководень.

Перший метод – це окиснення. Сірководень може бути окислений у сірчану кислоту або інші більш безпечні сполуки, використовуючи окислювачі, такі як кисень або перекис водню.

Другий метод – абсорбція. Сірководень може бути поглинутий водяним розчином або розчином амінів, утворюючи сірко-водневі сполуки, які легко відокремлюються.

Третій метод – адсорбція. Використовуються адсорбенти, які здатні поглинати сірководень з газової фази.

Четвертий метод – каталітичне розкладання. Сірководень може бути розкладений каталізаторами на менш токсичні сполуки.

П'ятий метод – мембранне очищення. Використовуються мембрани, що пропускають лише певні гази і дозволяють видаляти сірководень.

Зазначені методи можуть застосовуватися індивідуально або у поєднанні для досягнення бажаного ступеня очищення газових потоків від сірководню. Вибір методу, зазвичай, залежить від конкретних умов і вимог процесу очищення.

На практиці ж, вилучення сірководню з газових потоків дійсно може здійснюватися за допомогою фізичних та хімічних методів:

- фізичні методи: абсорбція водою; абсорбція іншими розчинниками (метанол, мінеральні олії);

- хімічні методи: хемосорбція – коли використовуються хімічні агенти або сорбенти для зв'язування сірководню та його видалення з газового потоку. Сорбенти можуть бути залучені в процес у вигляді твердих гранул або наповнювачів, і вони зв'язують сірководень хімічним шляхом. Після зв'язування сірководню, сорбенти можуть бути регенеровані, щоб відновити їхню ефективність.

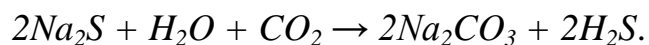
Вакуум-карбонатні методи видалення сірководню з газових потоків використовують розчини карбонату натрію або калію для поглинання сірководню з газів. Ці методи базуються на послідовному процесі абсорбції та регенерації розчину і включають наступні реакції:

Абсорбція. Газовий потік, який містить сірководень, пропускають через розчин карбонату натрію або калію. Сірководень реагує з карбонатом, утворюючи сірководень у водному розчині карбонату:



Діоксид вуглецю (CO_2) виділяється під час цієї реакції.

Регенерація. Після того як розчин насичено сірководнем, його піддають регенерації. Цей процес включає нагрівання розчину під вакуумом, що допомагає виділити сірководень:



Після регенерації розчин може бути відновлений і готовий для повторного використання в процесі абсорбції сірководню.

Вакуум-карбонатні методи є ефективними для видалення сірководню з газів і зазвичай застосовуються в промислових процесах, де необхідно високоефективне очищення газових потоків. Вони дозволяють використовувати розчин карбонату для кількох циклів, що зменшує витрати на обробку та утилізацію розчину.

Процес «Tiloks» включає кілька етапів для очищення газу від сірководню та регенерації абсорбенту. У цьому процесі сірководень видаляється з газового потоку, що виходить із абсорбера, та потім регенерується для подальшого використання.

Газ, що потребує очищення від сірководню, проходить через абсорбер, де сірководень абсорбується абсорбентом, який є розчином соди (натрій карбонату). Насичений розчин сірководню перекачують через теплообмінник, де його нагрівають до 40°C. Це може сприяти збільшенню швидкості регенерації абсорбенту.

У регенераторі вводиться стиснене повітря, яке барботує через розчин сірководню. Під дією кисню з повітря сірководень окислюється та утворюється сірка, яка виділяється разом із бульбашками повітря в сепараторі. Регенований розчин потім повертається на абсорбцію. Сірку відокремлюють на вакуум-фільтрі, що видаляє її з розчину та повертає абсорбент для повторного використання.

У процесі «Tiloks» концентрація у поглиначі, а також рН розчину, мають важливе значення для ефективності абсорбції сірководню. Збільшення концентрації від 15 до 25 г/дм³ може підвищити ступінь абсорбції сірководню, зростаючи з 81 % до 97 %. Оптимальне значення рН розчину має бути близько 7,8-7,9.

Проте, недоліками цього процесу є висока витрата соди (400-500 кг на 1 т сірки) та велика кількість домішок в абсорбенті, що ускладнює регенерацію абсорбенту. Важливо постійно вдосконалювати і оптимізувати такі процеси для зменшення витрат та покращення ефективності.

Процес «Stretford» є одним із методів очищення газів від сірководню та має ряд унікальних особливостей та переваг. Розглянемо основні етапи даного процесу. Сірководень абсорбується у лужному розчині з рН приблизно 8,5-9,5, який містить карбонат натрію. Важливо зазначити, що до цього розчину також додається еквімолекулярна кількість ванадату натрію-амонію та антрахінон-дисульфонату (АДА). Додавання натрій-калієвої солі винної кислоти запобігає випаданню ванадату в осаді.

Відновлення сульфідів – у цьому процесі сульфіди, утворені під час абсорбції, відновлюються до елементарної сірки. Цей етап є важливим для регенерації абсорбенту. Ванадат натрію-амонію може бути відновлений та повторно використаний завдяки процесу рекуперації з використанням АДА (антрахіон-дисульфонату). Останнім етапом є окиснення АДА киснем повітря для подальшого використання в процесі абсорбції сірководню.

Перевагою процесу «Stretford» є можливість виключити використання токсичних арсенітів. Цей метод надає ефективний спосіб очищення газових потоків від сірководню і одночасно рекуперує корисні реагенти, такі як ванадат. Таким чином, він сприяє зменшенню витрат та зниженню впливу на навколишнє середовище.

Лужно-гідрохіноновий метод включає в себе кілька важливих етапів та хімічні реакції. Газ, що містить сірководень, проходить через абсорбер, де відбувається поглинання сірководню лужним розчином гідрохінону. Ця реакція формує сульфід натрію. Сульфід натрію згодом піддається окисненню за участю гідрохінону (окиснена форма гідрохінону). Цей процес перетворює сульфід натрію на тіосульфат натрію, що розчиняється в розчині.

Регенерація розчину включає в себе процеси виділення елементарної сірки та тіосульфату натрію. Цей процес допомагає відновити активність розчину для подальшого використання. Для підтримки оптимальних рівнів рН розчину та активності, у процесі додають свіжі розчини соди, гідрохінону та 42%-го розчину гідроксиду натрію. В останньому етапі окиснення гідрохінону з використанням кисню, що міститься в газі, допомагає у відновленні гідрохінону до активної форми та у флотації виділеної сірки у вигляді піни.

Цей метод дозволяє ефективно очищати гази від сірководню і залежить від численних параметрів, таких як концентрація сірководню в газі, швидкість газового потоку, концентрація активних реагентів, рівномірність розподілу розчину та інші. Важливо пильно контролювати ці параметри для досягнення високої ефективності очищення газів.

Процес абсорбції етаноламінами полягає в поглинанні забруднювачів розчинами моноетаноламіну або триетаноламіну. Зазвичай, для цього методу використовують 15-20 % водний розчин моноетаноламіну, оскільки він має велику поглинальну здатність, високу реакційну активність та легко регенерується.

Газовий потік, що містить сірководень і оксид вуглецю (IV), проходить через абсорбер, де відбувається поглинання цих сполук аміном. На цьому етапі реакція іде зліва направо. Регенерація розчину включає в себе підвищення температури розчину до 105°C та вище. При цьому напрям реакції змінюється, і розчин втрачає лужні властивості. Це призводить до виділення сірководню та оксиду вуглецю (IV) у газову фазу.

Важливо зазначити, що процес може варіюватися залежно від умов та вибору аміну. Використання абсорбції етаноламінами дозволяє досягти високої ефективності в очищенні газових потоків від сірководню та оксиду вуглецю (IV).

І нарешті, найбільш поширений метод очищення газів від сірководню – це абсорбція водою. Схема установки для абсорбції водою включає промивання газу холодною водою під певним тиском у спеціальних вежах з насадкою, які називають скруберами. Підвищення тиску сприяє збільшенню розчинності сірководню у воді. Після цього тиск знижують, і газ, що містить сірководень, видаляється з води за допомогою десорбції.

Хоча абсорбція водою є простим та доступним методом, важливо врахувати його обмежену ефективність і необхідність подальшої обробки для видалення інших забруднювачів.

Переваги методу: доступність і дешевизна абсорбенту; простота схеми.

Недоліки: невисока поглинальна здатність; невелика селективність.

Далі розглянемо технологічні особливості процесу абсорбції. Для цього скористаємося літературою [4–7]. Другий закон термодинаміки грає важливу роль в основі законів перенесення маси та енергії в складних фізико-хімічних систе-

мах. Згідно з цим законом, всі фізико-хімічні процеси спрямовані до досягнення рівноваги, що є станом, в якому всі впливові фактори на систему збалансовані.

Рівноважні параметри – це параметри складної фізико-хімічної системи, в якій досягнуто рівноважний стан. Ці параметри включають в себе тиск, температуру, концентрації фаз, які характеризують систему в рівноважному стані.

Фізичні та термодинамічні умови рівноваги в усіх точках замкненої системи включають рівність температур, тисків та хімічних потенціалів. Це означає, що в рівноважному стані всі області системи мають однакову температуру, тиск і хімічні потенціали різних речовин у системі вирівнюються. Це дозволяє системі досягнути стану рівноваги, де немає подальших нетермодинамічних змін, і всі процеси зберігають баланс.

Число незалежних ступенів вільності системи дорівнює різниці між кількістю компонентів у системі та числом фаз плюс одиниця:

$$f = C - P + 2, \quad (1.1)$$

де f – число незалежних ступенів вільності;

C – кількість компонентів у системі;

P – кількість фаз в системі.

Отже, згідно з правилом фаз Гіббса, число незалежних ступенів вільності системи дорівнює різниці між кількістю компонентів і кількістю фаз плюс два.

Абсорбція в двофазній системі «газ – рідина» є типовим дифузійним процесом, і вона реалізується за допомогою поглинального компонента абсорбенту, який відділяється з газової фази і поглинається рідиною. У випадку простої абсорбції, де газова суміш має три компоненти (інертні гази – носії, поглинальний компонент і абсорбент), можна варіювати три незалежні параметри: температуру, тиск і концентрацію абсорбату в одній із фаз.

Проте, в більш складних сценаріях абсорбції, де газова суміш містить багато компонентів, і абсорбент може поглинати декілька компонентів, число незалеж-

них параметрів значно ускладнюється. У таких випадках потрібно враховувати багато компонентів і їх взаємодію, що робить розрахунки більш складними.

У стані рівноваги для двофазної трикомпонентної системи за умови сталості температури і загального тиску існує однозначна залежність між концентраціями компонентів в газовій і рідкій фазах. Ця залежність описується законом Генрі, який вказує, що парціальний тиск компонента газової суміші над рідиною пропорційний його мольній концентрації в рідині. Математично це можна виразити наступним чином:

$$P_i = H_i \cdot x_i, \quad (1.2)$$

де P_i – парціальний тиск компонента "i" над рідиною в газовій фазі;
 H_i – коефіцієнт Генрі для компонента "i";
 x_i – мольна концентрація компонента "i" в рідині.

Коефіцієнти Генрі визначаються експериментально для кожного компонента і при певних умовах температури і тиску. Закон Генрі важливий для розуміння рівноваги газової і рідкої фази, і він знаходить широке застосування в хімічній інженерії для опису процесів абсорбції, екстракції та інших явищ розподілу речовин між фазами.

Закон Генрі найкраще відповідає експериментальним даним в умовах невеликих тисків газу і низьких концентрацій розчиненої речовини в розчиннику. Це відбувається тому, що при низьких тисках та низьких концентраціях розчиненої речовини відсутні значні взаємодії між молекулами газу та розчинника, і газ веде себе близько до ідеального газу. У такому випадку коефіцієнт Генрі може бути адекватно описаний вказаним законом.

Проте, при збільшенні тиску газу та концентрації розчиненої речовини, можуть виникнути неідеальності у системі, такі як взаємодії між молекулами газу, хімічні реакції, зміни в структурі розчину тощо. У цих умовах, Закон Генрі може виявити обмежену точність в передбаченні поведінки системи.

Тому в окремих випадках, де тиск або концентрація великі, може бути необхідно використовувати більш складні моделі, які враховують неідеальності в системі, такі як модель Ван-дер-Ваальса або інші рівняння стану.

Закон Дальтона встановлює, що сумарний тиск газової суміші є рівним сумі парціальних тисків окремих компонентів:

$$p_A = P \cdot y_A. \quad (1.3)$$

Поєднуючи ці два закони (Генрі і Дальтона), можна отримати залежність між концентрацією розчиненої речовини в рідкій фазі та сумарним тиском газової фази:

$$y_A^* = \frac{E_A}{P} \cdot x_A = m_A \cdot x_A \text{ або } x_A^* = \frac{P}{E_A} \cdot y_A = \frac{y_A}{m_A}, \quad (1.4)$$

де m_A – коефіцієнт розподілу поглиненої речовини між газом і рідиною:

$$m_A = E_A/P. \quad (1.5)$$

У реальних абсорбційних процесах робочі концентрації розподільної речовини в фазах можуть відрізнятись від рівноважних значень. Зазвичай, робочі концентрації розподільної речовини визначаються на підставі режиму роботи конкретного апарата і можуть бути оптимізовані для досягнення певних технічних або економічних цілей.

Робоча лінія процесу – це графічне зображення залежності між робочими концентраціями в обох фазах на діаграмі рівноваги. Ця лінія відображає, як змінюються концентрації розподільної речовини при зміні умов роботи абсорбційного апарата, таких як тиск, температура, витрати рідини та газу, інші параметри.

Далі розглянемо гідродинамічні режими роботи насадкових абсорберів. Для цього скористаємося літературою [8, 9]. Для ефективної абсорбції дуже важливо, щоб рідина рівномірно розподілялася по всій поверхні насадки. Спеціальні зрошувачі допомагають досягнути цієї мети, забезпечуючи розподіл рідини на більші краплі чи струмені. Це покращує контакт між газом і рідиною, підвищуючи абсорбційну ефективність.

