

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Установка виробництва висококонцентровано-
ваного метанолу. Розробити та модернізувати тарілчасту
ректифікаційну колону

Виконав:

студент групи ХМ.м-21/2

Кисляк Владислав Володимирович

підпис

Залікова книжка

№ 22510213

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	5
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	16
2.1 Опис технологічної схеми виробництва висококонцентрованого метанолу	16
2.2 Теоретичні основи ректифікаційних процесів	18
2.3 Пристрій і принцип дії запроєктованого апарату	25
2.4 Технологічні розрахунки	28
2.5 Конструктивні розрахунки	36
2.6 Гідравлічний опір колони	42
2.7 Вибір допоміжного обладнання	48
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	53
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	53
3.2 Розрахунки апарата на міцність, стійкість та герметичність	55
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	59
4.1 Обґрунтування компонування обладнання установки	59
4.2 Монтаж та ремонт тарілчастої ректифікаційної колони	61
5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	67
5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу	67
5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання	68
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	72
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на виробництві	72
6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора	74
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	79
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Метиловий спирт, також відомий як метанол, є однією з найпростіших органічних сполук, що містять гідроксильну групу. Ця сполука має хімічну формулу CH_3OH і молекулярну масу близько 32 г/моль. Метанол має ряд важливих властивостей та застосувань, але також він є дуже отруйним для людини [1].

Якщо розглянути фізичні властивості метанолу, то він є безбарвною рідиною з характерним легким запахом, який дуже схожий на запах етилового спирту (етанолу). Температура спалаху метанолу становить приблизно 8°C , що робить його вибухонебезпечним при великих концентраціях в повітрі. Метиловий спирт добре розчиняється у воді, а також змішується з багатьма органічними розчинниками. Ця властивість робить його корисним як розчинник у хімічних процесах. Може утворювати водневі зв'язки з молекулами води. Це зумовлює його властивість розчинятися у воді та підвищувати температуру кипіння розчину порівняно з вуглеводнями [2].

Метиловий спирт використовується в промисловості як розчинник і як сировина для синтезу інших хімічних сполук. Він також використовується як антифриз для автомобілів та у складі деяких побутових та промислових продуктів. Метанол є важливим реактивом в хімічних дослідженнях і виробництві деяких хімічних сполук.

Виробництво висококонцентрованого метанолу – це складний індустріальний процес, який вимагає великих інвестицій і високого рівня кваліфікації в області хімії та інженерії. Також важливо дотримуватися всіх вимог щодо безпеки та дотримання екологічних стандартів.

Даний кваліфікаційний проєкт спрямований на вивчення технологічних основ виробництва висококонцентрованого метанолу, розробці модернізованої спиртової ректифікаційної колони. Для досягнення мети роботи треба виконати наступні задачі (завдання дослідження):

1. Виконати літературний огляд щодо застосовуваних варіантів та технологічних схем виробництва метилового спирту, оцінити існуючі методи та технології.

2. Дослідити технологічний процес розділення двокомпонентної суміші методом ректифікації в тарілчастій колоні.

3. Провести чисельне моделювання досліджуваного технологічного процесу, використовуючи математичні рівняння.

4. Проаналізувати отримані результати дослідження, порівнявши їх з існуючими, та запропонувати перспективні зміни у виробничому процесі та конструкції апарату.

Магістерська кваліфікаційна робота представляє собою проєкт з елементами науково-практичної інновації та є результатом самостійної праці, виконаної у відповідності до методичних вказівок [3].

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ [1, 2, 4, 5]

Розвиток спиртової промисловості, включаючи виробництво метилового спирту, може мати важливе значення для економічного розвитку України та інших країн. Спочатку розглянемо можливості нашої держави.

Україна має потенціал для збільшення виробництва метилового спирту, особливо за рахунок використання вугільної сировини, біоенергетики та інших джерел. Це може забезпечити як внутрішні потреби, так і можливість експорту. Метиловий спирт може бути використаний для виробництва біопалив та біогазу, що є важливими складовими сучасної енергетичної стратегії.

Україна може розглядати можливість експорту метилового спирту на зовнішні ринки, якщо виробництво буде збільшуватися і якість відповідатиме міжнародним стандартам. Загалом розвиток спиртової галузі може стати предметом інвестицій, як внутрішніх, так і зовнішніх. Інвестори можуть сприяти модернізації обладнання та підвищенню продуктивності.

Співпраця з науковими дослідницькими установами може допомогти вдосконалювати технології виробництва метанолу та інших спиртів.

Що стосується міжнародних ринків, то попит на метиловий спирт росте завдяки зростанню використання біопалив, хімічних промисловостей та інших галузей. Україна може конкурувати на цьому ринку, якщо забезпечить високу якість та конкурентоспроможні ціни. Зростання усвідомлення про екологічну важливість біопалив та біогазу може стати драйвером попиту на метиловий спирт, як біоенергетичний матеріал.

Співпраця з іншими країнами у сфері технологічного обміну може допомогти Україні отримати доступ до передових методів виробництва метанолу та інших спиртів.

Загалом, спиртова промисловість, включаючи виробництво метилового спирту, має потенціал для розвитку як в Україні, так і в інших країнах, і може відігравати важливу роль у забезпеченні сталого розвитку та різноманітних галузях промисловості.

Виробництво метилового спирту (метанолу) включає в себе різні процеси. Розглянемо найбільш поширені методи виробництва метилового спирту та їх особливості.

1. Синтез газової фази.

Синтез газової фази, також відомий як Синтез Ньюфелда, використовує синтез-газ (суміш CO і H₂) як сировину. Процес включає каталітичну реакцію, де синтез-газ перетворюється в метиловий спирт за наявності каталізатора (зазвичай мідь, цинк і алюміній). Вигода цього методу полягає в можливості використовувати різні джерела синтез-газу, такі як природний газ, вугілля або біомаса.

2. Синтез рідкої фази.

Синтез рідкої фази, також відомий як Синтез Ловенге, є іншим методом виробництва метилового спирту. Цей метод базується на конверсії газоподібних сировин в рідкий метиловий спирт. Основні характеристики цього методу виробництва включають:

- використання синтез-газу (суміш CO і H₂) як сировини, аналогічно до Синтезу Ньюфелда;
- зазвичай використовують каталізатори на основі цинку та міді для стимулювання реакції між синтез-газом і отримання метилового спирту;
- синтез проводиться в спеціальних реакторах під підвищеним тиском та температурою, що сприяє утворенню рідкого метилового спирту.

Метод Синтезу Ловенге відзначається високими тиском і температурою, що може бути важливим для забезпечення оптимальних умов реакції. Отриманий метиловий спирт може бути використаний для виробництва хімічних реакцій, біопалив і інших продуктів.

3. Спиртова ферментація.

Цей метод виробництва використовує біологічні процеси ферментації для перетворення вуглеводнів у спирт. Основні характеристики цього методу виробництва включають:

- використання біомаси як сировини для ферментації, а саме: цукрову тростину, кукурудзу та інші матеріали, які містять цукри;
- мікроорганізми, зазвичай дріжджі, використовуються для бродіння цукрів у сировині з подальшою конверсією у метиловий спирт і CO_2 ;
- сам процес ферментації відбувається в спеціальних реакторах, де мікроорганізми перетворюють цукри на спирт у водному середовищі;
- ферментація може бути довготривалою і вимагати певної температури та реакційних умов для оптимального проходження процесу.

Спиртова ферментація є важливим методом виробництва метилового спирту, особливо у виробництві біопалив та хімічних речовин. Вона є екологічно сталим процесом і може використовувати відновлювані джерела сировини, такі як біомаса, сприяючи сталому розвитку.

4. Синтез газифікації вугілля або біомаси.

Цей метод виробництва метилового спирту використовує процес газифікації для отримання синтез-газу, а потім конвертує цей газ у метиловий спирт. Основні характеристики цього методу виробництва включають:

- використання вугілля або біомаси (наприклад, деревини, соломи або інших органічних матеріалів) у якості сировини для газифікації;
- процес газифікації полягає в перетворенні вуглеводнів і вуглецю у синтез-газ (зазвичай, CO і H_2) за допомогою високих температур та обмеженого доступу повітря;
- синтез-газ, отриманий після газифікації, подається на каталітичну реакцію, де відбувається конверсія у метиловий спирт.

Синтез газифікації може бути важливим для використання вугілля або біомаси та забезпечити масове виробництво спирту, зменшуючи залежність від нафти та інших не відновлюваних джерел сировини.

5. Спиртовий розклад.

Спиртовий розклад – це метод виробництва метилового спирту (метанолу), що полягає в термічному розкладі органічних сполук, які містять вуглець, на простіші сполуки, включаючи метиловий спирт. Основні характеристики цього методу виробництва включають:

- використання вуглеводнів або інших органічних речовин у якості сировини для розкладу;
- процес розкладу відбувається при високих температурах і тиску, і включає нагрівання сировини до відповідних умов;
- у результаті розкладу складних органічних сполук утворюється метиловий спирт і інші продукти, такі як вуглекислий газ (CO_2) і водень (H_2).

Цей метод може бути ефективним для використання відходів та забруднювачів у виробництві та переробці органічних речовин і може внести важливий внесок у зменшення викидів парникових газів та використання відновлюваних джерел сировини.

Вибір того чи іншого методу виробництва метилового спирту залежить від багатьох факторів, таких як наявність сировини, ефективність процесу, економічність і вплив на навколишнє середовище. Кожен метод має свої переваги та недоліки, і важливо обирати той, який найкраще відповідає конкретним потребам і умовам виробництва.

Застосування брагоректифікаційних установок з боковим відводом двох видів ректифікованого спирту та видаленням домішок у процесі епюрації є важливим та переважним підходом в сучасній спиртовиробництві, і він має декілька переваг.

По-перше, використання брагоректифікаційних установок дозволяє отримувати два види ректифікованого спирту з різною концентрацією та якістю, що підвищує якість і унікальні властивості кінцевої продукції.

По-друге, процес епюрації дозволяє видаляти небажані домішки та імпульсні сполуки, що можуть негативно впливати на якість спирту та безпечність його споживання.

По-третє, використання бокового відводу двох видів ректифікованого спирту допомагає оптимізувати використання сировини та знизити витрати на виробництво.

І нарешті, брагоректифікаційні установки є високоефективними та дозволяють підвищити виходи ректифікованого спирту з одного об'єму сировини. Використання цього підходу допомагає виробникам дотримуватися регуляторних вимог та стандартів, які стосуються якості та безпечності спиртової продукції. А оптимізація процесу виробництва дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та забруднення довкілля.

Модернізація тарілчастих ректифікаційних колон може покращити їх продуктивність, зменшити витрати та покращити якість виробленого продукту. Розглянемо можливі варіанти модернізації таких колон:

1. Удосконалення тарілок. Заміна або модернізація тарілок у колоні може підвищити ефективність ректифікації та поліпшити розділення компонентів. Використання нових матеріалів або конструкцій може сприяти зменшенню опору струменя рідини та газу, що поліпшить процес.

2. Додавання додаткових секцій. Додавання додаткових секцій до тарілчастої колони може підвищити кількість ректифікаційних стадій, що поліпшить якість ректифікованого спирту та зменшить втрати домішок.

3. Впровадження нових каталізаторів. Використання нових каталізаторів на тарілках для підвищення реакційної активності та видачі бажаного продукту.

4. Модернізація системи керування. Покращення автоматизації та системи керування дозволяє оптимізувати процес ректифікації, забезпечуючи стабільність та ефективність.

5. Використання нових матеріалів. Впровадження нових матеріалів для тарілок та інших частин колони може покращити їх корозійну стійкість та довговічність.

6. Зменшення енерговитрат. Використання нових технологій для зменшення енерговитрат в ректифікаційному процесі, таких як ефективніші теплообмінні системи, використання відновлюваної енергії тощо.

7. Використання адитивів. Додавання спеціальних адитивів до сировини може поліпшити видачу бажаного продукту та зменшити утворення домішок.

Модернізація тарілчастих ректифікаційних колон може бути спрямована на поліпшення різних аспектів процесу, включаючи якість продукції, продуктивність, стабільність та енергоефективність. Вибір конкретних заходів модернізації повинен базуватися на потребах та цілях конкретної виробництва. Ми зупинимось на першому пункті і розглянемо конструктивні варіанти внутрішніх контактних пристроїв (тарілок).

Перший тип тарілок – **ковпачкові** (рис. 1.1). Вони використовуються у ректифікаційних колонах для виробництва спирту та інших хімічних продуктів.

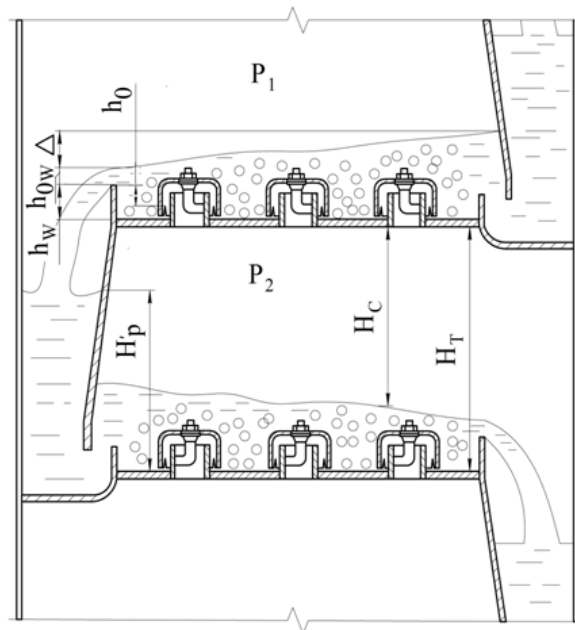


Рисунок 1.1 – Схема ковпачкової тарілки

Ковпачкові тарілки мають специфічну конструкцію, яка сприяє ефективній ректифікації. Основна платформа ковпачкової тарілки є круглим диском, що зазвичай виготовляється зі сталі або іншого відповідного матеріалу. На поверхні тарілки укріплені парові патрубки, які служать для подачі парів або газів у ректифікаційний процес. Парові патрубки зазвичай закриті зверху ковпачками. Ці ковпачки можуть бути капсульними або тунельними, залежно від конкретної конструкції та умов виробництва. Для більших ректифікаційних колон, де діаметр перевищує 1 метр, ковпачкові тарілки можуть бути складеними з окремих секцій. Кількість секцій, зазвичай, залежить від діаметра колони та потреби в розділенні компонентів.

Ковпачкові тарілки мають свої переваги та недоліки.

Переваги ковпачкових тарілок:

- допомагають підвищити ефективність ректифікації шляхом покращення розділення компонентів у суміші;
- можуть допомогти зменшити витрати сировини та підвищити виходи продукції, оскільки вони дозволяють краще утримувати рідину на тарілці;
- можуть зменшити утворення піни в колоні, що допомагає підтримувати ефективний процес ректифікації;
- знижують рівень деградації продукту під час процесу.

Недоліки ковпачкових тарілок:

- виготовлення та монтаж ковпачкових тарілок можуть бути більш складними та дорогими порівняно з іншими типами тарілок;
- використання ковпачкових тарілок може вимагати більше енергії для підтримання процесу ректифікації через специфіку їхньої конструкції;
- у деяких випадках можуть обмежувати максимальну потужність ректифікаційної колони.

Використання **ситчастих** тарілок (рис. 1.2) у ректифікаційних колонах є ще одним цікавим підходом до поліпшення процесу ректифікації.

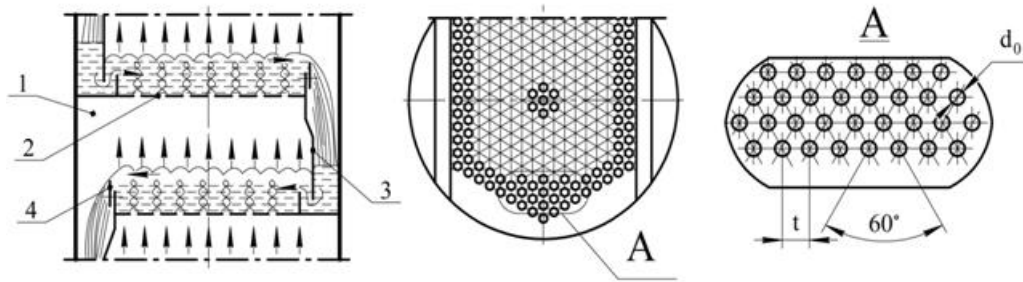


Рисунок 1.2 – Будова і принцип роботи ситчастої тарілки:

1 – корпус колони; 2 – полотно тарілки; 3 – зливна стінка; 4 – переливна планка

Ситчасті тарілки складаються з перфорованих дисків товщиною 1-3 мм з отворами діаметром 2-8 мм або щілинами шириною 2-4 мм і довжиною 10-25 мм. Така конструкція дозволяє газам та рідині легко обмінюватися між тарілками. Ситчасті тарілки обладнані переливними пристроями, які допомагають утримувати рідину на тарілках та забезпечують переливання рідини з тарілки на тарілку. Це сприяє ефективному розділенню компонентів.

Ситчасті тарілки дозволяють вибирати різні розміри та форми отворів або щілин в залежності від потреб процесу. Застосування ситчастих тарілок може бути корисним в умовах, де потрібно ефективно ректифікувати гази та рідину. Вони можуть бути ефективними вирішенням для покращення якості та продуктивності процесу.