Гідродинаміка абсорбційної колони також має велике значення для ефективності процесу. Вона впливає на розподіл рідини, інтенсивність масообміну між фазами, опір газового потоку тощо. Виправний гідродинамічний режим забезпечує оптимальні умови для абсорбції та гарантує, що рідина рівномірно змочує насадку. Рідина, що утримується в насадці, впливає на масообмін в системі. Вона може відтікати та замінюватися новою рідиною або бути утриманою сталою кількістю. Це досліджується і регулюється для досягнення оптимальних умов абсорбції.

У насадкових колонах важливо враховувати режим руху фаз (газу і рідини), оскільки він впливає на інтенсивність масообміну та ефективність абсорбційного процесу.

Плівковий режим спостерігається при низьких швидкостях газу і малих щільностях зрошування. У цьому випадку, рідина формує тонку плівку на поверхні насадки. Кількість рідини, що утримується в насадці, майже не залежить від швидкості газу. Цей режим може бути менш інтенсивним у відношенні до масообміну.

Режим підвісання рідини відбувається в наслідок гальмування газу. Цей режим характеризується підвищенням товщини рідкої плівки на насадці та збільшенням кількості утримуваної рідини в насадці. Інтенсивність масообміну покращується, оскільки підвісання створює додаткові можливості для контакту між газом і рідиною.

Режим емульгування виникає, коли у вільному об'ємі насадки накопичується настільки багато рідини, що тягар води (або іншої рідини) не дозволяє їй ві-

льно витікати з насадки. Це призводить до створення суміші газу та рідини, яка перебуває в емульгованому стані. Такий режим роботи може бути корисним в абсорбційних процесах, оскільки він сприяє підвищенню інтенсивності масообміну шляхом створення більшого контакту між газовою і рідкою фазами. Однак важливо ретельно контролювати цей режим, оскільки надто високий рівень емульгування може призвести до небажаних наслідків, таких як забиття апарату, збільшення опору газовому потоку, або зниження ефективності процесу.

Режим винесення вказує на те, що потік газу є настільки потужним, що практично припиняє рух рідини вниз по колоні. Замість цього рідина у вигляді газорідинної емульсії рухається вгору та виноситься з апарату вгору разом із газом. Це сприяє значному винесенню рідини з колоні і може призвести до значних проблем в роботі абсорбційного обладнання. Режим винесення, як правило, небажаний і потребує управління параметрами процесу, такими як розмір насадок, швидкість газового потоку, рівновага між рідкою і газовою фазами і т. д., щоб уникнути надмірного винесення рідини. Цей режим може стати проблемою в абсорбційних процесах, оскільки він може призвести до втрати абсорбенту та зменшення ефективності процесу.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Упарювання нейтралізованої фосфатної пульпи на вакуум-випарних установках є ефективним способом для зниження вологості цієї речовини. Процес випарювання на вакуум-випарних установках полягає у видаленні води з фосфатної пульпи за допомогою вакуума.

Вакуум-випарні установки створюють умови, за яких вода переходить у газоподібний стан при нижчому тиску і нижчій температурі, що дозволяє знизити вологість фосфатної пульпи без значних тепловтрат. Процес упарювання на вакуум-випарних установках може бути керований таким чином, щоб досягти бажаного рівня вологості у виробництві амофосу. Технологічна схема установки отримання гранульованого амофосу з відділенням очищення відхідних газів від сірководню представлена на рис. 2.1.

Важливим аспектом цього процесу є технологія управління та контролю параметрів вакуум-випарних установок, включаючи тиск і температуру, які можуть бути регульовані, щоб забезпечити оптимальний процес упарювання. Також важливо враховувати енергоефективність та витрати на обслуговування цих установок для підтримання їх ефективності. У результаті використання вакуум-випарних установок можливо досягти необхідного рівня вологості фосфатної пульпи, що є важливим етапом у виробництві амофосу.

Якщо вихідна фосфорна кислота містить домішки або забруднення, які утруднюють процес упарювання, нейтралізація цієї кислоти та подальше упарювання нейтралізованої речовини аміаком може бути кращим рішенням. Нейтралізація фосфорної кислоти аміаком призводить до утворення амонієвих солей, які можуть бути менш вологоємними та легше піддаються упарюванню за вакууму. У результаті цього процесу вологість упареної пульпи зменшується, що може значно полегшити подальші етапи обробки та виробництва амофосу.

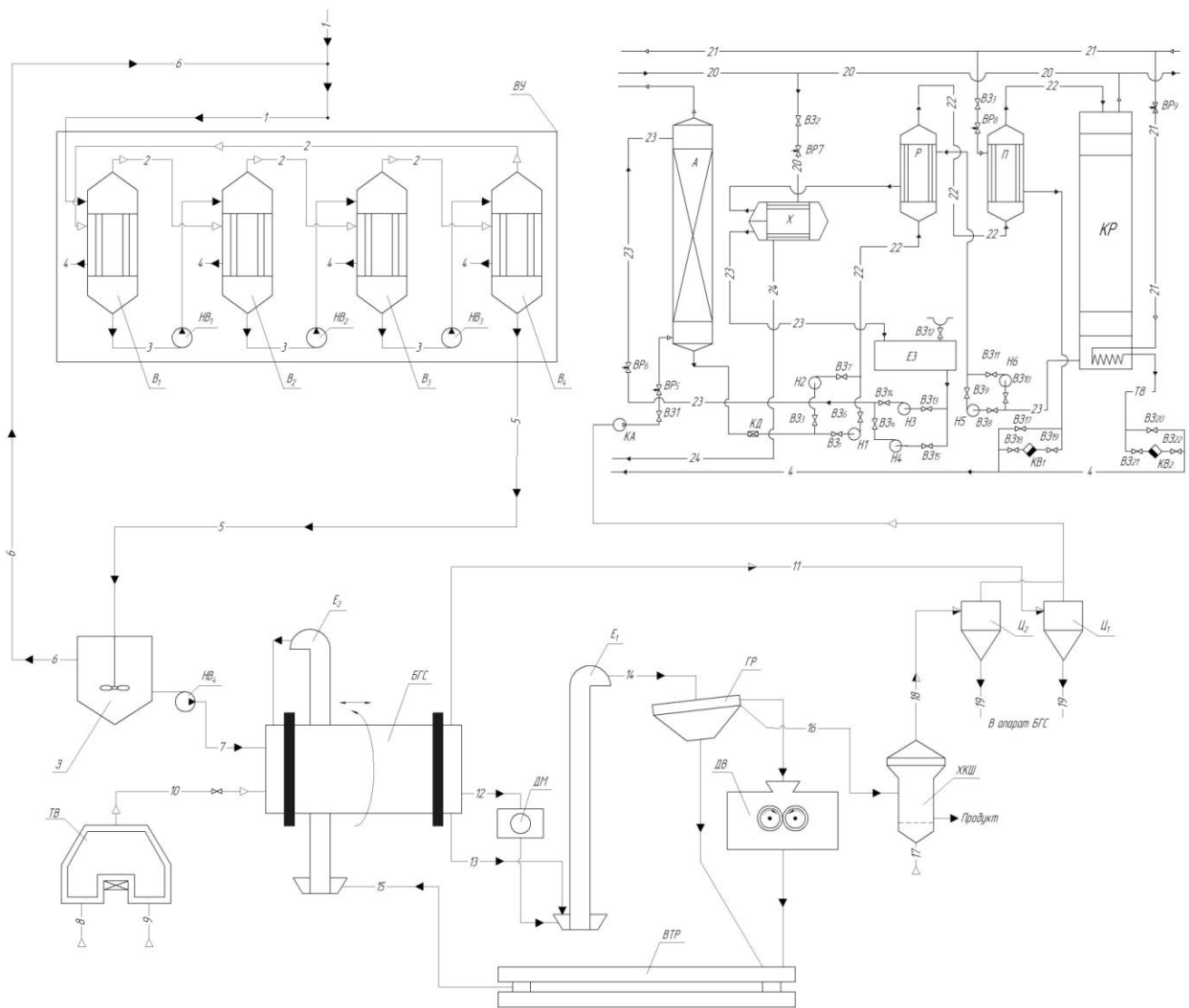


Рисунок 2.1 – Схема установки отримання гранульованого амофосу:

ВУ – випарна установка; B_{1-4} – випарний апарат; З – збірник; ТВ – топка виносна; БГС – барабанна гранулятор-сушарка; ДМ – дробарка молоткова; E_{1-2} – елеватор; ГР – грохот; ДВ – дробарка валкова; ВТР – вібротранспортер; $НВ_{1-4}$ – відцентровий насос; ХКШ – холодильник киплячого шару; $Ц_{1-2}$ – циклон; КА – компресорний агрегат; А – абсорбційна колона; Х – холодильник; КР – колона ректифікаційна (десорбер); Р – рекуператор; П – підігрівач; $Н_{1-6}$ – насос; $ВЗ_{1-22}$ – вентиль запорний; $ВР_{1-8}$ – вентиль регулюючий; КД – клапан дросельний; $КВ_{1-2}$ – конденсаторівідвідник

Загальною метою цього процесу є виробництво амофосу в гранульованій формі, які відповідають загальноприйнятим стандартам і вимогам. Принцип робо-

ти установки полягає у наступному. Вихідна фосфатна пульпа піддається упарюванню в випарних апаратах. У збірнику з упареною пульпою застосовується перемішувальний пристрій для підготовки пульпи до наступного етапу. Безпосередньо процес гранулювання відбувається в барабанній гранулятор-сушарці (БГС), де упарена пульпа розпилюється та наноситься на дрібні частинки амофосу. У цьому процесі для розпилення використовується стиснене повітря.

Топкові гази служать тепловим агентом для сушіння амофосу в БГС. Вони нагріваються і подаються до БГС для нагрівання та випаровування залишкової вологи. Дрібні частинки амофосу, які вже знаходяться в системі (наприклад, з грохоту та циклонів), також можуть використовуватися у процесі гранулювання.

Висушений згранульований амофос подається на подрібнення в молоткову дробарку. Молоткова дробарка працює за принципом ударної дії і має диск, до якого прикріплені сталеві молотки. Матеріал подається зверху, і молотки розмелюють його. Відскакуючи від молотків, матеріал вдаряється об броньові плити, де також подрібнюється. На виході з дробарки отримуємо подрібнений продукт.

Подрібнений продукт подається на розсівання за допомогою грохотів. Грохоти використовуються для відокремлення продукту на фракції за розміром. Готовий продукт розділяється на певні фракції, а відсіви виводяться окремо.

Крупна фракція, яка проходить через верхнє сито грохота, подається на валкову дробарку. Матеріал роздавлюється між валками, які обертаються назустріч один одному. Одна з поверхонь валків або обидві повинні бути рухомими для того, щоб матеріал можна було стиснути і подрібнити. Рухаючись між валками, матеріал піддається стискаючим силам, що призводять до його подрібнення.

Після розділення дрібної фракції на грохотах, ця фракція надходить на вібротранспортер. Вібротранспортер є спеціальним пристроєм, який використовує вібрацію для переміщення матеріалу. Він транспортує дрібну фракцію у робочу зону барабанної гранулятор-сушарки на додаткове укрупнення.

Установка для виробництва гранульованого амофосу обладнана дільницею для очищення топкових газів від сірководню. Відпрацьовані топкові гази вихо-

дять з барабанної гранулятор-сушарки і спочатку проходять через циклон, де відбувається механічне відділення твердих включень. Очищений від пилу газ за допомогою компресорного агрегату подається в насадковий абсорбер для подальшого очищення від сірководню. У якості абсорбенту в колоні використовується вода.

Пройшовши процес абсорбції, очищений від сірководню газ виходить через верхній штуцер абсорбера і спрямовується на подальшу переробку. Насичений абсорбент, який містить сірководень, відводиться знизу абсорбера. Цей абсорбент проходить через ресивер і підігрівач, де підігрівається гарячим регенованим розчином, який був відібраний з нижньої частини десорбера. Нижня частина десорбера обігрівається парами, які генеруються в кип'ятильнику. Регенований абсорбент, після охолодження в рекуперативному теплообміннику, надходить в проміжну ємність, звідки насосом знову подається на зрошення в насадковий абсорбер.

2.2 Теоретичні основи процесу [10]

Діаметр насадкової колони може бути визначений залежно від допустимої швидкості газу та його максимальної витрати. Існує декілька методів і рівнянь для розрахунку діаметру насадкової колони в залежності від конкретних умов і параметрів процесу. Однак, одним із загальних підходів до розрахунку діаметру колони є використання рівняння для розрахунку об'ємної витрати суцільної фази:

$$D'_k = \sqrt{\frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot w_2}} = \sqrt{\frac{V_2}{0,785 \cdot w_2}} \quad (2.1)$$

Зв'язок між щільністю зрошення, діаметром насадкового абсорбера та витратою абсорбенту є важливим для визначення ефективності абсорбційного процесу. Щільність зрошення вказує на те, наскільки ефективно абсорбент змочує насадку, і ця ефективність може бути пов'язана з діаметром колони та витратою абсорбенту.

Зазвичай, щільність зрошення визначається співвідношенням об'єму абсорбенту, що змочує насадку, до площі поверхні насадки:

$$U = \frac{L}{0,785 \cdot D_k^2 \cdot \rho_x}. \quad (2.2)$$

Якщо коефіцієнт змочуваності близький до одиниці, це свідчить про те, що насадка змочена досить ефективно. Однак, якщо значення значно менше одиниці, це вказує на недостатню змочуваність насадки, і це може обмежити ефективність абсорбційного процесу. У цьому випадку можна розглядати декілька можливих підходів для покращення змочуваності насадки і збільшення її ефективності:

1. Застосування насадки із більшою питомою поверхнею може збільшити поверхню контакту між газом і рідиною, що допоможе підвищити коефіцієнт змочуваності.
2. Покращення умов подачі рідини. Оптимізація системи подачі рідини (розподільні плити, жолоби та ін.) може допомогти зробити рівномірний та ефективний розподіл рідини по насадці.
3. Регулювання параметрів процесу, таких як температура, тиск, витрата рідини і газу, для досягнення оптимальних умов.
4. Система моніторингу та аналізу може допомогти вчасно виявляти проблеми та несправності в процесі абсорбції та вживати відповідні заходи для їх виправлення.

Визначення ефективності насадкової колони є важливим завданням в процесах абсорбції і подібних процесах. Ця ефективність залежить від багатьох факторів, включаючи параметри процесу, фізичні властивості речовин, конструкцію насадки та навіть розподіл потоків в колоні.

Висота насадки з кілець, еквівалентна одній теоретичній тарілці, розраховується за формулою:

$$h_{emm} = 5,2 \cdot d_e \cdot Re_y^{0,2} \cdot \left(\frac{G}{L}\right)^{0,35} \cdot \left(\frac{\rho_x}{\rho_y}\right)^{0,2} \cdot \frac{\lg A}{1-1/A}. \quad (2.3)$$

Повна висота насадкової колони включає не лише робочу висоту шару насадки, але і враховує ряд додаткових факторів та об'єктів, такі як сепараційні простори, пристрої для рідинорозподілу, перерозподільні тарілки, люки для обслуговування, завантаження та вивантаження насадки, та інші. Для розрахунку повної висоти насадкової колони враховуючи ці фактори, використовують формулу:

$$H_k = H + (n-1) \cdot h_n + H_g + H_n, \quad (2.4)$$

де n – кількість секцій насадки; h_n – висота проміжків між секціями насадки, в яких розміщуються перерозподільні тарілки; H_g – висота сепараційного простору над насадкою; H_n – відстань між днищем колони і насадкою.

Вибір відношення висоти насадки до діаметра колони у межах 1,5-10 є важливим параметром для правильного проектування абсорбера. Ця величина впливає на ефективність абсорбції та гідродинамічний режим процесу.

Кількість секцій насадки в колоні визначається відношенням висоти секції до діаметра колони, яке, як правило, не повинно перевищувати 2,5-3. Це дозволяє зберегти рівномірний розподіл рідини та газу по колоні, без утворення пристінкового ефекту.

Відстань між секціями насадки, необхідна для розміщення опорних і перерозподільних пристроїв, зазвичай становить 0,3-0,5 м, а висота секції – 2-3 м.

Відстань від верху насадки до кришки абсорбера може становити 2-3 м і залежить від розмірів розподільного пристрою для зрошення насадки і висоти сепараційного простору, в якому часто встановлюють краплевідбійники для запобігання бризковинесенню з колони.

Відстань від днища абсорбера до низу насадки зазвичай складає 1-1,5 діаметра колони. Висоти верхньої і нижньої частин колони також можна вибрати залежно від діаметра колони відповідно до рекомендацій.

Зазначені рекомендації та вимоги до висот та відстаней між елементами абсорбера спрямовані на підтримання ефективної роботи процесу абсорбції та забезпечення гідродинамічного режиму, який сприяє рівномірному розподілу рідини та газу для оптимального масопереносу між фазами.

2.3 Опис конструкції проектованого апарата

Насадкові абсорбери є важливими пристроями в хімічній, нафтогазовій та інших галузях промисловості. Вони використовуються для ефективного змішування та контакту двох фаз – рідини і газу (або пари), що дозволяє проводити різноманітні масообмінні процеси, такі як абсорбція, екстракція, адсорбція, дегазація та інші. При цьому поверхня контакту фаз утворюється на поверхні насадки, яка може мати різну форму і розмір.

Насадкові структури створюють велику ефективну поверхню контакту між газовою і рідкою фазами, що сприяє ефективному масообміну і забезпечує високий ступінь змішування. Даний тип абсорберів дозволяє здійснювати процеси з великою продуктивністю, оскільки забезпечує інтенсивний контакт між фазами на обмеженій поверхні.

Насадкові абсорбери можуть бути легко адаптовані для різноманітних процесів шляхом зміни їх конструкції, розміру та інших параметрів. Вони також використовуються для видалення забруднюючих речовин (у нашому випадку, для видалення сірководню) або виробництва корисних речовин з газових потоків.

Пристінковий ефект рідини в шарі насадки є негативним явищем, яке може виникнути при застосуванні нерегулярно розміщених контактних тіл, таких як кільця Рашига (**базовий варіант абсорбера**).



Рисунок 2.2 – Кільце Рашига

Це явище виникає через нерівномірний розподіл рідини в шарі насадки, і воно може суттєво погіршувати масообмін і ефективність процесу. Для подолання пристінкового ефекту рідини і поліпшення масообміну можна взяти наступні заходи:

- використання контактних тіл іншої форми або розміру може поліпшити рівномірність розподілу рідини в шарі насадки;
- використання регулярно розміщених та сортованих тіл, тобто замість нерегулярно засипаних контактних тіл можна використовувати регулярно розміщені та однакові за розміром тіла, що допомагає уникнути пристінкового ефекту;
- використання внутрішніх розподільних пристроїв, які допомагають рівномірно розподілити рідину на поверхні контакту, зменшуючи можливість накопичення рідини біля стінок насадки;
- підвищення рівня абсорбенту також допомагає зменшити пристінковий ефект і підвищити масообмін;
- збільшення потоку газу може допомогти відвести накопичену рідину від стінок насадки;

Застосування одного чи кількох з цих заходів може поліпшити масообмін в насадковій колоні та зменшити негативний вплив пристінкового ефекту рідини.

Таким чином, заміна кілець Рашига на кільця Палля (рис. 2.3) з таким самим розміром внутрішніх контактних тіл (35×35×4 мм) **в модернізованому варіанті насадкової колони** буде мати позитивний вплив на ефективність процесу масообміну.



Рисунок 2.3 – Кільце Палля

Кільця Палля, подібно до кілець Рашига, можуть бути використані для нерегулярного засипання в колоні. Проте, їх форма та структура можуть сприяти кращому розподілу рідини по всій поверхні контакту, зменшуючи ймовірність пристінкового ефекту. Сама ж насадка розбивається на два шари: верхній – 2500 мм і нижній – 2000 мм.

Також у модернізований апарат внесено певні конструктивні зміни для поліпшення роботи насадкового абсорбера (див. рис. 2.4 а). Використання тарілки ТСН-III у якості розподільного пристрою може сприяти рівномірному розподілу рідини в колоні. Ця тарілка допомагає краще контролювати подачу рідини на насадку і забезпечує більш точний розподіл рідини у всьому перерізі колоні. Використання струминних зрошувачів може допомогти підтримувати рівномірне зрошення шару насадки. Струминні зрошувачі спрямовують рідину вниз у вигляді струменів, що зменшує бризковиділення і сприяє рівномірному змочуванню контактних тіл.

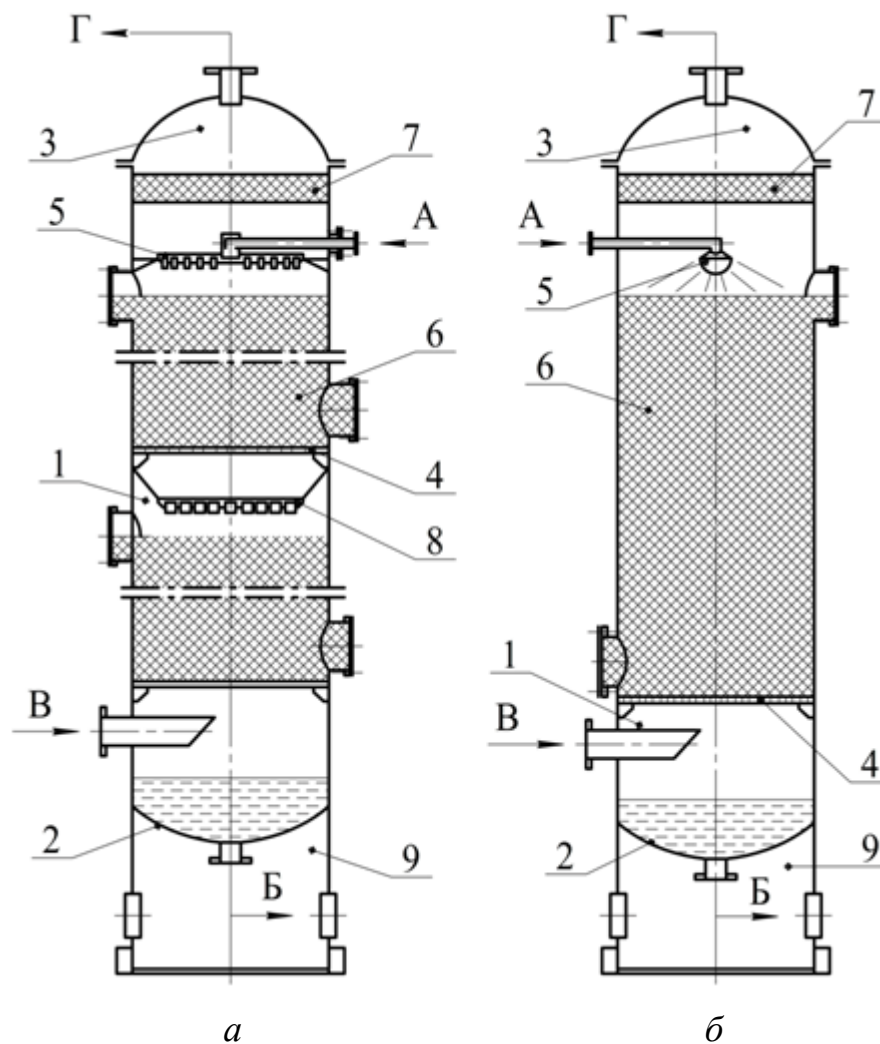


Рисунок 2.4 – Схеми насадкових абсорберів:
а – модернізований варіант; б – базовий варіант

Мінімізація бризковиділення є важливим аспектом для підвищення ефективності процесу. Бризковиділення може призводити до втрат рідини та неоднорідного зрошення.

Струминні зрошувачі та тарілка ТСН-III спрямовані на попередження цього явища. Застосування цих змін у модернізованому варіанті насадкової колони допомагає забезпечити рівномірне зрошення шару насадки та поліпшити масообмін, що гарантовано підвищить ефективність процесу очищення газу від сірководню.

Корпус абсорбера виготовлений з циліндричних царг, які з'єднані між собою за допомогою фланців. Цей корпус служить оболонкою для утримання абсорбенту та газової фази. Знизу корпуса приварене еліптичне днище, яке допомагає забезпечити герметичність абсорбера знизу та стабільність його конструкції.

Зверху корпуса розташована знімна кришка, яка закриває доступ до внутрішнього простору абсорбера. Ця кришка зазвичай закріплюється на фланцях, що дозволяє легко відкривати і закривати корпус для обслуговування та доступу до насадки.

Усередині корпуса на опорній решітці розташована насадка, складена з кілець Палля, яка служить для створення поверхні контакту між абсорбентом (у вашому випадку, водою) та газовою фазою. Для подачі абсорбенту (води) на насадку в корпусі використовується розподільний пристрій, який рівномірно розподіляє абсорбент по всій площині насадки.

Загалом, запроектований насадковий абсорбер призначений для здійснення процесу абсорбції (поглинання сірководню з газової суміші), де газова фаза контактує з абсорбентом на поверхні насадки. Конструкція абсорберів може бути адаптована для конкретних завдань та процесів у промисловості.

2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

Технологічний розрахунок проводився за методикою, що викладена в [5].

Матеріальний баланс абсорбера характеризується наступним рівнянням:

$$M = G(Y_1 - Y_2) = L(X_1 - X_2), \quad (2.5)$$

де G – кількість інертного газу, кг / с;

L – кількість поглинача, кг/с;

Y – вміст компонента в газовому середовищі, кг/кг;

X – вміст компонента в рідкій фазі, кг/кг.

Об'ємна витрата за робочих умов на вході в абсорбер:

$$V_{\text{см}} = V_0 \frac{(t + 273) \cdot P_0}{273 \cdot P}; \quad (2.6)$$

$$V_{\text{см}} = \frac{12400}{3600} \cdot \frac{(22 + 273) \cdot 0,1}{273 \cdot 1,2} = 0,31 \text{ кг/с.}$$

Густина сірководню за нормальних умов $\rho_c = 1,54 \text{ кг/м}^3$, густина повітря $\rho_A = 1,25 \text{ кг/м}^3$, густина метану $\rho_M = 0,72 \text{ кг/м}^3$, тоді густина газової суміші за нормальних умов:

$$\rho_{\text{см}} = y_c \cdot \rho_c + y_M \cdot \rho_M + (1 - y_c - y_M) \rho_A, \quad (2.7)$$

де y_c і y_M – вміст сірководню і метану у газовій суміші, об. частки;

$$\rho_{\text{см}} = 0,028 \cdot 1,54 + 0,894 \cdot 0,72 + (1 - 0,028 - 0,894) \cdot 1,25 = 0,78 \text{ кг/м}^3.$$

Густина газової суміші за робочих умов:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\text{см}} \cdot \frac{273 \cdot P}{(t + 273) \cdot P_0}; \quad (2.8)$$

$$\rho_{\Gamma} = 0,78 \cdot \frac{273 \cdot 1,2}{(22 + 273) \cdot 0,1} = 8,66 \text{ кг/м}^3.$$

Масові та об'ємні витрати поглинаючого газу на вході в абсорбер:

$$G_{\Gamma} = V_{\text{см}} \cdot C_y ; \quad (2.9)$$

$$V_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}},$$

де C_y – вміст поглинаючого газу у вихідній газовій суміші за робочих умов.