Як ми бачимо, ситчасті тарілки мають просту конструкцію, але вони обмежені у зміні навантаження за парою в досить вузькому діапазоні. Для успішної роботи ситчастих тарілок важливо підтримувати чистоту отворів. Тому вони підходять лише для розділення рідких сумішей (не забруднених), які не містять частинок і не утворюють твердий осад протягом процесу.

Тарілчасті колони з **клапанними** тарілками (рис. 1.3) стають все більш популярними в спиртовій промисловості, і це зовсім не випадково. Вони мають численні переваги, які роблять їх привабливими для виробників спирту.

Вони відрізняються меншою металоємністю та більш доступною вартістю виробництва, що може призвести до зниження загальних витрат на обладнання (на 30-40% в порівнянні з ковпачковими тарілками).

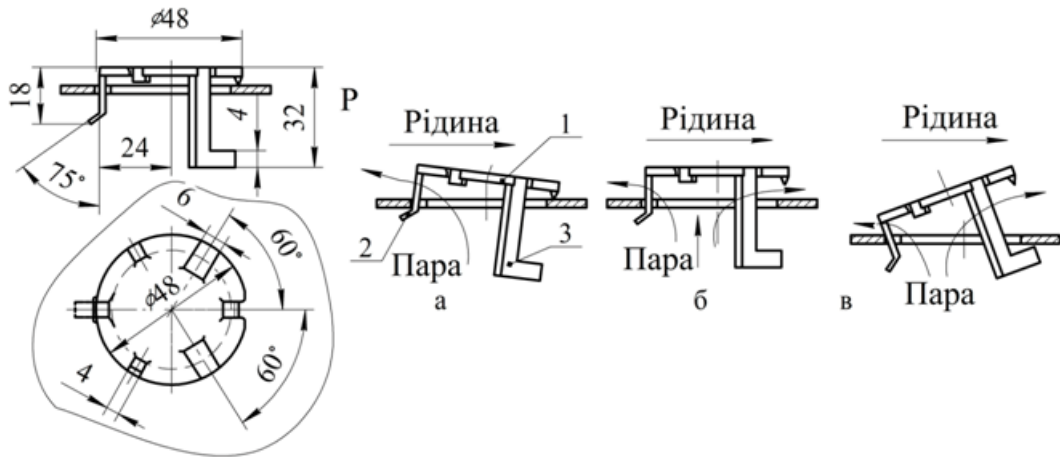


Рисунок 1.3 – Будова і принцип роботи клапанної тарілки:

а, б, в – положення клапана за мінімального, середнього і максимального навантажень відповідно; 1 – диск клапана; 2 – ніжка обмежувальна коротка; 3 – ніжка обмежувальна довга

Клапанні тарілки дозволяють відносно великий діапазон зміни навантажень у паровій фазі, що робить їх гнучкими для різних виробничих умов. ККД (коефіцієнт корисної дії) клапанних тарілок може досягати 80-85%, що свідчить про їхню високу ефективність у масоперенесенні, особливо в широкому діапазоні навантажень. У порівнянні з ковпачковими тарілками, клапанні тарілки мають нижчий гідравлічний опір, що дозволяє зменшити витрати енергії на ректифікацію.

Новизна проєктної розробки (модернізація)

Ще більш перспективними, ніж ковпачкові, ситчасті чи клапанні, є комбіновані тарілки – **ситчасто-клапанні** (рис. 1.4). Це є інноваційним рішенням для контактних пристроїв у ректифікаційних колонах та вони рекомендуються для використання у випадках, коли необхідне високоякісне розділення компонентів у колонних апаратах, що працюють під вакуумом або при атмосферному тиску (як у нашому випадку).

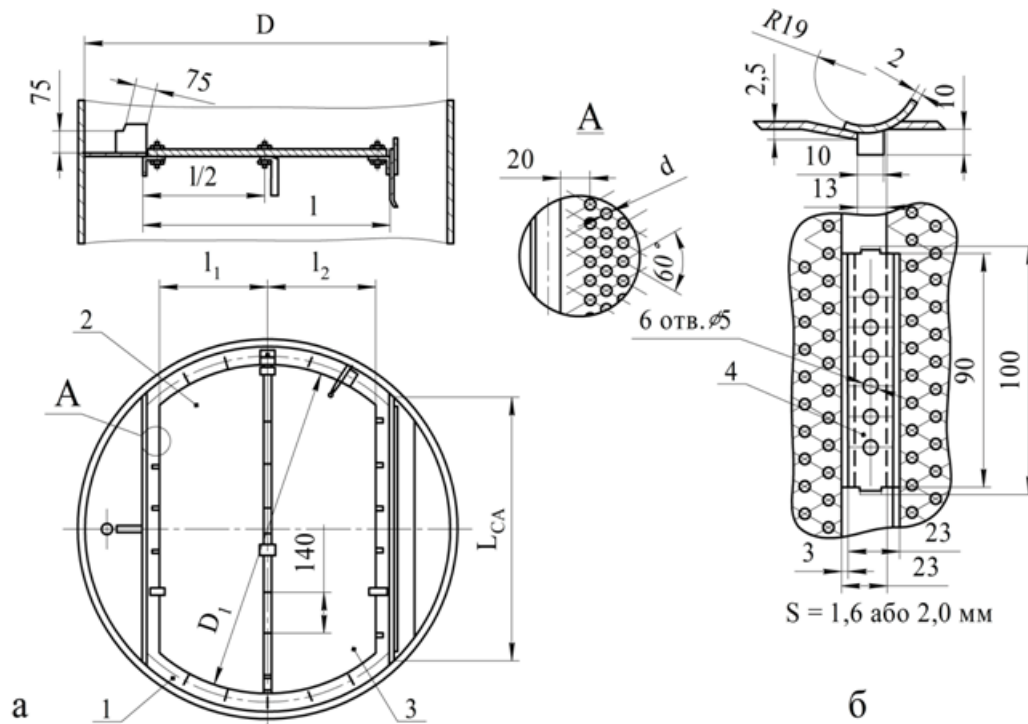


Рисунок 1.4 – Будова ситчасто-клапанної тарілки (а)
та прямокутний підйомно-поворотний клапан (б):

1 – рама опорна; 2, 3 – секції; 4 – клапан

З цими тарілками можна досягти більш точного та чіткого розділення різнних речовин. Завдяки поєднанню ситчастих і клапанних елементів ці тарілки забезпечують ефективне масоперенесення та зберігають високу ефективність, навіть при значних різницях у властивостях компонентів, які підлягають розділенню.

Клапани в ситчасто-клапанних тарілках мають особливу конструкцію, яка робить їх ефективними для регулювання потоку пари та рідини в ректифікаційних колонах. Клапани виготовлені у формі частини порожнистого циліндра, з вогнутою частиною, яка вказує у бік отвору біля основи тарілки. Якщо потрібно збільшити потік пари, клапани можуть вільно перекочуватися по опорній площадці гнізда, і це поступово збільшує живий переріз тарілки. Гніздо клапана включає прямокутний отвір з нахиленим опорним піддоном. При низькій швидкості пари, вона просто проходить через циліндричні отвори в тарілці та клапані, і клапани залишаються закритими. У цьому режимі, тарілка працює як звичайна ситчаста тарілка.

Однак, при подальшому збільшенні швидкості пари, клапани відкриваються, і їх вісь, навколо якої вони повертаються, віддаляється від центру їх тяжіння. Це призводить до збільшення моменту сил. Момент закривання клапана стає максимальним, коли клапан опирається на ребро.

При однобічному відкриванні клапанів і подальшому збільшенні швидкості пари, рідина починає інтенсивно рухатися вздовж поверхні тарілки, що призводить до зменшення затримки рідини, зниження ефективності масообміну та різкого збільшення гідравлічного опору.

Для уникнення цих негативних наслідків, клапани виконують так, що при подальшому збільшенні швидкості пари, клапани піднімаються вище від гнізда, що дозволяє керувати потоком пари та рідини більш ефективно і уникнути збільшення гідравлічного опору.

Така конструкція клапанів і тарілок дозволяє забезпечити оптимальну роботу ректифікаційних колон у широкому діапазоні навантажень та умов, зберігаючи високий рівень ефективності та точності розділення компонентів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва висококонтрованого метанолу

Об'єктом нашого дослідження є перша спиртова колона (див. схему на рис. 2.1), де відбувається процес ректифікаційного розділення суміші метанол – вода.