$$G_{\Gamma} = 0,31 \cdot \frac{466}{1000} = 0,1445 \text{ кг/с};$$

$$V_{\Gamma} = \frac{0,1445}{8,66} = 16,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Абсолютна мольна (об'ємна) частка поглинаючого компонента у вихідній газовій суміші:

$$y_{\text{н}} = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\text{см}}}; \quad (2.10)$$

$$y_{\text{н}} = \frac{16,7 \cdot 10^{-3}}{0,31} = 53,87 \cdot 10^{-3}.$$

Масові витрати вихідної газової суміші та інертного носія:

$$G_{\text{см}} = V_{\text{см}} \cdot \rho_{\Gamma}; \quad (2.11)$$

$$G_{\text{ин}} = G_{\text{см}} - G_{\Gamma}; \quad (2.12)$$

$$G_{\text{см}} = 0,31 \cdot 8,66 = 2,685 \text{ кг/с};$$

$$G_{\text{ин}} = 2,685 - 0,145 = 2,54 \text{ кг/с}.$$

Відносна мольна і масова частка поглинаючого компонента у вихідній газовій суміші:

$$Y_H = \frac{y_H}{1 - y_H}; \quad (2.13)$$

$$Y_H = \frac{16,7 \cdot 10^{-3}}{1 - 16,7 \cdot 10^{-3}} = 17 \cdot 10^{-3};$$

$$\bar{Y}_H = \frac{G_r}{G_{ин}}; \quad (2.14)$$

$$\bar{Y}_H = \frac{0,145}{2,54} = 0,0571.$$

Масові витрати абсорбуючого і непоглиненого компонента у газовій суміші на виході з апарату:

$$M = \frac{G_r \cdot C_r}{100}; \quad (2.15)$$

$$M = \frac{0,145 \cdot 94}{100} = 0,1363 \text{ кг/с};$$

$$G_r' = G_r - M; \quad (2.16)$$

$$G_r' = 0,145 - 0,1363 = 0,0087 \text{ кг/с}.$$

Тиск газової суміші:

$$P = 1,2 \text{ МПа} = 9003 \text{ мм.рт.ст.}$$

Коефіцієнт Генрі для сірководню:

$$E = 0,367 \cdot 10^6 \text{ мм.рт.ст.}$$

Відносна молярна частка поглинаючого компонента в рідині:

$$X_H^* = Y_H \cdot \frac{P}{E}; \quad (2.17)$$

$$X_H^* = 17 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{9003}{0,367 \cdot 10^6} = 0,42 \cdot 10^{-5}.$$

Рівноважна відносна масова частка поглинаючого компонента в рідині на виході з апарату:

$$\overline{X}_H^* = X_H^* \cdot \frac{M_\Gamma}{M_B}, \quad (2.18)$$

де M_B – молярна маса води, кг/моль.

$$\overline{X}_H^* = 0,42 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{32}{18} = 0,75 \cdot 10^{-3}.$$

Умови протікання процесу абсорбції можна прийняти ізотермічними, тоді лінія рівноваги і робоча лінія мають вигляд прямих ліній.

Витрату рідкого поглинача визначаємо з рівняння матеріального балансу:

$$M = G_{ин} \cdot (\overline{Y}_H - \overline{Y}_B), \quad (2.19)$$

де \overline{Y}_B – відносна масова частка поглинаючого компонента в газовій суміші на виході з абсорбера:

$$\bar{Y}_B = \frac{G'_\Gamma}{G_{\text{ин}}} = \frac{0,0087}{2,54} = 0,0034;$$

$$M = 2,54 \cdot (0,0571 - 0,0034) = 0,1364 \text{ кг/с.}$$

Витрата абсорбенту:

$$L = \frac{M}{\bar{X}_H - \bar{X}_B}, \quad (2.20)$$

де \bar{X}_H – відносна масова частка поглинаючого компонента в рідині внизу колони:

$$\bar{X}_H = 0,92 \cdot \bar{X}^* = 0,92 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} = 0,69 \cdot 10^{-3};$$

$$L = \frac{0,1364}{0,69 \cdot 10^{-3} - 0} = 19,8 \text{ кг/с.}$$

Рушійна сила процесу абсорбції:

$$\Delta \bar{Y}_{\text{cp}} = \frac{\Delta \bar{Y}_H - \Delta \bar{Y}_B}{\ln \frac{\Delta \bar{Y}_H}{\Delta \bar{Y}_B}}; \quad (2.21)$$

$$\Delta \bar{Y}_H = Y_H - Y_H^* = 0,0571 - 0,0133 = 0,0438;$$

$$\Delta \bar{Y}_B = \bar{Y}_B - \bar{Y}_B^* = 0,0034 - 0 = 0,0034,$$

$$X_H = \bar{X}_H \cdot \frac{M_B}{M_\Gamma} = 0,69 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{18}{32} = 0,38 \cdot 10^{-3};$$

$$Y_H^* = X_H \cdot \frac{E}{P} = 0,38 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,367 \cdot 10^6}{10503} = 0,0133;$$

$$\bar{Y}_H^* = Y_H^* \cdot \frac{M_\Gamma}{M_B} = 0,0133 \cdot \frac{32}{18} = 0,0236.$$

Тоді:

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = \frac{0,0438 - 0,00347}{\ln \frac{0,0438}{0,0034}} = 0,0158.$$

Число одиниць переносу:

$$n_{oy} = \frac{\bar{Y}_H - \bar{Y}_B}{\Delta \bar{Y}_{cp}}; \quad (2.22)$$

$$n_{oy} = \frac{0,0571 - 0}{0,0158} = 3,6$$

Коефіцієнт дифузії сірководню у воді за температури 20°C:

$$D_{20} = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

За робочих умов:

$$D_{ж} = D_{20} [1 + 0,02 \cdot (t - 20)] = 1,6 \cdot 10^{-9} [1 + 0,02(22 - 20)] = 1,66 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Гранична швидкість газової суміші в апараті:

$$\lg\left(\frac{\omega_{\text{пр}}^2 \cdot a_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \mu_{\text{ж}}^{0,16}}{g \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_{\text{ж}}}\right) = A - B \cdot \left(\frac{L}{G_{\text{ин}}}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^{0,125}. \quad (2.23)$$

Для кілець Палля розміром $35 \times 35 \times 4$ мм [4]: питома поверхня, $a_{\text{н}} = 140 \text{ м}^2/\text{м}^3$; вільний об'єм $0,78 \text{ м}^3/\text{м}^3$; еквівалентний діаметр, $d_e = 0,022$ м; насипна щільність $530 \text{ кг}/\text{м}^3$;

Підставивши дані отримаємо (для кілець Палля: $A = -0,073$; $B = 1,75$ [4]):

$$\lg\left(\frac{\omega_{\text{пр}}^2 \cdot 140 \cdot 8,66 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^{0,16}}{9,81 \cdot 0,78^3 \cdot 1000}\right) = -0,073 - 1,75 \cdot \left(\frac{19,8}{2,54}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{8,66}{1000}\right)^{0,125}.$$

Звідки гранична швидкість газу в колоні $\omega_{\text{пр}} = 2,08 \text{ м}/\text{с}$.

Робоча швидкість газу:

$$\omega = (0,75 \dots 0,9) \cdot \omega_{\text{пр}} = 0,8 \cdot 2,08 = 1,67 \text{ м}/\text{с}.$$

Діаметр абсорбційної колони:

$$D' = \sqrt{\frac{V_{\text{см}}}{0,785 \cdot \omega'}}; \quad (2.24)$$

$$D' = \sqrt{\frac{0,31}{0,785 \cdot 1,67}} = 0,51 \text{ м}.$$

Приймаємо $D = 600$ мм, тоді швидкість газу в колоні складе:

$$\omega = \frac{V_{\text{см}}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.25)$$

$$\omega = \frac{0,31}{0,785 \cdot 0,6^2} = 1,1 \text{ м/с.}$$

Критерій Re для газової фази:

$$\text{Re}_r = \frac{4 \cdot \omega \cdot \rho_r}{a_H \cdot \mu}; \quad (2.26)$$

$$\text{Re}_r = \frac{4 \cdot 1,1 \cdot 8,66}{160 \cdot 0,0104 \cdot 10^{-3}} = 22899.$$

Дифузійний критерій Pr для газу:

$$\text{Pr}_r = \frac{\mu_{\text{см}}}{\rho_r \cdot D_r}; \quad (2.27)$$

$$\text{Pr}_r = \frac{0,0104 \cdot 10^{-3}}{8,66 \cdot 8,9 \cdot 10^{-6}} = 0,135.$$

Критерій Nu для газу:

$$\text{Nu}_r = 0,407 \cdot \text{Re}_r^{0,655} \cdot \text{Pr}_r^{0,33}; \quad (2.28)$$

$$\text{Nu}_r = 0,407 \cdot 22899^{0,655} \cdot 0,135^{0,33} = 150,6.$$

Коефіцієнт масовіддачі для газу:

$$\beta_z = \frac{\text{Nu}_z \cdot D_z}{d_e}; \quad (2.29)$$

$$\beta_r = \frac{150,6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-6}}{0,022} = 60,9 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Аналогічно визначимо значення критеріїв для рідини:

$$\delta_{\text{пр}} = \left(\frac{\mu_{\text{ж}}^2}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} \right)^{1/3}; \quad (2.30)$$

$$\delta_{\text{пр}} = \left[\frac{(1 \cdot 10^{-3})^2}{1000^2 \cdot 9,81} \right]^{1/3} = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 0,6^2 = 0,283 \text{ м}^2;$$

$$\text{Re}_{\text{ж}} = \frac{4 \cdot L}{S \cdot a_{\text{н}} \cdot \psi \cdot \mu_{\text{ж}}}; \quad (2.31)$$

$$\text{Re}_{\text{ж}} = \frac{4 \cdot 19,8}{0,283 \cdot 160 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 3498;$$

$$\text{Pr}_{\text{р}} = \frac{\mu_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} \cdot D_{\text{ж}}}; \quad (2.32)$$

$$\text{Pr}_{\text{р}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}} = 0,63;$$

$$\text{Nu}_{\text{ж}} = 0,0021 \cdot \text{Re}_{\text{ж}}^{0,75} \cdot \text{Pr}_{\text{ж}}^{0,5}; \quad (2.33)$$

$$\text{Nu}_{\text{ж}} = 0,0021 \cdot 3498^{0,75} \cdot 0,56^{0,5} = 0,72;$$

$$\beta_{\text{ж}} = \frac{\text{Nu}_{\text{ж}} \cdot D_{\text{ж}}}{\delta_{\text{пр}}}; \quad (2.34)$$

$$\beta_{\text{ж}} = \frac{0,72 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}}{0,49 \cdot 10^{-3}} = 2,35 \cdot 10^{-6} \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт масовіддачі:

$$\beta_y = \beta_r \cdot \rho_r; \quad (2.35)$$

$$\beta_y = 60,9 \cdot 10^{-3} \cdot 8,66 = 527,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\beta_x = \beta_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}}; \quad (2.36)$$

$$\beta_x = 2,35 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

Коефіцієнт масопередачі в апараті по відношенню до газової фази:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}}; \quad (2.37)$$

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{527,4 \cdot 10^{-3}} + \frac{34,9}{2,35 \cdot 10^{-3}}} = 42,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

Середній коефіцієнт розподілу:

$$m = \frac{E}{p}; \quad (2.38)$$

$$m = \frac{0,367 \cdot 10^6}{10503} = 34,9.$$

Поверхня насадки:

$$F = \frac{M}{K_y \cdot \Delta \bar{Y}_{cp}}; \quad (2.39)$$

$$F = \frac{0,1364}{42,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0158} = 204.$$

Висота шару насадки:

$$H_H = \frac{F}{0,785 \cdot D^2 \cdot a_H}; \quad (2.40)$$

$$H_H = \frac{204}{0,785 \cdot 0,6^2 \cdot 160} = 4,5 \text{ м.}$$

Загальна висота колони:

$$H_K = Z + (n-1)h_p + Z_B + Z_H, \quad (2.41)$$

де n – число шарів насадки, $n=2$: верхній шар – 2,5 м, нижній – 2,0 м;

Z – сумарна висота шару насадки, $Z=4,5$ м;

h_p – висота проміжків між секціями насадки, в яких встановлюються розподільники рідини, $h_p=0,45$ м;

Z_B – висота сепараційного простору над насадкою, $Z_B=0,52$ м;

Z_H – відстань між днищем і насадкою, $Z_H=1,03$ м.

Загальна висота абсорбційної колони:

$$H_K = 4,5 + (2-1) \cdot 0,45 + 0,52 + 1,03 = 6,5 \text{ м.}$$

2.5 Гідравлічні розрахунки

Гідравлічний розрахунок проводився за методикою, що викладена в [11].

Величину Δp знаходимо за формулою:

$$\Delta p = \Delta p_c \cdot 10^{b \cdot U}, \quad (2.42)$$

де Δp_c – гідравлічне опір сухої (незрошеної) насадки, Па;

U – щільність зрошення, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$;

b – коефіцієнт.

Для кілець Палля $b = 184$ [11].

Гідравлічний опір сухої насадки:

$$\Delta p_c = \lambda \cdot \frac{H}{d_s} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_r}{2}, \quad (2.43)$$

де λ – коефіцієнт опору насадки.

$$\lambda = \frac{16}{\text{Re}^{0,2}}; \quad (2.44)$$

$$\lambda = \frac{16}{\text{Re}^{0,2}} = \frac{16}{22899^{0,2}} = 2,15.$$

Тоді:

$$\Delta p_c = 2,15 \cdot \frac{4,5}{0,022} \cdot \frac{1,67^2 \cdot 8,66}{2} = 5311 \text{ Па.}$$

Щільність зрошення:

$$U = \frac{L}{\rho_{\text{ж}} \cdot S}; \quad (2.45)$$

$$U = \frac{19,8}{1000 \cdot 0,283} = 0,007 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с.}$$

Гідрравлічний опір зрошуваної насадки:

$$\Delta p = 5311 \cdot 10^{184 \cdot 0,007} = 10303 \text{ Па.}$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір ємності [12]. Ємнісні апарати є важливою частиною хімічних і технологічних процесів та використовуються для зберігання різних хімічних речовин у рідкому або газоподібному стані. Ємнісні апарати можуть бути циліндричними (горизонтальними або вертикальними) судинами, залежно від специфікацій та вимог конкретного процесу або зберігання.

Деякі ємнісні апарати можуть бути оснащені внутрішніми пристроями, такими як мішалки, обігрівачі, охолоджувачі, димоуловлювачі тощо, які використовуються для здійснення різних хіміко-технологічних процесів.

Основним параметром для всіх ємнісних апаратів є їх місткість. Місткість визначається величиною об'єму, який цей апарат може утримувати. Зазвичай, цей об'єм вибирається з уніфікованого ряду, що дозволяє легше встановлювати стандартизовані процеси та зберігання. У нашому випадку, ємнісний апарат використовується для зберігання продукту.

Визначимо необхідний об'єм ємності, виходячи із запасу продукту:

$$V = 1,5 \cdot V_1 \cdot 24 \cdot 3600 = 1,5 \cdot \frac{2,4}{997} \cdot 24 \cdot 3600 = 311,97 \text{ м}^3 \quad (2.46)$$

Умовний об'єм ємності:

$$V_y = \frac{V}{\phi} = \frac{311,97}{0,85} = 367,02 \text{ м}^3, \quad (2.47)$$

тут $\phi = 0,85$ – коефіцієнт заповнення ємності.

Вибираємо горизонтальну ємність з еліптичними днищем і кришкою.

Необхідна кількість ємностей:

$$m = \frac{V_y}{V_{ном}} = \frac{367,02}{200} = 1,84. \quad (2.48)$$

Приймаємо $m = 2$.

Розрахунок і вибір насосу [12]. Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводу приймемо однакову швидкість течії води, що дорівнює 2 м/с.

Тоді діаметр трубопроводу дорівнює:

$$d_{вс} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{2,4}{997}}{3,14 \cdot 2}} = 0,039 \text{ м}. \quad (2.49)$$

Приймемо, що трубопровід сталевий, корозія незначна.

Знаходимо критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{2 \cdot 0,039 \cdot 997}{0,935 \cdot 10^{-3}} = 83172,2, \quad (2.50)$$

тобто режим турбулентний.

Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,039} = 0,005. \quad (2.51)$$

Далі отримаємо:

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{0,005} = 200; \quad 560 \frac{1}{e} = 560 \cdot \frac{1}{0,005} = 112000; \quad 10 \frac{1}{e} = 10 \frac{1}{0,005} = 2000.$$

У трубопроводі має місце змішане тертя і розрахунок слід поводити за:

$$\lambda = 0,11 \left(e + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(0,005 + \frac{68}{83172,2} \right)^{0,25} = 0,03. \quad (2.52)$$

Визначимо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та нагнітальної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями);
- 2) прямоточний вентиль.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів у всмоктуючій лінії:

$$\sum \xi = \xi_1 + 2\xi_2 = 0,5 + 2 \cdot 0,79 = 2,08 \quad (2.53)$$

Втрачений напір у всмоктувальній лінії знаходимо за формулою:

$$h_{n.вс.} = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \sum \xi_{mc} \right) \cdot \frac{w^2}{2g} = \left(0,03 \cdot \frac{3}{0,4} + 2,08 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,76 \text{ м.} \quad (2.54)$$

Для нагнітальної лінії:

- 1) прямоточний вентиль;
- 2) вихід з труби.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в нагнітальній лінії:

$$\sum \xi = 2\xi_1 + \xi_2 = 2 \cdot 0,79 + 1 = 2,58$$

Втрачений напір у нагнітальній лінії:

$$h_{n.наг.} = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \sum \xi_{mc} \right) \cdot \frac{w^2}{2g} = \left(0,03 \cdot \frac{10}{0,4} + 2,58 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,67 \text{ м} \quad (2.55)$$

Загальні втрат напору:

$$h_{заг} = h_{n.вс} + h_{n.наг} = 0,76 + 0,67 = 1,43 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насоса за формулою:

$$H = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + H_r + h_{п} \quad (2.56)$$

де p_1 – тиск в апараті, з якого перекачується рідина, Па;

p_2 – тиск в апараті, куди подається рідина, Па.

$$h_{п} = 0,07 \cdot H_r = 0,07 \cdot 6,5 = 0,455 \text{ м,}$$

де H_r – геометрична висота рідини, м.

$$H = \frac{1,8 - 1,8}{997 \cdot 9,81} + 6,5 + 0,455 = 6,95 \text{ м.}$$

Відцентрові насоси є широко використовуваними в промисловості завдяки їхнім перевагам, таким як високий коефіцієнт корисної дії (ККД), компактність і зручність комбінування з електродвигунами. Вони використовуються для переміщення рідин або газів у багатьох галузях, включаючи хімічну, нафтову, газову, енергетичну, водопостачання та інші.

Деякі відцентрові насоси дозволяють регулювати продуктивність, що корисно для адаптації до змінних потреб. Правильно обслуговувані відцентрові насоси можуть пропрацювати довгий час без серйозних поломок. Вони підходять для різних робіт, від водопостачання і охолодження до обробки хімічних реагентів і нафти.

При виборі конкретного типу відцентрового насоса слід враховувати специфікації конкретного завдання, такі як об'єм і характер рідини або газу, тиск, температура і потреби щодо регулювання продуктивності. Також важливо добре підібрати потужність електродвигуна для оптимального функціонування насосної системи.

Корисну потужність насосу визначимо за формулою:

$$N_n = \rho g Q H = 997 \cdot 9,8 \cdot 0,0024 \cdot 6,95 = 0,162 \text{ кВт}, \quad (2.57)$$

де Q – подача (витрата):

$$Q = \frac{V}{997} = \frac{2,4}{997} = 0,0024 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.58)$$

Приймаючи відцентровий насос середньої продуктивності, знайдемо потужність на валу двигуна:

$$N = \frac{N_n}{\eta_n \cdot \eta_{\text{пер}}} = \frac{0,162}{0,6 \cdot 1} = 0,27 \text{ кВт}. \quad (2.59)$$

За [12] вибираємо відцентровий насос X2/25, для якого $Q=4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, $H=25 \text{ м}$ ст. води. Насос забезпечений електродвигуном АОЛ-12-2, $n=50 \text{ с}^{-1}$, потужність електродвигуна $N_H=1,1 \text{ кВт}$.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [13–15]

Використання корозійностійкої сталі аустенітного класу, такої як 12X18H10T, є розумним вибором в абсорберах, де виникають агресивні корозійні умови через взаємодію з кислотами та іншими корозійними середовищами [13, 14].

12X18H10T може працювати в значно ширшому температурному діапазоні, від -256°C до $+525^{\circ}\text{C}$ для корпусних елементів і до 600°C для внутрішніх пристроїв, що дозволяє використовувати його в різних умовах і процесах. Вона має хороші механічні властивості, що важливо для забезпечення міцності та довговічності апарату. Ця сталь також добре піддається зварюванню, що спрощує процес монтажу і обслуговування. Вона є стійкою до корозії в біологічних середовищах, що є важливим в багатьох хімічних процесах.

Хімічний склад і механічні властивості сталі 12X18H10T представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад і механічні властивості сталі 12X18H10T [15]

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	$E \cdot 10^5$, МПа	σ , МПа	σ , МПа	δ , %
0,12	2,0	0,8	17–18	2–11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	216	530	40

Хоча сталь 12X18H10T має багато переваг, такі як корозійна стійкість та висока температурна стійкість, вона також має деякі недоліки:

1. Сталь 12X18H10T може бути відносно дорогою порівняно з іншими видами сталі, особливо у порівнянні з загальними сталями, такими як нержавіюча сталь 304. Це може впливати на вартість виготовлення та обслуговування обладнання.

2. Сталь 12Х18Н10Т може бути м'якшою і менш ковзкою, ніж деякі інші види сталі. Це може призвести до певних проблем, таких як вицвітання під дією високих температур або механічні пошкодження.
3. При роботі зі сталлю 12Х18Н10Т потрібно дотримуватися певних специфічних умов зварювання та обробки, оскільки некоректне оброблення може призвести до виникнення вад і слабкостей у місцях зварювання.
4. Високотемпературна стійкість сталі 12Х18Н10Т може бути обмежена в агресивних окислюючих середовищах, що може спричинити окиснення матеріалу та погіршення його властивостей.
5. Хоча ця сталь корозійностійка, вона все ж може бути піддатливою до корозії в деяких особливих умовах, таких як висока концентрація хлоридів.

Незважаючи на ці недоліки, сталь 12Х18Н10Т залишається популярним матеріалом у багатьох галузях завдяки своїм важливим перевагам.

Вибір конструкційної сталі 20 для матеріалів зовнішнього оснащення, арматури, кріпильних елементів та інших компонентів, які не мають контакту з робочим середовищем, може бути розумним з певних причин:

1. Сталь 20 є відносно дешевою і доступною, що дозволяє знижувати вартість виробництва та проекту.
2. Ця сталь має добру оброблюваність, що полегшує обробку та виготовлення різних деталей та компонентів.
3. Сталь 20 має досить високі фізико-механічні властивості, що забезпечує необхідну міцність та довговічність для багатьох зовнішніх деталей.
4. Сталь 20 широко використовується в будівництві та інших галузях завдяки її загальній використовуваності, що робить її легко доступною.

Хімічний склад і механічні властивості сталі 20 представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад і механічні властивості сталі 20 [15]

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	$E \cdot 10^5$, МПа	σ , МПа	σ , МПа	δ , %
0,23–0,3	0,5–0,8	0,05–0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

При виборі прокладкового матеріалу для абсорбера, важливо враховувати робоче середовище, температурні умови, тиск і хімічну сумісність з реагентами, які використовуються в процесі. Розглянемо декілька можливих прокладкових матеріалів:

1. Гумові прокладки. Гумові матеріали, такі як нітриль, епідерміс або вітон, можуть бути використані для прокладок у випадках, коли робоче середовище не містить агресивних хімічних сполук і не вимагає високої температурної стійкості.
2. Пароніт (без асбесту). Існують безасбестові варіанти пароніту, які можуть бути використані для прокладок. Вони можуть бути відмінним вибором для робочих середовищ з помірною хімічною агресією та низьким тиском.
3. Фторопласт. Матеріали на основі фторопласту, такі як PTFE (політетрафторетилен), відомі своєю високою хімічною стійкістю і можуть бути використані для прокладок у хімічних процесах. Вони володіють хорошою термічною стійкістю та відмінними властивостями антипригарного ковзання.
4. Силіконові прокладки. Силіконові матеріали можуть бути використані в діапазоні температур від низьких до помірних та мають хорошу відповідність для деяких хімічних реагентів.

У нашому випадку вибираємо безасбестовий пароніт. Це модифікований пароніт, який не містить асбесту у своєму складі, але все ще має подібні характеристики і властивості до традиційного пароніту. Він створюється шляхом заміни асбесту іншими волокнами або матеріалами, які не мають канцерогенних властивостей та є менш шкідливими для здоров'я та навколишнього середовища.

3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність

Вихідні дані до розрахунку: внутрішній діаметр обичайки $D = 600$ мм; робочий тиск в апараті $p = 1,2$ МПа; матеріал колони – сталь 12X18H10T; температура в колоні $t = 22^{\circ}\text{C}$.

Розрахунок проводимо відповідно до методики, що викладена у [16].

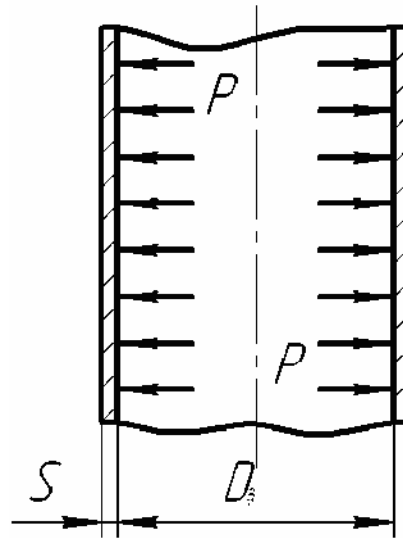


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Знаходимо величину нормативної допустимого напруження для сталі 12X18H10T при розрахунковій температурі: $\sigma^* = 202$ МПа [15].

Допустиме напруження визначаємо за рівнянням:

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

де $\eta = 1$ – поправковий коефіцієнт для листового прокату.

$$[\sigma] = 202 \cdot 1 = 202 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

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

де $\sigma_T^{20} = 280$ МПа – межа плинності сталі 12X18H10T при температурі 20°C.

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

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

$$P_p = P + P_r, \quad (3.3)$$

де $P = 1,2$ МПа – робочий тиск;

P_r – гідростатичний тиск середовища, МПа.

Гідростатичний тиск середовища визначаємо як:

$$P_r = g \cdot \rho_p \cdot H_p; \quad (3.4)$$

$$P_r = 9,81 \cdot 998 \cdot 5,5 = 0,05 \text{ МПа};$$

$$P_p = 1,2 + 0,05 = 1,25 \text{ МПа.}$$

Оскільки розрахунковий тиск більший за 0,5 МПа, то пробний тиск при гідравлічних випробуваннях визначаємо за рівнянням:

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, 0,2 \right\}, \quad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 202$ МПа – допустиме напруження сталі 12Х18Н10Т при 20°С.

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot 1,25 \cdot 202}{202} = 1,56 \right\} = 1,56 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_P^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_P} \\ \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_H - P_H} \end{array} \right\}; \quad (3.6)$$

де $\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним або напівавтоматичним зварюванням.

$$S_P^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,25 \cdot 600}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 1,25} = 1,86 \\ \frac{1,56 \cdot 600}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 1,56} = 1,84 \end{array} \right\} = 1,86 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_H \geq S_P^H + c, \quad (3.7)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.8)$$

c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії, мм;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску, мм;

c_3 – технологічна прибавка, мм.

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

$$c_1 = P \cdot \tau, \quad (3.9)$$

де $\Pi = 0,1$ мм/рік – проникність матеріалу;

$\tau = 15$ років – термін служби апарата.

$$c = c_1 = 0,1 \cdot 15 = 1,5 \text{ мм};$$

$$S_{II} = 1,86 + 1,5 = 3,36 \text{ мм.}$$

Приймаємо зі стандартного ряду $S_{II} = 4$ мм.