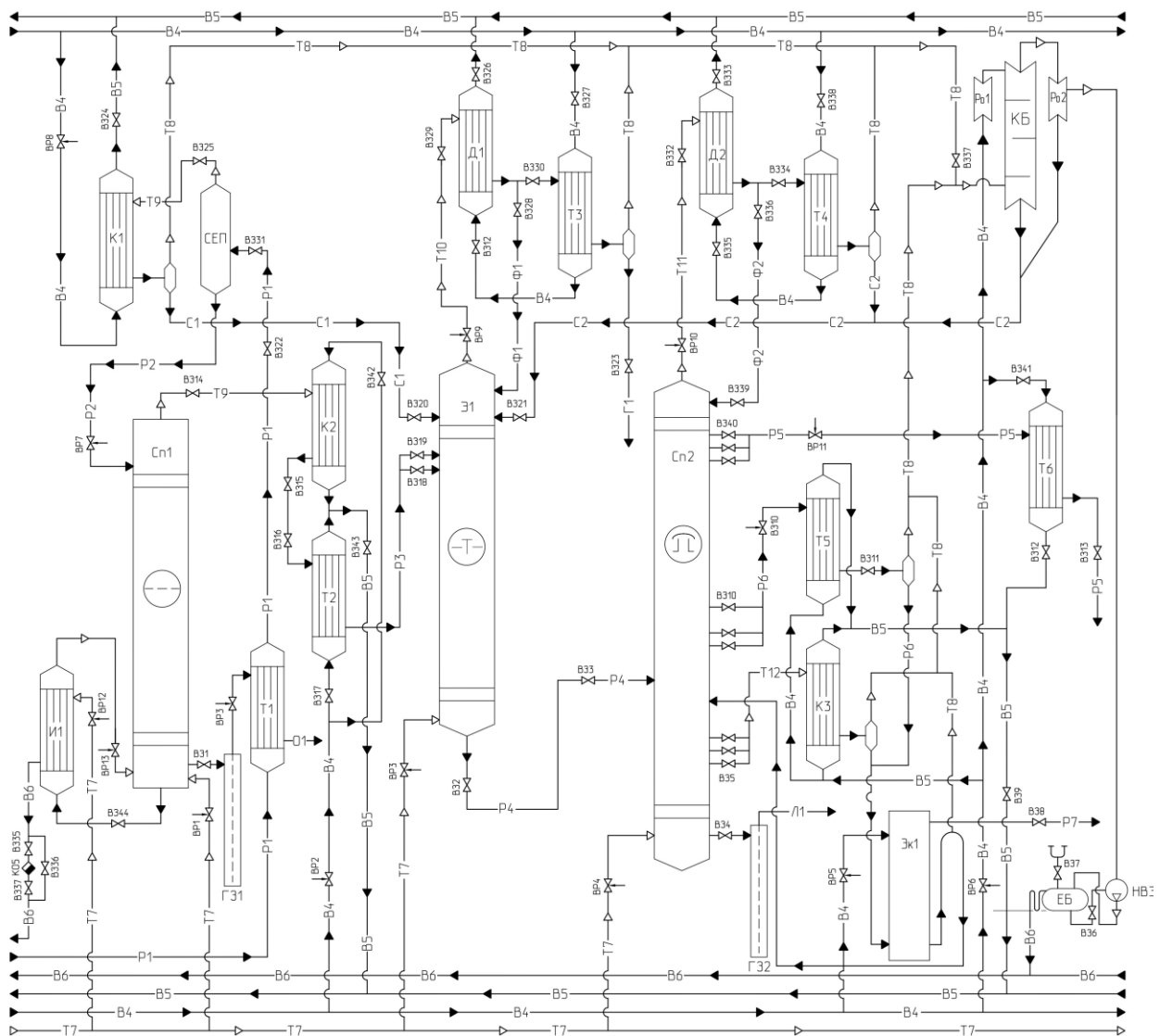


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва
висококонтрованого метанолу

Принцип роботи даного блоку полягає у наступному. Зрілу бражку, яка містить метанол і воду, подають у систему. Далі цю бражку підігривають в підігривачі. Підігрів відбувається за рахунок тепла, яке виділяється під час конденсації пари дистилляту. Це допомагає підготувати суміш до подальшого розділення. Підігріту бражку направляють в сепаратор для виділення залишкового діоксиду вуглецю. Це може бути важливою операцією, оскільки діоксид вуглецю є небажаним компонентом у спиртовій продукції.

Після сепарації діоксиду вуглецю бражку спрямовують в ректифікаційну колону. У колоні відбувається процес ректифікації, в результаті якого розділяються метанол і вода на окремі компоненти за їх різницею в кипінні і конденсації. Чистий спирт, який конденсується на верхній тарілці колони, відводиться для подальшого використання.

Гази, які виходять з ректифікаційної колони, направляються в конденсатор для збору спирту. Тут спирт конденсується, і його можна зібрати як спиртовий конденсат. Неконденсовані гази, які залишилися після конденсації, відводяться через зрошувальну пастку в атмосферу. Це робиться для відведення небажаних газів з процесу.

Водно-спиртовий конденсат з конденсатора направляється на верхню тарілку епюраційної колони. Ця операція може бути частиною процесу рециркуляції та поліпшення якості продукції.

Діюча система охолодження і розподілу води в процесі ректифікації метанолу та води в першій спиртовій колоні дуже важлива для забезпечення ефективності та контролю температур у різних частинах процесу. Розглянемо порядок розподілу води більше детально:

1. Колектор води. Це вихідний пункт для води, яка буде використовуватися для охолодження різних частин процесу. Вода подається до колектора з напірного баку або за допомогою насосів.
2. Охолодження поверхні теплообміну. Вода з колектора послідовно підводиться до поверхні теплообміну спиртової колони. Тут вона використовується для охолодження газів або парів, що виходять з

колони. Після охолодження вода може нагрітися і перейти в стан пари.

3. Конденсатор. Після проходження через поверхні теплообміну вода подається до конденсатору. Конденсатор використовується для конденсації спирту та інших парів, що виходять з колони. Таким чином, вода відбирає тепло від газів.
4. Колектор гарячої води. З горизонтального конденсатора вода повертається до колектора гарячої води. Тут вода може бути рекуперована або використовуватися для інших процесів.

2.2 Теоретичні основи ректифікаційних процесів [6–8]

Ректифікація – це процес масообмінного поділу рідкої суміші на окремі компоненти шляхом багатоступеневої взаємодії парової і рідкої фаз. Цей процес базується на різниці у температурах кипіння компонентів суміші. У ректифікаційній колоні відбувається поступове збагачення легких (низькокиплячих) компонентів у верхній (зміцнювальній) частині колони і збагачення важких (висококиплячих) компонентів у нижній (вичерпній) частині колони. Це досягається через повторні ступені поділу а перегону, де пари виходить з рідини, а рідина стає більш концентрованою на певних компонентах.

Ректифікація використовується для розділення компонентів вуглеводневих сумішей, а також у багатьох інших процесах, де важливо визначити окремі компоненти рідини чи газу за їхніми фізичними властивостями. Цей процес є важливим у хімічній промисловості, нафтогазовій галузі та інших сферах для виробництва чистих продуктів з вуглеводневих сумішей і видалення домішок.

Процеси низькотемпературної ректифікації (НТР) зріджених газів використовується для поділу суміші газів на компоненти за допомогою багатоступінчастої колони з різними температурами і тисками. Давайте розглянемо цей процес більш детально. Початкова суміш газів, яка містить різні компо-

ненти з різними температурами кипіння, піддається конденсації, зазвичай за допомогою охолоджувача. Це призводить до утворення зрідженого конденсату.

Зріджений конденсат подається в ректифікаційну колону. Ця колона має багато тарілок або інших структурних елементів, які дозволяють парові і рідині взаємодіяти і обмінюватися масами. У середній частині колони зріджений конденсат подається на тарілку живлення. Тут відбувається контакт між рідиною і паром, і відбувається фракціонування компонентів. З верхньої частини ректифікаційної колони відводять газ низькокиплячого компонента, оскільки в цій частині колони відбувається концентрація легколетючих компонентів. З нижньої частини колони відводиться рідина, яка складається з висококиплячих компонентів. Ця рідина може бути піддана додатковій обробці або використовуватися як кубовий залишок.

Рушійна сила процесу ректифікації базується на різниці між робочою і рівноважною концентраціями речовини в рідкій і паровій фазах при даній температурі і тиску. Цей принцип відображає основний механізм відділення компонентів в процесі ректифікації.

Робоча концентрація речовини в рідкій фазі – це концентрація речовини у рідині, яка є в ректифікаційній колоні на певному рівні. Вона може бути зміненою шляхом контакту рідини з паром у колоні.

Рівноважна концентрація речовини – це концентрація, яка б мала місце при даній температурі і тиску без подальших змін у розподілі речовини між рідкою і паровою фазами.

Коли робоча концентрація речовини в рідкій фазі перевищує рівноважну концентрацію при даній температурі, речовина переходить у парову фазу. Цей процес називається випарюванням.

З іншого боку, коли концентрація речовини в паровій фазі перевищує рівноважну концентрацію при даній температурі, речовина конденсується і переходить в рідку фазу. Цей процес називається конденсацією.

Ця нерівноважна рівновага між рідкою і паровою фазами сприяє ефективному відділенню компонентів в ректифікаційній колоні, забезпечуючи збагачення парової фази легкими компонентами і рідкої фази важкими компонентами. Цей процес допомагає виробляти продукти з визначеною чистотою і концентрацією, що важливо в багатьох галузях промисловості.

Описана схема ректифікаційної колони з використанням тарілчастих апаратів (див. рис. 2.2) є досить типовою. Вхідна суміш (F) з концентрацією низькокиплячого компонента (X_F) надходить в середню частину ректифікаційної колони. Це може бути суміш рідких компонентів, яку необхідно розділити.

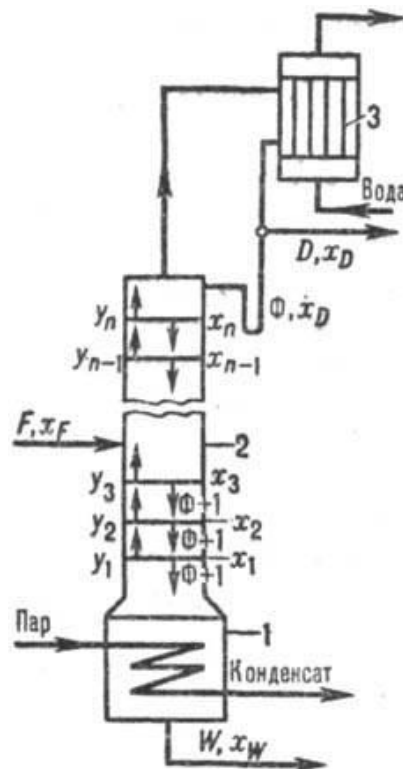


Рисунок 2.2 – Ректифікаційна установка безперервної дії:

1 – кубовипарник; 2 – колони; 3 – конденсатор (дефлегматор)

Верхній продукт (D) з високою концентрацією низькокиплячого компонента (X_D) забирається з дефлегматора. Дефлегматор – це частина колони, де відбувається конденсація парів і повернення флегми (утворена конденсована рідина) назад в колону для утворення більш концентрованої флегми.

Збіднений компонентом залишок (W) з концентрацією (X_W) відводиться в якості нижнього продукту з кубовипарника. Кубовипарник – це частина колони, де пари утворюються з рідкого компонента. Утворені пари піднімаються по колоні, контактуючи з рідиною на тарілках від 1 до n . На кожній тарілці відбувається обмін масами і тепла між паровою і рідкою фазами. Флегма (Φ) – це утворений конденсат, що повертається у верхню частину колони, де вона служить для створення додаткового контакту між фазами для подальшого розділення компонентів.

У цьому процесі ректифікації основна ідея полягає в тому, що пари компонентів піднімаються вгору і взаємодіють з рідиною на тарілках, де вони конденсуються і повертаються вниз для подальшого розділення. Така колона дозволяє збагачувати верхній продукт (D) легкими компонентами і відділяти важкі компоненти у нижньому продукті (W).

Матеріальний баланс ректифікаційної колони.

За потоками та легколетким компонентом відповідно:

$$G_F = G_D + G_W; \quad G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W, \quad (2.1)$$

де G_F , G_D , G_W – масові або мольні витрати живлення, дистиляту та кубового залишку відповідно.

Тепловий баланс ректифікаційної колони.

Прихід тепла:

- з теплоносієм в кип'ятильнику Q_K ;
- з вихідною сумішшю Q_F ;
- з флегмою Q_Φ .

Витрата тепла:

- з парами, які надходять з колони в дефлегматор Q_G ;
- із залишком Q_W ;
- втрати в навколишнє середовище Q_Π .

Таким чином, рівняння теплового балансу запишеться у вигляді:

$$Q_K + Q_F + Q_\Phi = Q_G + Q_W + Q_\Pi. \quad (2.2)$$

Взаємозв'язок між концентрацією легколетких компонентів (ЛЛК) у газовій фазі і концентрацією ЛЛК у рідині на кожному рівні колони має певну співвідношеність. Ця співвідношеність визначається через робочу лінію, і вона грає важливу роль у ректифікаційних процесах.

Робоча лінія – це графічне вираження залежності між концентрацією ЛЛК у газовій фазі і концентрацією ЛЛК у рідині для конкретного рівня колони. Ця лінія вказує, яким чином ЛЛК переходять від рідини до пари. Графік робочої лінії допомагає визначити оптимальні умови для досягнення бажаної концентрації ЛЛК у верхньому продукті колони.

Умови адіабатичного режиму, коли не відбувається обмін теплом з навколишнім середовищем, можуть виникати в деяких ректифікаційних процесах. Це спрощує обчислення та дозволяє краще керувати процесом.

Загалом, робоча лінія і умови адіабатичного режиму є важливими аспектами для розуміння і оптимізації ректифікаційних процесів, що використовуються для розділення сумішей рідин на їхні складові компоненти на основі різниці в їхніх фізичних властивостях.

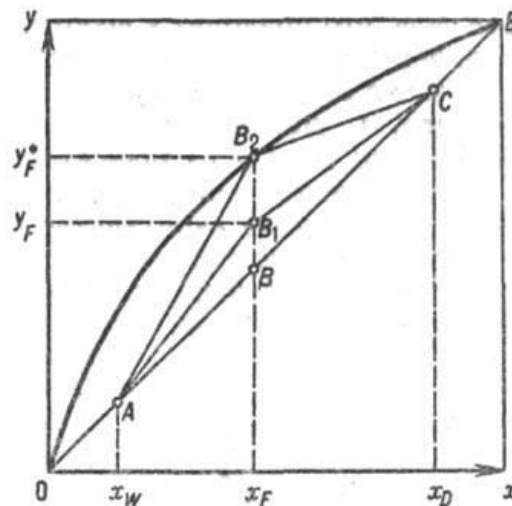


Рисунок 2.3 – Положення робочих ліній на $y - x$ діаграмі

Так, робоча лінія є дійсно ключовим поняттям у ректифікаційних процесах, оскільки вона надає важливу інформацію щодо зміни концентрації легколетких компонентів (ЛЛК) під час їхнього проходження через колону. Розуміння робочої лінії дозволяє оптимізувати роботу ректифікаційної колони, керуючи умовами процесу для досягнення бажаних концентрацій і виходів продуктів:

$$y = x \frac{R}{R+1} + \frac{x}{R+1}, \quad (2.3)$$

де $R = \Phi/D$ – флегмове число.

Рівняння робочої лінії для вичерпної частини ректифікаційної колони визначає залежність концентрації легколетких компонентів у паровій фазі від їхніх концентрацій у рідині, коли газова фаза переходить у рідину через масообмін і дифузію.

У вичерпній частині колони, де ще не введено живлення і де рідина піддається подальшій концентрації і очищенню, робоча лінія грає ключову роль у визначенні того, які зміни в концентраціях різних компонентів відбуваються внаслідок масообміну і дифузії між газовою і рідкою фазами. Це важливо для розуміння та керування процесом розділення компонентів у колоні.

Рівняння робочої лінії враховує різницю в молярних теплотах випаровування компонентів і їхню взаємодію під час подальшого проходження через колону. Це допомагає аналізувати та оптимізувати процес перетворення рідини в пар та визначати оптимальні умови для досягнення бажаних концентрацій у вихідному продукті.

$$y = x \frac{R+f}{R+1} + x_w \frac{1-f}{R+1}, \quad (2.4)$$

де $f = F/D$.

Аналіз робочих ліній на діаграмі є важливим інструментом для визначення оптимальних умов роботи ректифікаційного процесу та для підвищення ефективності виділення певних компонентів у суміші. Ця діаграма надає важливу інформацію про залежність концентрацій компонентів у рідині та газовій фазі на різних рівнях колони. Інженери та оператори можуть використовувати цю діаграму для оптимізації процесу, встановлення оптимальних параметрів, таких як тиск і температура, і визначення, як досягти бажаної концентрації компонентів у вихідному продукті. Вона також допомагає спростити контроль над процесом і забезпечити стабільну та ефективну роботу ректифікаційної колони.

Ця діаграма особливо корисна у хімічному виробництві та інших галузях промисловості, де ректифікаційні процеси використовуються для розділення і очищення різних речовин. Вона дозволяє досягнути кращих результатів і знизити витрати енергії та ресурсів, що є важливими аспектами в промисловому виробництві.