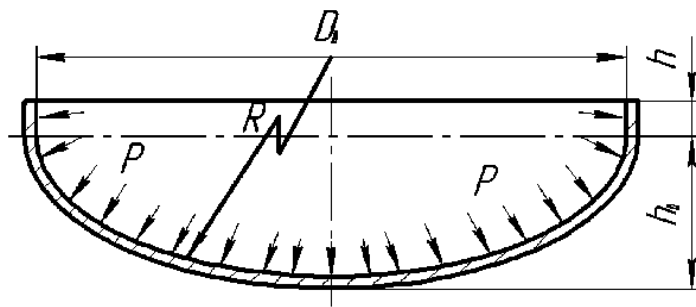


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Розрахункова товщина еліптичного днища:

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p} \\ \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \end{array} \right\}; \quad (3.10)$$

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,25 \cdot 600}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,5 \cdot 1,25} = 1,86 \\ \frac{1,56 \cdot 600}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 0,5 \cdot 1,56} = 1,84 \end{array} \right\} = 1,86 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина еліптичного днища складе:

$$S_E \geq S_P^E + c; \quad (3.11)$$

$$S_E = 1,86 + 1,5 = 3,36 \text{ мм.}$$

Так само приймаємо $S_E = 4 \text{ мм.}$

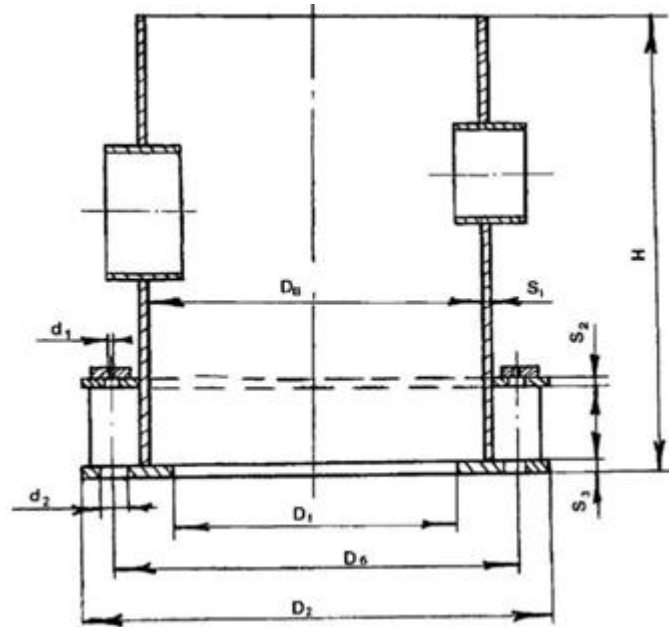


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема циліндричної опори для колонного апарата

Загальна маса насадкового абсорбера складається з маси корпусу апарата, шару насадки, тарілок, днищ:

$$M_a = 1,05 \cdot (M_k + M_n + M_m + 2 \cdot M_{\text{дн}}). \quad (3.12)$$

Масу корпусу апарата розраховуємо за рівнянням [14]:

$$M_k = H_k \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ((D + 2 \cdot S)^2 - D^2) \cdot \rho_{\text{ст}}, \quad (3.13)$$

де H_k – висота циліндричної частини корпусу колони; $H_k = 6 \text{ м;}$

D – діаметр апарата; $D = 0,6 \text{ м;}$

S – товщина стінки корпусу; $S = 0,004 \text{ м;}$

$\rho_{\text{ст}}$ – щільність сталі; $\rho_{\text{ст}} = 7800 \text{ кг/м}^3.$

$$M_k = 6 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \left((0,6 + 2 \cdot 0,004)^2 - 0,6^2 \right) \cdot 7800 = 355 \text{ кг.}$$

Маса розподільної тарілки становить 34 кг, а маса перерозподільної тарілки дорівнює 40,8 кг [13].

Масу шару насадки розраховуємо за рівнянням [16]:

$$M_n = H_n \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho_n, \quad (3.14)$$

де H_n – висота насадки; $H_n = 4,5$ м;

ρ_n – насипна щільність керамічної насадки (кільця Палля розміром $35 \times 35 \times 4$ мм);

$\rho_n = 450 \text{ кг/м}^3$.

$$M_n = 4,5 \cdot 3,14 \cdot 0,3^2 \cdot 450 = 572 \text{ кг.}$$

Маса еліптичного днища, а відповідно і кришки, становить 52 кг [12].

Таким чином, загальна маса насадкового абсорбера складе:

$$M_a = 1,05 \cdot (355 + 572 + 34 + 40,8 + 2 \cdot 52) = 1160 \text{ кг.}$$

Масу води в апараті при гідро випробуваннях можна розрахувати за залежністю [15]:

$$M_g = V_g \cdot \rho_g; \quad (3.15)$$

$$V_g = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 6 = 1,7 \text{ м}^3;$$

$$M_g = 1,7 \cdot 1000 = 1700 \text{ кг.}$$

Тоді максимальна вага апарату (в режимі гідровипробувань) складе:

$$Q_{\max} = (M_a + M_e) \cdot g; \quad (3.16)$$

$$Q_{\max} = (1160 + 1700) \cdot 9,81 = 28057 \text{ Н.}$$

Приймаємо товщину циліндричної стінки опори $S = 4$ мм.

По розрахованим навантаженням вибираємо циліндричну опору з числом болтів $Z = 6$ (М32). Висоту опори з конструктивних міркувань приймаємо рівною $H = 800$ мм (див. рис. 3.3).

РОЗДІЛ 4

БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання [17]

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.

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

Оптимізація процесу. Перш за все, слід ретельно розробити процес переробки нафти і визначити оптимальний порядок операцій та послідовність роботи установки. Це може включати в себе розділення фракцій, конденсацію, крекінг, гідроочищення і інші процеси. Важливо розміщувати обладнання так, щоб забезпечити ефективність цих операцій.

Безпека. Безпека перш за все. Установку слід компонувати так, щоб забезпечити належну вентиляцію, доступ до систем пожежогасіння, дотримання вимог щодо уникнення викидів та можливостей для рятування в разі аварійних ситуацій.

Технічний контроль. 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.

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

Економічність. Важливо враховувати економічні аспекти при компонуванні обладнання. Оптимізація розташування обладнання і систем підйому/транспортування може зменшити витрати на будівництво та експлуатацію.

Спрощення процесів. При компонуванні обладнання слід думати про спрощення процесів та мінімізацію зайвих операцій. Це може покращити продуктивність та знизити витрати.

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

Обираючи варіант розташування обладнання на відкритому майданчику, ми враховуємо ряд ключових факторів, які дозволять забезпечити оптимальні умови для газопереробного виробництва. Використання відкритого майданчика

дозволяє нам раціонально розташувати обладнання та інфраструктуру, що може сприяти значній економії при будівництві нашого підприємства. Відкритий майданчик забезпечує зручний доступ для монтажу нового обладнання та проведення ремонтних робіт. Це дозволить нам ефективно виконувати роботи з технічного обслуговування та знизити витрати на них.

Компонування на відкритому майданчику дозволяє ефективно розсіювати викиди газів та тепловиділення, що сприяє зменшенню їхнього впливу на навколишнє середовище та забезпечує дотримання екологічних норм. Відкритий майданчик дозволяє ефективно контролювати вибухи та пожежі, які можуть виникнути на виробництві, а також залишає простір для майбутнього розширення виробничих потужностей та об'єктів, що сприяє динамічному розвитку підприємства.

При обранні розташування обладнання на відкритому майданчику, важливо дотримуватися рекомендацій та керуватися технічними нормами і стандартами безпеки. Ось докладніші вказівки щодо розташування обладнання:

1. Розміщення важкого обладнання. Бажано розташовувати важке і габаритне обладнання на позначці землі, оскільки це забезпечить стійкість та надійність під час експлуатації. Важливо враховувати необхідність високопрочних опорних конструкцій.

2. Використання залізобетонних опор. Для опорних пристроїв рекомендується використовувати типові конструкції залізобетону. Вони відомі своєю міцністю та стійкістю до навантажень і погодних умов.

3. Максимізація несучої здатності стінок. Для великогабаритних апаратів можна максимально використовувати несучу здатність їхніх стінок. Це може включати встановлення етажерок, сходів і майданчиків для обслуговування. Такий підхід дозволить оптимізувати простір і полегшити доступ до обладнання.

4. Розташування на нульовій позначці щодо фундаменту. Усе обладнання слід розміщувати на нульовій позначці щодо загального (групового) фундаменту. Це спрощує процес монтажу та обслуговування.

5. Індивідуальні фундаменти для окремих об'єктів. Ємності, насоси і теплообмінне обладнання, які вимагають додаткової стійкості і стабільності, можуть бути розташовані на індивідуальних фундаментах. Це забезпечить надійну підтримку для цих об'єктів.

Також розміщення обладнання на відкритих майданчиках має враховувати ряд важливих вимог та рекомендацій з метою забезпечення безпеки, зручності обслуговування та ефективності робочих процесів:

Проходи та безпека. Передбачте наявність проходів між обладнанням, щитами і конструкціями таким чином, щоб забезпечити безпечний доступ для обслуговування обладнання, рух людей і транспорту. Мінімальна ширина проходів між найвиступнішими частинами обладнання, щитами і конструкціями повинна бути не менше 1 метра. Це сприяє запобіганню заторам і забезпечує швидкий доступ у разі аварій.

Вібрація та шум. Технологічне обладнання, яке створює вібрацію і шум на робочих місцях, рекомендується встановлювати на спеціальних фундаментах і амортизаторах. Це допомагає знизити вплив вібрації та шуму на працівників і забезпечує комфортні умови роботи.

Групування обладнання. Під час розміщення обладнання рекомендується виділяти групи апаратів, які мають спільні ознаки або призначення. Це сприяє організації робочих зон і полегшує обслуговування. Наприклад, апарати однієї технологічної лінії можуть бути розташовані поруч для зменшення витрат часу на переміщення працівників.

Враховуючи ці вимоги та рекомендації, можна створити безпечну та ефективну робочу обстановку на відкритому майданчику, що сприятиме надійній роботі обладнання та підвищить загальну продуктивність.

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт насадкового абсорбера [18, 19]

Монтаж колонних апаратів в промислових об'єктах може бути складним процесом, і встановлення апаратів на відкритому майданчику на відмітках від землі вимагає певних технічних і організаційних підходів. Важливо забезпечити надійний монтаж та безпеку на всіх етапах робіт.

Також, контрольні зборки, маркування та ризики для легшого монтажу - це дуже важливі елементи, які спрощують процес монтажу та забезпечують правильне з'єднання деталей. Важливо дотримуватися всіх стандартів та безпечних практик під час монтажу, особливо в контексті промислових споруд, де безпека і надійність грають критичну роль.

При необхідності розбирання апарата для транспортування, це також вимагає великої уваги до деталей та правильної документації для збирання на монтажному майданчику. Такий підхід спрощує роботу монтажних бригад та зменшує ризики пошкодження або помилок під час монтажу.

Проектування трубопроводів є важливим етапом в процесі створення хімічного обладнання та інженерних систем для транспортування і обробки різних речовин. Виправлення трубопроводів має бути грамотно відпрацьоване для забезпечення безпеки, ефективності та надійності експлуатації.

Під час розробки схеми трубопроводів важливо враховувати фізико-хімічні властивості речовин, які будуть транспортуватися, а також дані, отримані на етапі розрахунку апаратного оформлення процесу. Це дозволяє правильно підібрати матеріали труб, їх діаметри, тиск та температурний режим.

Залежно від призначення та характеристик перекачуваних речовин, трубопроводи поділяються на групи. Це важливо для визначення вимог до матеріалів та безпекових заходів. Зокрема, група I включає трубопроводи для небезпечних речовин, група II – для менш небезпечних, і група III – для інших речовин.

При трасуванні трубопроводів важливо враховувати низку факторів, таких як ефективність, безпека, зручність обслуговування і т. д. Пряма прокладка "від штуцера до штуцера" допускається лише у виняткових випадках, коли інші варіанти неможливі. Шлангові труби слід прокладати так, щоб вони були якнайкоротшими і не перетинали обслуговуючі майданчики апарату.

Треба враховувати технологічні особливості об'єкта і процесу. Наприклад, шланги мають бути розташовані з урахуванням можливих вібрацій та впливу токсичних речовин.

Правила трасування трубопроводів є важливими для забезпечення безпеки та ефективності експлуатації систем транспортування різних речовин:

1. Розміщення в одному пучку. Трубопроводи мають бути розташовані в одному пучку, де перетини труб мають просту форму, такі як горизонтальні або вертикальні ряди. Це дозволяє легше обслуговувати фланцеві з'єднання та інші пристрої.

2. Гарячі трубопроводи. Гарячі трубопроводи, які працюють при підвищених температурах, мають бути розміщені на відстані 3-5 діаметрів труби. Для компенсації температурних напружень на довгих гарячих трубопроводах може бути необхідно використовувати П-подібні ділянки.

3. Запобігання гідравлічним ударам. Для запобігання гідравлічним ударам на довгих трубопроводах слід передбачити можливість відведення рідини з мішків. На газопроводах також необхідно встановлювати дренажні трубки для відведення конденсату.

4. Теплоізоляція. При необхідності, трубопроводи повинні бути теплоізовані. Це допомагає підтримувати температурний режим роботи і запобігає втраті тепла.

Використання монтажних стендів і упорів для підйому та установки окремих блоків апарату є важливим елементом. Це допомагає забезпечити рівномірний підйом і уникнути пошкоджень під час монтажу. Розроблення конкретного технологічного процесу для монтажу кожного апарату є важливим. Враховуючи вагу та розміри апаратів, такі процеси повинні бути ретельно сплановані.

Монтаж апаратів на великих висотах вимагає додаткових заходів безпеки та засобів захисту. Робочі площадки, засоби захисту від падіння та інші заходи повинні бути введені для забезпечення безпеки працівників.