Мінімальна кількість теоретичних тарілок в колоні визначається за допомогою рівняння Фенске-Андервуда:

$$N_{\min} = \frac{\lg\left(\frac{X_{di} \cdot X_{wj}}{X_{dj} \cdot X_{wi}}\right)}{\lg\left(\frac{K_i}{K_j}\right)}, \quad (2.5)$$

де X_{di}, X_{dj} – мольна концентрація легкого і важкого ключового компонента в дистилляте відповідно;

X_{wi}, X_{wj} – молярна концентрація легкого і важкого ключового компонента в кубовому залишку відповідно;

K_i, K_j – константа фазового рівноваги легкого і важкого ключового компонента відповідно.

А число теоретичних тарілок в колоні знаходять по залежності:

$$N = 1,7 \cdot N_{\min} + 0,7. \quad (2.6)$$

Внутрішній діаметр колони може бути розрахований за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{сек}}{\pi \cdot w'}}, \quad (2.7)$$

де $V_{сек}$ – максимальний секундний обсяг парів, що проходять через перетин колони, м³/с;

w' – робоча швидкість парів у повному перерізі колони, м/с.

2.3 Пристрій і принцип дії запроєктованого апарату

Тарілчасті колони використовуються в ректифікаційних процесах через їх здатність забезпечувати ефективне розділення сумішей рідин і парів. Однією з основних переваг тарілчастих колон є можливість працювати при широкому діапазоні змін навантажень за паровою фазою і рідиною. Це робить їх важливими для виробництва спирту і інших подібних процесів, де рідкісні суміші мають бути розділені на компоненти з високою чистотою.

Що стосується високого гідравлічного опору, якщо це не має суттєвого значення в контексті процесу ректифікації, то це може бути менш важливим недоліком. Зазвичай, гідравлічний опір тарілчастих колон вирішується через налагодження режиму роботи і регулювання тиску та температури. Головна мета тарілчастої колони – забезпечити ефективне розділення компонентів у суміші, і якщо ця мета досягається, то високий гідравлічний опір може бути малозначущим. У нашому випадку об'єктом дослідження є тарілчаста ректифікаційна колона (рис. 2.4).

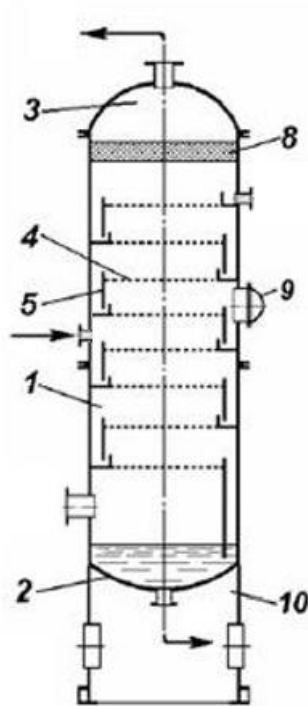


Рисунок 2.4 – Ескіз тарілчастої ректифікаційної колони:

- 1 – корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – ситчасто-клапанна тарілка;
 5 – переливна стінка; 6 – полотно тарілки; 7 – переливна планка;
 8 – бризковловлювач; 9 – люк-лаз; 10 – циліндрична опора

Апарат складається з циліндричної обичайки, яка є основною частиною корпусу. Цей корпус служить основною рамою для роботи апарату. До циліндричної обичайки прикріплені еліптична кришка (верхня частина) і еліптичне днище (нижня частина). Кришка і днище зазвичай закривають апарат і забезпечують герметичність та стабільність роботи.

Проаналізувавши сучасні конструкції масообмінних контактних пристроїв, для процесу розділення бінарної суміші метанол – вода, у якості внутрішніх контактних пристроїв, використовуємо тарілку ситчато-клапанного типу (рис. 2.5).

Таким чином, усередині корпусу колони горизонтально встановлені контактні пристрої у вигляді ситчато-клапанних тарілок. Тарілки розташовані одна під одною в певному порядку. Їх основна функція – створення спрямованого руху фаз у процесі ректифікації.

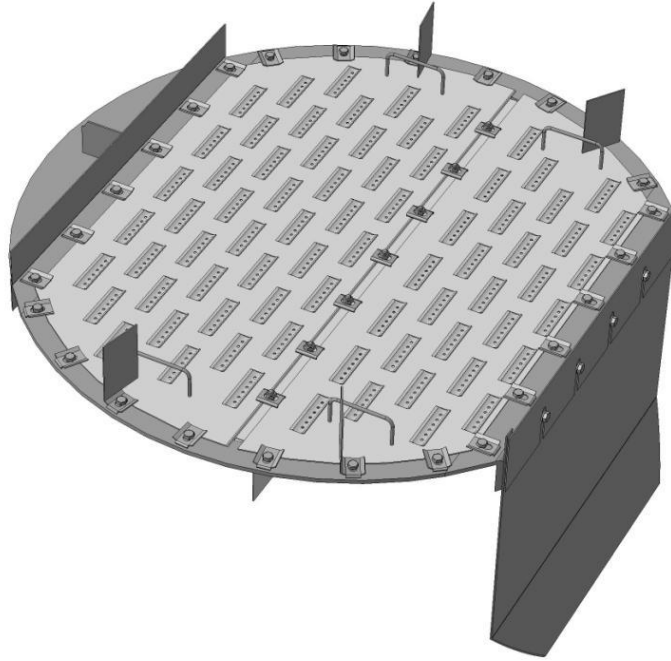


Рисунок 2.5 – Модель ситчато-клапанної тарілки

Даний тип тарілок сприяє ефективному розділенню компонентів суміші за їхньою різницею в кипінні та конденсації, як і в інших багаторазових контакторах або колонах з тарілками. Принцип роботи таких тарілок полягає в тому, що вони дозволяють рідині та парі проходити через перфоровану клапанну пластину. Клапани можуть відкриватися та закриватися, дозволяючи рідині та парі взаємодіяти, а потім проходити наступну тарілку. Це створює багаторазову можливість контакту між фазами і покращує розділення компонентів.

Ключовими перевагами цього типу тарілок є:

1. Зменшення гідравлічного опору. Ситчато-клапанні тарілки зазвичай мають менший гідравлічний опір порівняно з тарілками, які використовують традиційні клапани або заслінки. Це сприяє покращенню процесу розподілу газу та рідини на тарілці.
2. Розширений діапазон роботи. Ситчато-клапанні тарілки можуть працювати ефективно як при малих, так і при великих продуктивностях по газу. Це забезпечує більшу гнучкість в

налаштуванні процесу і дозволяє забезпечити стабільну роботу в різних умовах.

3. Взаємодія газу і рідини. Відкриття клапана в ситчато-клапанних тарілках дозволяє газові виходити під деяким кутом, що сприяє переміщенню рідини в напрямку зливу та зменшенню різниці рівнів рідини на тарілці. Ця функція допомагає покращити ефективність розділення газу і рідини.

Такі тарілки мають вигоду в технологічному виготовленні та обслуговуванні. Вони є менш складними у виробництві, а це може призвести до зменшення витрат і економії ресурсів. Крім того, низька металоємність може бути важливою з точки зору вартості та ваги самого обладнання.

Відсутність градієнта рівня рідини означає, що рідина рівномірно розподіляється на тарілці. Це важливо для ефективної роботи процесу ректифікації або дистиляції, оскільки допомагає забезпечити однаковий контакт рідини і газу на всій поверхні тарілки, що підвищує якість розділення компонентів.

Зазначена надійність в роботі важлива для безперебійного функціонування процесу. Тарілки цієї конструкції, які прості у виготовленні та обслуговуванні, можуть бути менш схильними до поломок або зносу, що гарантує стабільність процесу.

2.4 Технологічні розрахунки [9, 10]

Вихідні дані для розрахунку: добова продуктивність за вихідною сумішшю становить 120 тонн. Вміст легколеткого компонента: у вихідній суміші – 40 % мас.; у дистиляті – 98,5 % мас.; у кубовому залишку – 1,5 % мас. Тиск у колоні прийняти атмосферний.

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків:

$$G_f = G_D + G_W; \quad (2.8)$$

за легколетким компонентом:

$$G_f \cdot \overline{x_f} = G_D \cdot \overline{x_D} + G_W \cdot \overline{x_W}; \quad (2.9)$$

Спільне розв'язання рівнянь (2.8) і (2.9) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистилляту і кубового залишку:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\overline{x_f} - \overline{x_W}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \quad (2.10)$$

$$G_D = \frac{120 \cdot 1000}{24} \cdot \frac{0,40 - 0,015}{0,985 - 0,015} = 1985 \text{ кг/год.}$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\overline{x_D} - \overline{x_f}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \quad (2.11)$$

$$G_W = 5000 \cdot \frac{0,985 - 0,40}{0,985 - 0,015} = 3015 \text{ кг/год.}$$

Криву рівноваги (рис. 2.6) будемо в координатах $y - x$ за довідковими даними при рівноважних складах рідини і пари у залежності від температури.

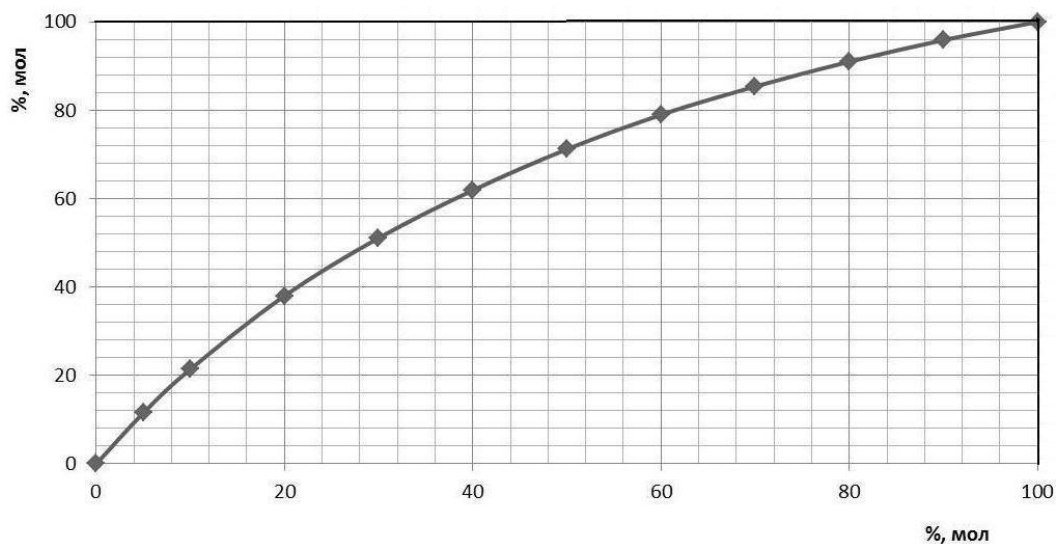


Рисунок 2.6 – Діаграма $y-x$ суміші метанол – вода

Визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}; \quad (2.12)$$

де y_f^* – склад пари, яка перебуває в рівновазі з вихідною сумішшю;
 $y_f^* = 0,51$ – визначається з кривої рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,94 - 0,51}{0,51 - 0,30} = 2,05$$

Визначаємо оптимальне флегмове число R , $\beta = 1,5$:

$$R = \beta \cdot R_{\min} = 1,5 \cdot 2,05 = 3,075 \quad (2.13)$$

Значення оптимального флегмового числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати стікаючої по колоні флегми і парів, що підіймаються:

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.14)$$

$$G_R = 3,075 \cdot 1985 = 6104 \text{ кг/год.}$$

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.15)$$

$$G_V = (3,075 + 1) \cdot 1985 = 8089 \text{ кг/год.}$$

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями:

– для верхньої частини колони

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.16)$$

– для нижньої частини колони

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.17)$$

де F – число живлення, що визначається за формулою:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F}; \quad (2.18)$$

$$F = \frac{5000}{1985} \cdot \frac{78,8}{87,8} = 2,3.$$

Середні молярні концентрації рідини визначаються за середньоарифметичними залежностями:

– у верхній частині колони:

$$x'_{cp} = \frac{(x_f + x_D)}{2}; \quad (2.19)$$

– у нижній частині колони:

$$x''_{cp} = \frac{(x_f + x_W)}{2}; \quad (2.20)$$

$$x'_{cp} = \frac{(0,30 + 0,94)}{2} = 0,62;$$

$$x''_{cp} = \frac{(0,30 + 0,05)}{2} = 0,175.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній:

– у верхній частині колони:

$$y'_{cp} = \frac{R}{R+1} \cdot x'_{cp} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.21)$$

– у нижній частині колони:

$$y''_{cp} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x''_{cp} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.22)$$

$$y'_{cp} = \frac{3,075}{3,075+1} \cdot 0,62 + \frac{0,94}{3,075+1} = 0,70;$$

$$y''_{cp} = \frac{2,3+3,075}{3,075+1} \cdot 0,175 - \frac{2,3-1}{3,075+1} \cdot 0,05 = 0,21.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами:

– у верхній частині колони:

$$M'_{cp} = y'_{cp} \cdot M_{ллк} + (1 - y'_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.23)$$

– у нижній частині колони:

$$M_{cp}'' = y_{cp}'' \cdot M_{лк} + (1 - y_{cp}'') \cdot M_{млк}; \quad (2.24)$$

$$M_{cp}' = 0,70 \cdot 78 + (1 - 0,70) \cdot 92 = 82,2 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{cp}'' = 0,21 \cdot 78 + (1 - 0,21) \cdot 92 = 89,1 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони:

$$\rho_y' = \frac{M_{cp}' \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_y')}; \quad (2.25)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_y'' = \frac{M_{cp}'' \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_y'')}; \quad (2.26)$$

де $t_y' = 90^\circ\text{C}$ – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації y_{cp}' (визначається за діаграмою);

$t_y'' = 100^\circ\text{C}$ – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації y_{cp}'' (визначається за діаграмою).

$$\rho_y' = \frac{82,2 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 90)} = 2,76 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_y'' = \frac{88,5 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 100)} = 2,85 \text{ кг/м}^3$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho'_x = x'_{cp} \cdot \rho'_{ллк} + (1 - x'_{cp}) \cdot \rho'_{тлк}; \quad (2.27)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_x = x''_{cp} \cdot \rho''_{ллк} + (1 - x''_{cp}) \cdot \rho''_{тлк}; \quad (2.28)$$

де $\rho'_{ллк}$, $\rho''_{ллк}$, $\rho'_{тлк}$, $\rho''_{тлк}$ – густини рідини легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах t'_x , t''_x ;

$t''_x = 102^\circ\text{C}$ – середня температура рідини в нижній частині колони в залежності від концентрації x''_{cp} .

$$\rho'_x = 0,62 \cdot 805 + (1 - 0,62) \cdot 800 = 803 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho''_x = 0,175 \cdot 790 + (1 - 0,175) \cdot 785 = 786 \text{ кг/м}^3$$

Середні в'язкості рідини обчислюються за формулами:

– у верхній частині колони:

$$\lg \mu'_x = x'_{cp} \cdot \lg \mu'_{ллк} + (1 - x'_{cp}) \cdot \lg \mu'_{тлк}; \quad (2.29)$$

– у нижній частині колони:

$$\lg \mu''_x = x''_{cp} \cdot \lg \mu''_{ллк} + (1 - x''_{cp}) \cdot \lg \mu''_{тлк}; \quad (2.30)$$

де $\mu'_{ллк}$, $\mu''_{ллк}$, $\mu'_{млк}$, $\mu''_{млк}$ – в'язкості рідких легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах t'_x і t''_x .

$$\mu'_{ллк} = 0,295 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu'_{млк} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu''_{ллк} = 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu''_{млк} = 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu'_x = 0,000293 \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu''_x = 0,000268 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Теплове навантаження кип'ятильника визначається за формулою:

$$Q_W = G_V \cdot r_w = G_V \cdot \left(r_{ллк} \cdot \bar{x}_w + r_{млк} \cdot (1 - \bar{x}_w) \right); \quad (2.31)$$

де $r_{ллк} = 379,2$ кДж/кг, $r_{млк} = 390,1$ кДж/кг – питома теплота випаровування легколетючого і важколетючого компонентів при усереднених температурах [10].

$$Q_W = \frac{8089}{3600} \cdot (379,2 \cdot 0,015 + 390,1 \cdot (1 - 0,015)) = 876 \text{ кВт}.$$

Витрата гріючої пари у кип'ятильнику визначається за формулою:

$$G_{г.п.} = Q_W / r_{г.п.}, \quad (2.32)$$

де $r_{г.п.} = 2250$ кДж/кг – питома теплота випаровування гріючої пари.

$$G_{г.п.} = \frac{876}{2250} = 0,39 \text{ кг/с}.$$

Теплове навантаження дефлегматора розраховується за формулою:

$$Q_D = G_V \cdot r_d = G_V \cdot \left(r_{ллк} \cdot \bar{x}_D + r_{млк} \cdot (1 - \bar{x}_D) \right); \quad (2.33)$$

$$Q_D = \frac{8089}{3600} \cdot (379,2 \cdot 0,985 + 390,1 \cdot (1 - 0,985)) = 852 \text{ кВт.}$$

Витрата води в дефлегматорі визначається за формулою:

$$G_v = \frac{Q_D}{C_v \cdot (t_{кв} - t_{нв})}, \quad (2.34)$$

де $C_v = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ – питома теплоємність охолоджуючої води [10].

$$G_v = \frac{852}{4,2 \cdot 20} = 10,1 \text{ кг/с.}$$

2.5 Конструктивні розрахунки [11]

Граничну і робочу швидкості парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулами:

$$\omega' = (0,75 \div 0,9) \cdot \omega_{np}; \quad (2.35)$$

де ω_{np} – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

$$\omega_{np} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}}; \quad (2.36)$$

де $c=0,043$ при відстані між тарілками $H=400 \text{ мм}$ – коефіцієнт, який вибирається в залежності від конструкції тарілок і відстані між ними.