Синхронізація та контроль під час підйому та установки допомагають уникнути помилок та пошкоджень. Контроль розміщення та рівномірності апарату – ключовий елемент монтажу.

Ремонт насадкової колони є важливим завданням для забезпечення її безперебійної роботи та подовження її службового терміну. Відремонтована колона повинна відповідати всім технічним вимогам і стандартам, а також бути безпечною для експлуатації. Наведемо загальний перелік етапів ремонту насадкового абсорбера.

1. Підготовка до ремонту:

- закриття і блокування всіх доступів до колони;
- підготовка дозволів та інструкцій з охорони праці, техніки безпеки та газобезпеки;
- оформлення наряду на ремонт та визначення відповідальних за виконання робіт.

2. Відключення колони від процесу:

- вимкнення подачі реакційних речовин та продуктів;
- забезпечення відключення колони від системи теплообміну та інших комунікацій.

3. Приймання колони в ремонт:

- приймання колони за актом представником ремонтної організації;
- вивід колони з експлуатації та підготовка до ремонтних робіт.

4. Діагностика та оцінка стану колони:

- перевірка наявності пошкоджень, корозії та інших дефектів;
- діагностика внутрішніх пристроїв та обладнання;
- вимірювання параметрів та властивостей колони.

5. Розбірка та заміна елементів:

- розбірка колони для заміни пошкоджених або зношених деталей;
- заміна ущільнювачів, різьбових з'єднань, групових тарілок та інших елементів за потреби.

6. Очищення та відновлення поверхонь:

- прибирання корозії та забруднень з внутрішніх поверхонь колони;
- відновлення антикорозійного покриття.

7. Збирання колони та встановлення на місце у відновленому стані.

8. Проведення перевірок та випробувань для підтвердження якості та надійності ремонту.

9. Відновлення процесу – підключення колони до процесу та перевірка правильності її роботи.

Під час ремонту дефектних ділянок корпусу може знадобитися зміцнення шляхом встановлення стійок і перетинів, що підтримують міцність та стійкість конструкції. Важливо здійснювати контроль якості зварювання і ремонту, використовуючи методи, такі як магнітна або ультразвукова дефектоскопія. Це допоможе переконатися, що всі зварні шви є надійними і не мають дефектів.

Усі поверхні металу мають бути добре очищені від корозії, фарби або інших дефектів під час ремонту. Це забезпечить максимальну міцність і надійність зварних швів. Під час ремонту слід вимірювати глибину пошкодження деталей і дотримуватися встановлених норм щодо допустимої глибини пошкоджень. Важливим є використання якісних матеріалів, засобів зварювання та інструментів, щоб забезпечити найкращу якість робіт.

РОЗДІЛ 5

АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу [20]

Контрольовані параметри під час очищення газу від сірководню водою в насадковій колоні можуть включати різні фізичні, хімічні та технологічні параметри для забезпечення ефективного функціонування процесу та досягнення заданих цілей.

Точне вимірювання концентрації сірководню в вхідному газі є дуже важливим для ефективного очищення газу від сірководню і керування процесом абсорбції. Для цього використовуються різні методи і прилади.

Газові аналізатори, включаючи газові хроматографи, є одними з найточніших і найпоширеніших методів вимірювання концентрації сірководню в газовій фазі. Ці прилади розділяють компоненти газу і визначають їхню концентрацію за допомогою детекторів, таких як теплові або електронні детектори.

Електрохімічні сенсори – це електронні прилади, які реагують на наявність сірководню в газовому потоці та генерують сигнал. Вони широко використовуються в мобільних газових детекторах для моніторингу безпеки на місцях.

Фотометричні методи вимірюють поглинання світла сірководнем у видимому або ультрафіолетовому спектрі. За зміною поглинання можна визначити концентрацію сірководню.

Температура також має значний вплив на розчинність сірководню в воді під час процесу абсорбції. Зміна температури може впливати на швидкість реакції і, відповідно, ефективність очищення газу від сірководню. Зазвичай розчинність газів у рідинах збільшується зі зростанням температури. Тобто, при підвищенні температури розчинність сірководню в воді зростає, що може бути корисним для більш ефективного видалення сірководню з газової фази.

Температура ще впливає на швидкість реакцій, які відбуваються під час абсорбції. Зазвичай підвищення температури прискорює реакції, що може бути корисним для зниження часу зупинки та збільшення продуктивності.

Зміна тиску в насадковій колоні впливає на фазові стани рідини і газу, а також на розчинність сірководню в рідині. Оптимальне регулювання тиску допомагає досягти найкращої продуктивності та результатів у процесі абсорбції сірководню. Підвищення тиску може призвести до збільшення кількості компонентів газу, які можуть бути розчинені в рідині. Це зазвичай відбувається за рахунок збільшення концентрації молекул газу в газовій фазі, що сприяє їхній розчинності у рідині. Зі збільшенням тиску розчинність сірководню збільшується, що дозволяє більше сірководню розчинити у воді.

Керування та моніторинг параметрів процесу очищення газу від сірководню є критичними аспектами для досягнення оптимальних результатів, забезпечення безпеки та відповідності стандартам якості продукції. Керування параметрами, такими як температура, тиск, швидкість газу і рідини, дозволяє досягнути найкращої продуктивності процесу абсорбції. Оптимальні параметри забезпечують ефективне видалення сірководню з газової фази і максимізують якість очищеного газу.

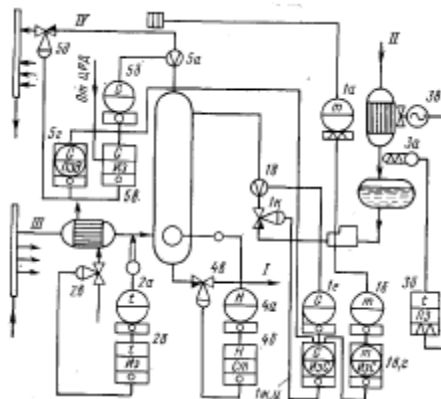


Рисунок 5.1 – Схема каскадного автоматичного керування процесом абсорбції:

- I – насичений абсорбент; II – зрошення колони;
- III – ненасичений абсорбент; IV – очищена суміш

Газоповітряна суміш, забруднена сірководнем, контактує з водою у насадковій колоні. Сірководень розчиняється в рідині, утворюючи розчин сірководню у воді. Для досягнення заданого ступеня очищення газу від сірководню встановлено систему автоматичного керування. Вона регулює витрату абсорбенту (води) відповідно до вимог щодо концентрації сірководню в очищеному газі.

Система включає датчик для моніторингу поточної концентрації H_2S в газоповітряній суміші. Цей датчик надсилає сигнал ПІ-регулятору на основі замірів концентрації H_2S в газі. ПІ-регулятор (ПРЗ.21) і ПІ-регулятор співвідношення (ПРЗ.24), які використовуються для регулювання витрати абсорбенту та забезпечення, щоб концентрація H_2S була на заданому рівні. Щоб встановити бажану концентрацію H_2S , слід використовувати ручний задатчик вторинного приладу.

Звідси видно, що ваша система керування регулює витрату абсорбенту таким чином, щоб забезпечити заданий рівень очищення газу від сірководню. Це дозволяє досягнути ефективності процесу при мінімальних витратах енергії та матеріалів та дотримуватися стандартів якості продукції та безпеки.

5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання

Спочатку необхідно чітко визначити вимоги до приладів автоматизації. Це включає в себе діапазон вимірювань, точність, надійність та інші технічні характеристики. Треба переконатися, що обрані прилади відповідають стандартам та нормам, які регулюють вашу галузь промисловості, зокрема щодо безпеки та якості. Важливо враховувати доступність та підтримку приладів на ринку України. Це полегшить процес закупівлі та обслуговування.

Також слід враховувати пожежонебезпеку та інші потенційні ризики при виборі приладів. Пневматичні прилади можуть бути більш безпечними в пожежонебезпечних умовах, але все одно вимагають належного контролю та обслуговування.

Важливо обирати прилади від виробників, які мають добру репутацію та довготривалий досвід в галузі автоматизації. Після вибору приладів, проведіть тестування, щоб переконатися, що вони відповідають вимогам та працюють належним чином.

Для проведення, контролю та регулювання процесу очищення газу від сірководню були обрані наступні прилади [21].

Для контролю температури. Сімейство вимірювальних перетворювачів температури від компанії SIEMENS пропонує широкий спектр можливостей для точного і надійного вимірювання температури в різних умовах, включаючи найвимогливіші та екстремальні середовища. Термоперетворювачі опору і термопари знайшли своє застосування в різних секторах промисловості, таких як хімічна, фармацевтична, харчова, енергетична та багато інших.

Зокрема, перетворювачі серії SITRANS T, такі як TW, наділені рядом переваг. Вони є універсальними та підтримують вихідний сигнал 4-20 мА + HART, що робить їх сумісними з багатьма системами керування та моніторингу. Налаштовувати ці перетворювачі можна за допомогою персонального комп'ютера, що спрощує їхню експлуатацію.

Для контролю витрати. Сімейство витратомірів SITRANS F від SIEMENS представляє собою рішення для точного та надійного вимірювання витрати різних середовищ. Вони використовують сучасні та перевірені часом методи вимірювання, що роблять їх відмінними інструментами для контролю і моніторингу витрати рідин і суспензій.

Перетворювачі серії SITRANS F, зокрема SITRANS F серії M Magflo, є магнітоіндукційними витратомірами. Вони застосовуються для точного вимірювання витрати електропровідних рідин і суспензій. Цей тип витратомірів використовує принцип магнітоіндукції для вимірювання швидкості руху рідини, що дозволяє отримувати точні та надійні дані про витрату.

Для контролю рівня. Сімейство рівнемірів SIEMENS, яке включає в себе лінію SITRANS L, є ідеальним рішенням для контролю рівня рідких середовищ.

Один із продуктів цієї лінії – це сигналізатор граничного рівня Pointek CLS 200. Цей сигналізатор є універсальним та відзначається високою хімічною стійкістю, що робить його ідеальним вибором для вимірювання та контролю рівня в середовищах з агресивними речовинами.

Для контролю тиску. Сімейство вимірювальних перетворювачів SITRANS P, від компанії SIEMENS, пропонує розширений спектр можливостей для точного вимірювання тиску та рівня рідких, газоподібних і пароподібних середовищ. Ця лінійка перетворювачів дозволяє виміряти надлишковий, вакууметричний, абсолютний та диференціальний тиск, а також гідростатичний рівень рідини в контейнерах та ємностях. Один із представників цієї серії – це перетворювач SITRANS P серії ZD. Він призначений для вимірювання надлишкового та абсолютного тиску і оснащений цифровим індикатором, що полегшує відображення та читання даних.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва [22–25]

Основне завдання охорони праці полягає в мінімізації ризику травматизму та професійних захворювань серед працівників, одночасно забезпечуючи комфортні умови для максимальної продуктивності праці. Підвищення продуктивності праці пов'язане з ефективним збереженням здоров'я та працездатності працівників, а також зі зменшенням аварій та інших негативних подій на робочому місці [22].

Поліпшення умов праці та безпеки призводить до зниження кількості виробничих травм та професійних захворювань серед працівників. Це сприяє збереженню їхнього фізичного і психологічного здоров'я, що, в свою чергу, позитивно позначається на їхній працездатності та ефективності. Зменшення ризику потрапляння в аварійні ситуації або небезпеку також є важливою складовою підвищення продуктивності праці, оскільки це дозволяє уникнути перебоїв у виробництві та втрат ресурсів.

Отже, охорона праці важлива не лише для забезпечення безпеки та здоров'я працівників, але й для підвищення загальної продуктивності праці та покращення якості виробництва. Відповідна увага до цього питання призводить до стабільного і успішного функціонування підприємства.

Сірководень (H_2S) – це безбарвний, займистий газ, який легко розпізнати за його неприємним запахом, схожим на запах прогнилих яєць. Він відомий своєю характерною аромомою, яка може бути відчутною навіть в низьких концентраціях.

Межі вибуховості сірководню в повітряній суміші вказують на той діапазон концентрацій, в якому він може становити загрозу для безпеки:

- **нижня межа вибуховості:** 4,3% об'ємних. Це означає, що вибух стане можливим при концентрації сірководню у повітрі на рівні 4,3% та вище.
- **верхня межа вибуховості:** 45,5% об'ємних. Це показник, який вказує на верхню межу концентрацій, при яких газ може утворювати вибухові суміші з повітрям.

Сірководень є сильною нервовою отрутою, яка може призвести до смерті внаслідок зупинки дихання. Для людини поріг відчуття запаху сірководню становить 0,012-0,014 мг/м³. Запах стає відчутним на незначних рівнях, від 1,4 до 2,3 мг/м³, і вже тут може спричинити неприємне відчуття.

Концентрація сірководню у рівнях 4 мг/м³ призводить до відчутного запаху, водночас, при підвищенні концентрації до 7-11 мг/м³ відчуваються печіння в очах, сльозотеча, роздратування в носі, металевий присмак у роті, втома, головний біль і нудота.

Значно вищі концентрації, наприклад, від 200 до 280 мг/м³, можуть призвести до серйозних симптомів, таких як судома, втрата свідомості, а у випадку концентрацій 1000 мг/м³ і вище, може настати миттєве отруєння, супроводжене паралічем серця і зупинкою дихання, що, на жаль, часто призводить до смертельного результату.

Тому важливо дотримуватися обов'язкових заходів безпеки та вчасно реагувати на будь-які ознаки витoku сірководню, оскільки ця речовина може мати серйозні наслідки для здоров'я та життя людини.

Тривале перебування людини в сірководневому середовищі може призвести до феномену звикання до запаху, внаслідок чого людина може перестати відчувати неприємний запах сірководню. Ця особливість становить значний ризик, оскільки отруєння може розвиватися, не супроводжуючись очевидними ознаками.

Для забезпечення безпеки працівників у середовищах, де може бути випаровування сірководню, встановлені гранично-допустимі концентрації (ГДК). ГДК для сірководню в повітрі робочої зони складає 10 мг/м³, що вказує на максимально допустимий рівень цього газу в повітрі для забезпечення безпеки працівників.

Зокрема, ГДК для сірководню у суміші з вуглеводнями (C1-C5) складає 3 мг/м³, що є обмеженням для вмісту сірководню в повітрі у таких умовах. Збільшення концентрації сірководню вище встановлених ГДК може призвести до серйозних наслідків для здоров'я працівників та безпеки робочого середовища.

Тому дотримання встановлених ГДК та вжиття відповідних заходів безпеки є критично важливими для запобігання отруєнню сірководнем на робочому місці.

Робота відділення очищення газу від сірководню може призвести до потенційних небезпек та шкідливостей для працівників і навколишнього середовища. Важливо враховувати ці фактори та вживати відповідні заходи безпеки. Деякі з потенційних небезпек та шкідливостей включають:

Вибухонебезпечність. Сірководень (H_2S) відомий як вибухонебезпечний газ. Межі вибуховості сірководню в суміші з повітрям вказують на те, що вже низька концентрація H_2S в повітрі може створити вибухову середу в певних умовах. Тобто навіть мінімальна кількість сірководню, присутня в повітрі, може спричинити вибух, якщо водночас присутні інші чинники, такі як джерело ініціації, оптимальна концентрація кисню тощо. Тому важливо дотримуватися високих стандартів безпеки та запобігати накопиченню навіть малих кількостей сірководню в обмежених просторах, де може виникнути вибух.

Токсичність. На низьких концентраціях сірководню може бути відчутний характерний запах. Вдихання H_2S навіть на низьких рівнях може викликати розлади дихання, подразнення дихальних шляхів і важкість у диханні. Високі концентрації сірководню можуть призвести до головного болю та погіршення самопочуття. Вдихання H_2S може викликати нудоту та блювоту. Високі концентрації сірководню можуть спричинити миттєве отруєння, яке може призвести до судом, втрати свідомості та зупинки дихання, і, в кінцевому підсумку, до смерті.

Загазованість. Нагромадження сірководню в обмежених просторах може призвести до загазованості, що є надзвичайно небезпечним явищем. Загазовані обмежені простори створюють середу, де концентрація сірководню перевищує безпечні норми, і внаслідок цього може виникнути небезпека для працівників, які виконують обслуговування, ремонт або інші роботи в цих приміщеннях.

Загазовані простори можуть мати обмежену циркуляцію повітря, що призводить до накопичення сірководню. Ця ситуація може бути особливо небезпечною через високу токсичність сірководню та можливість вибухів. Проходження

через загазовані простори без відповідної підготовки та заходів безпеки може призвести до серйозних наслідків для здоров'я та життя працівників.

Корозія та пошкодження обладнання. Сірководень сприяє виникненню корозії на поверхнях металевого обладнання і трубопроводів. Це може призвести до зниження міцності обладнання, що може призвести до протоків і пошкоджень. Корозія може слабити металеві структури, і в результаті цього можуть виникати аварії та надзвичайні ситуації, такі як витіки газу, пожежі або вибухи. Корозія може призвести до забруднення продукції, яка проходить через трубопроводи. Це може вплинути на якість та безпеку продукції.

Для запобігання корозії, пов'язаної з H_2S , важливо вживати заходи захисту, такі як використання корозійностійких матеріалів, регулярна інспекція та обслуговування обладнання, а також впровадження заходів моніторингу та контролю рівня H_2S в системі.

Витіки та протоки рідин і газів. Витік рідини або газу, який містить сірководень чи інші небезпечні речовини, може призвести до забруднення ґрунту, водних джерел і повітря. Це може мати негативний вплив на довкілля і призвести до екологічної шкоди. Витік речовини в робочому середовищі може бути небезпечним для здоров'я працівників, які можуть вдихати токсичні гази або рідини. Це може спричинити отруєння та інші проблеми зі здоров'ям.

Пожежа та вибухи. Якщо сірководень контактує з вогнем або іншими джерелами ініціації вибуху, це може призвести до пожежі. Пожежа, особливо в промислових об'єктах, може мати серйозні наслідки, включаючи руйнування обладнання, втрату продукції і навіть загибель людей. Сірководень може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям, якщо концентрація в межах меж вибуховості. Це може призвести до вибуху, який може завдати шкоди обладнанню та навколишньому середовищу, а також загрожувати життю та здоров'ю людей. Навіть невеликі концентрації сірководню можуть спричинити спалах, який може призвести до пожежі та вибуху.

Для запобігання цим небезпекам необхідно дотримуватися високих стандартів безпеки при роботі з сірководнем та іншими вибухонебезпечними речовинами. Це включає в себе правильне зберігання, обробку та транспортування цих речовин, а також використання безпечного обладнання та процедур роботи, щоб уникнути витоків та контакту з вогнем.

6.2 Розрахунок потенційно небезпечного фактору [26]

Система заходів, спрямованих на усунення впливу атмосферної електрики, відома як система блискавкозахисту. Виділяють два основних прояви блискавки: первинний – це прямий удар; вторинний – це проявлення електростатичної та електромагнітної індукції.

Прямий удар може призвести до руйнування будівель, споруд і обладнання через миттєве нагрівання повітря, різке його розширення і ударну хвилю. Він також може спричинити загоряння горючих матеріалів.

Захист будівель і споруд від удару блискавки залежить від наступних факторів: призначення; інтенсивності грозової діяльності у місцевості їх розташування; передбачуваної кількості ураганів у році відповідно до категорій блискавкозахисту та типу зони захисту.

Кількість очікуваних ударів блискавки на рік для будівель і споруд, які не обладнані захистом від блискавки, розраховується як:

$$N = \left[(B + 6 \cdot h_x) \cdot (L + 6 \cdot h_x) - 7,7 \cdot h_x^2 \right] \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (6.1)$$

де B – ширина об'єкта, що захищається, м;

L – довжина об'єкта, що захищається, м;

h_x – висота об'єкта з його бокових сторін, м;

n – середня кількість поразок блискавкою 1 кв. км. земної поверхні на рік.

На практиці для захисту будівель і споруд від прямих ударів блискавки найбільше поширення отримали стрижневі та тросові відводи блискавки (рис. 6.1).

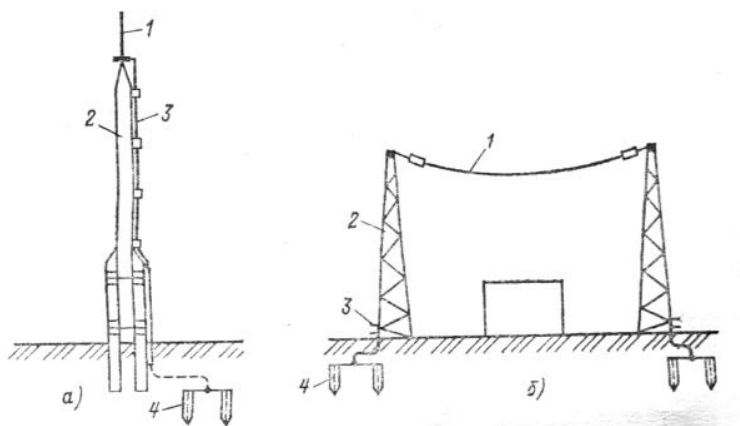


Рисунок 6.1 – Конструкція стрижневого (а) та тросового (б) відводів блискавки:

- 1 – блискавкоприймач, що безпосередньо приймає прямий удар блискавки;
- 2 – несуча конструкція, призначена для встановлення блискавковідводу;
- 3 – струмовідведення, що забезпечує відведення блискавки в землю;
- 4 – заземлювач, що відводить струм блискавки в землю.

Тип, кількість та взаємне розташування блискавковідводів визначають геометричну форму зони захисту. Схематично зона захисту одиничного відводу блискавки наведена на рис. 6.2.

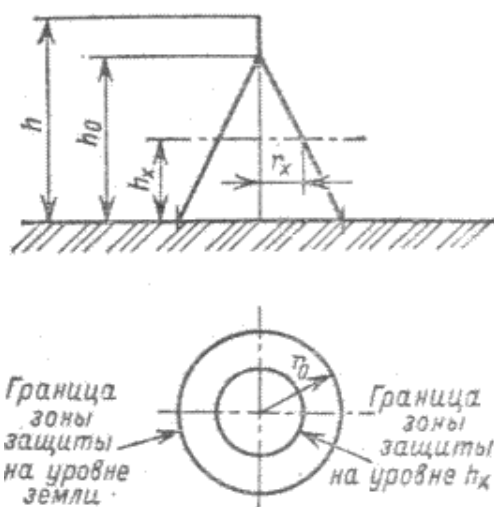


Рисунок 6.2 – Зона захисту одиничного стрижневого блискавковідводу висотою менше 150 м є конусом, вершина якого знаходиться на висоті h_0

Таблиця 6.2 – Розрахунок зони захисту одиничного стрижневого блискавко-відведення

Надійність захисту P_3	Висота блискавковідведення h , м	Висота конуса h_o , м	Радіус конуса r_o , м
0,9	від 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	від 100 до 150	$0,85h$	$[1,2-10^{-3}(h-100)]h$
0,99	від 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	від 30 до 100	$0,8h$	$[0,8-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$
	від 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h - 100)]h$	$0,7h$
0,999	від 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	від 30 до 100	$[0,7-7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h$	$[0,6-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$
	від 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3}(h - 100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h - 100)]h$

Таблиця 6.3 – Вихідні дані для розрахунку

Геометричні розміри об'єкта, що захищається (відділення газоочищення)		
Довжина	Ширина	Висота (із запасом)
L, м	B, м	h _x , м
30	30	20

Насамперед, визначаємо очікувану кількість уражень блискавкою на рік будівель та споруд за формулою (6.1):

$$N = [(30 + 6 \cdot 20) \cdot (30 + 6 \cdot 20) - 7,7 \cdot 20^2] \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} = 0,107 \frac{\text{разів}}{\text{рік}}.$$

Тут середня кількість поразок блискавкою 1 кв. км земної поверхні на рік визначаємо за таблицею залежно від інтенсивності грозової діяльності: при 60–80 годин на рік грозової діяльності $n=5,5$ 1/(км²·год).

Далі ведемо розрахунок основних параметрів блискавковідведення. Відповідно до табл. 6.2 при надійності захисту $P_3=0,9$ та висоті блискавковідводу $h=50$ м отримаємо наступне.

Висота конуса:

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 50 = 42,5 \text{ м.}$$

Радіус конуса:

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 50 = 60 \text{ м.}$$

Радіус об'єкта, що захищається, визначаємо за формулою:

$$r_x = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,85} \right) = (1,1 - 0,002 \cdot 50) \cdot \left(50 - \frac{20}{0,85} \right) = 26,5 \text{ м.}$$

Правильність вибору блискавковідводу перевіряється за допомогою нерівності:

$$\frac{\sqrt{B^2 + L^2}}{2} < r_x. \quad (6.2)$$

$$\frac{\sqrt{30^2 + 30^2}}{2} = 21,2 \text{ м} < 26,5 \text{ м.}$$

Отже, обраний блискавковідвід зможе забезпечити безпеку відділення очищення газу від сірководню установки отримання гранульованого амофосу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Очищення газу від сірководню, методи уловлювання, системи фільтрації та установки для зниження викидів H_2S [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://gas-cleaning.ua/article/ochistka-gaza-ot-serovodoroda>
2. Очищення газів від сірководню, сірковуглецю і меркаптанів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/9835118/page:10>
3. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студентної, заочної та дистанційної форм навчання / В. І. Склабінський, Я. Е. Михайловський, Р. О. Острога, М. С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
4. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Ленинград : Химия, 1987. – 576 с.
5. Врагов А. П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник / А. П. Врагов. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2007. – 284 с.
6. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн. 2. Массообменные процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. – Москва : Химия, 1995. – 368 с.
7. Рамм В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – Москва : Химия, 1976. – 656 с.
8. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по курсовому проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – Москва : Химия, 1991. – 272 с.
9. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

10. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1973. – 754 с.
11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 384 с.
12. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. – Москва : Химия, 1995. – 400 с.
13. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Ленинград : Машиностроение, 1970. – 752 с.
14. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Ленинград : Машиностроение, 1981. – 382 с.
15. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – Москва : Машиностроение, 1989. – 640 с.
16. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов втузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Ленинград : Машиностроение, 1984. – 301 с.
17. Дистанційний курс «Проектування хімічних виробництв і основи САПР» / «Компонування виробництва» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:f43ede4f2c1341b4c42f8f9ad8b986f4c38640aa/latest//4642/tema.pdf
18. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1980. – 312 с.
19. Ермаков В. И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В. И. Ермаков, В. С. Шейн. – Ленинград : Химия, 1981. – 368 с.

20. Голубятников В. А. Автоматизация технических процессов в химической промышленности. 2-е изд., перераб. и доп. / В. А. Голубятников, В. В. Шувалов. – Москва : Химия, 1985. – 352 с.

21. Дистанційний курс «Автоматизація технологічних процесів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://do.udhtu.edu.ua/moodle/login/index.php>

22. Соловьев Н. В. Охрана труда в химической промышленности / Н. В. Соловьев, Н. А. Стрельчук, П. И. Ермилов, Б. Л. Канер. – Москва : Химия, 2006. – 527 с.

23. Сірководень. Особливості експлуатації об'єктів та спеціальні заходи [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/3180966/page:19/>

24. Вимоги при роботі в умовах концентрації сірководню H_2S [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://fi.ua/index.php/stati-po-okhrane-truda/276-trebovaniya-pri-rabote-v-usloviyakh-kontsentratsii-serovodoroda-h2s>

25. Пряников В. И. Техника безопасности в химической промышленности В. И. Пряников. – Москва : Химия, 1990. – 346 с.

26. Методические указания к дипломному проекту «Расчет общеобменной вентиляции» из раздела «Охрана труда / Утвердители: Л. О. Гурец, А. П. Буденый». – Сумы : Издательство СумГУ, 2010. – 24 с.