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega'_{np} = 0,043 \cdot \sqrt{\frac{803 - 2,76}{2,76}} = 0,73 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega''_{np} = 0,043 \cdot \sqrt{\frac{786 - 2,85}{2,85}} = 0,71 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega' = 0,8 \cdot 0,73 = 0,58 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = 0,8 \cdot 0,71 = 0,57 \text{ м/с}$$

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює:

– у верхній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.37)$$

– у нижній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R + F}{R + 1}; \quad (2.38)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3,075}{3,075+1} = 0,75$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{3,075+2,3}{3,075+1} = 1,32$$

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V' = \frac{G_V}{\rho_y'}; \quad (2.39)$$

– у нижній частині колони

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.40)$$

$$V' = \frac{8089}{2 \cdot 3600 \cdot 2,76} = 0,41 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V'' = \frac{8089}{2 \cdot 3600 \cdot 2,85} = 0,39 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр колони розраховується за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.41)$$

– для верхньої частини колони:

$$D' = \sqrt{\frac{0,41}{0,785 \cdot 0,58}} = 0,95 \text{ м}$$

– для нижньої частини колони:

$$D'' = \sqrt{\frac{0,39}{0,785 \cdot 0,57}} = 0,94 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий більший діаметр колони зі стандартного ряду $D_k=1000$ мм.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні дорівнюють:

$$w_s = 0,58 \cdot \left(\frac{0,95}{1,0}\right)^2 = 0,52 \text{ м/с}$$

$$w_n = 0,57 \cdot \left(\frac{0,95}{1,0}\right)^2 = 0,51 \text{ м/с}$$

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою і рівноважною лініями (Додаток А) число теоретичних тарілок дорівнює $N'_m = 9$ шт., $N''_m = 7$ шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою, так званого, середнього к.к.д. тарілки [12]:

$$N_d = N_T / \eta; \quad (2.42)$$

де η – к.к.д. тарілки.

Для визначення середнього к.к.д. тарілок знаходимо коефіцієнт відносної летючості розділюваних компонентів α і динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші μ .

$$\alpha = P_{лк} / P_{млк},$$

де $P_{лк}$, $P_{тлк}$ – тиск насиченої пари легколеткого і труднолеткого компонентів при середній температурі в колоні.

$$P'_{лк} = 400 \text{ мм.рт.ст}; P''_{лк} = 600 \text{ мм.рт.ст};$$

$$P'_{тлк} = 150 \text{ мм.рт.ст}; P''_{тлк} = 200 \text{ мм.рт.ст}.$$

$$\alpha' = 400/150 = 2,67$$

$$\alpha'' = 600/200 = 3$$

$$\mu'_x = 0,000293 \text{ Па}\cdot\text{с}, \mu''_x = 0,000268 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\alpha' \cdot \mu'_x = 1,07; \alpha'' \cdot \mu''_x = 1,01$$

За графіком [11] знаходимо $\eta'=0,55$; $\eta''=0,55$.

Число тарілок:

– у верхній частині колони

$$N_d = 9/0,55 \approx 16 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колони

$$N_d = 7/0,55 \approx 13 \text{ шт.}$$

Висота тарілчастої частини колони залежить від числа дійсних тарілок N_d і прийнятої відстані між ними:

$$H_T = (N_d - 1) \cdot H, \quad (2.43)$$

де $N_d=29$ – загальна кількість тарілок;

$H=400\text{мм}$ – відстань між тарілками.

$$H_T=(29-1)\cdot 400=11200\text{ мм.}$$

Діаметр патрубку визначається за формулою:

$$D=\sqrt{\frac{G}{\rho\cdot 3600\cdot 0,785\cdot \omega}}; \quad (2.44)$$

де ω – швидкість пара або рідини, м/с.

Швидкість пари приймається в межах 15–20 м/с, швидкість рідини 0,5–2 м/с.

Діаметри патрубків для входу і виходу парів:

$$d_v=\sqrt{\frac{8089}{2\cdot 3600\cdot 2,85\cdot 0,785\cdot 15}}=0,183\text{ м}$$

Приймаємо діаметри патрубків $d_v=200\text{ мм}$.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_R=\sqrt{\frac{3072}{3600\cdot 803\cdot 0,785\cdot 0,5}}=0,05\text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_R=50\text{ мм}$.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

$$d_f=\sqrt{\frac{5000}{3600\cdot 785\cdot 0,785\cdot 0,5}}=0,06\text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_f=60\text{ мм}$.

Діаметр патрубкa для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{3015}{3600 \cdot 786 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,052 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубкa $d_w=60$ мм.

2.6 Гідравлічний опір колони [11]

Обчислимо гідравлічний опір ситчасто-клапанної тарілки у верхній і нижній частинах колони:

$$\Delta p_{\text{заг}} = \Delta p_{\text{сyx}} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{\text{np}}, \text{ Па} \quad (2.45)$$

де $\Delta p_{\text{сyx}}$ – гідравлічний опір сухої тарілки, Па;

Δp_{σ} – опір, зумовлений силами поверхневого натягу, Па;

Δp_{np} – опір парорідинного шару, Па.

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{\text{сyx}} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot \omega_{\text{оме}}^2}{2}, \quad (2.46)$$

де ξ – коефіцієнт опору незрошуваних тарілок з вільним перетином 5–10 %; $\xi=1,82$ [11];

$\omega_{\text{оме}}$ – швидкість пари в отворах тарілки.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{\text{оме}} = \frac{w}{F}, \quad (2.47)$$

де w – дійсна робоча швидкість парів, м/с;

F – вільний перетин тарілки (сумарна площа отворів); $F=5,14\%$ [11].

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma}{d_0}; \quad (2.48)$$

де $\sigma = 20,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у верхній частині колони [10];

$\sigma = 18,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у нижній частині колони [10];

$d_0 = 0,004$ м – діаметр отворів тарілки [11].

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot h_{np} \cdot \rho_{np} \cdot g \cdot k, \text{ Па} \quad (2.49)$$

де h_{np} – висота парорідинного шару, м.

$$h_{np} = h_n + \Delta h, \text{ м} \quad (2.50)$$

де h_n – висота зливної перегородки, м;

Δh – висота шару над зливною перегородкою, м.

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}}, \text{ м} \quad (2.51)$$

де V_p – об'ємна витрата рідини, м³/с;

Π – периметр зливної перегородки, м;

$k = \rho_{np} / \rho_p$ – відношення густини парорідинного шару (піни) до густини рідини, $k \approx 0,5$ [11].

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{G_D \cdot R \cdot M_{cp}}{M_D \cdot \rho_p} \quad (2.52)$$

де R – флегмове число;

M_{cp} – середня мольна маса рідини, кг/кмоль.

Периметр зливної перегородки знаходимо, розв'язуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} \left(\frac{\Pi}{2}\right)^2 + (R-b)^2 = R^2 \\ 0,1 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{2}{3} \cdot \Pi \cdot b \end{cases} \quad (2.53)$$

де $R=0,5$ м – радіус тарілки;

$\frac{2}{3} \cdot \Pi \cdot b$ – наближене значення площі сегмента.

Умова нормальної роботи тарілок:

$$H_m > 1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_p \cdot g} \quad (2.54)$$

де H – міжтарілчаста відстань, м.

Мінімальна швидкість пари в отворах, достатня для того, щоб тарілка працювала усіма отворами:

$$w_{o.min} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_p \cdot h_{np}}{\xi \cdot \rho_n}}, \quad (2.55)$$

Верхня частина колони

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{0,52}{0,0514} = 10,1 \text{ м/с.}$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = 1,82 \cdot \frac{2,76 \cdot 10,1^2}{2} = 256 \text{ Па.}$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 20,5 \text{ Па.}$$

Розв'язавши систему рівнянь, отримуємо: $\Pi=0,73$ м, $b=0,161$ м.

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{1,11 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,014 \text{ м.}$$

Висота пароріднинного шару:

$$h_{np} = 0,04 + 0,014 = 0,054 \text{ м.}$$

Опір пароріднинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot 0,054 \cdot 803 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 276 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p'_{заг} = 256 + 20,5 + 276 = 552,5 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір у верхній частині колони становить:

$$\Delta p' = \Delta p'_{заг} \cdot N'_d, \quad (2.56)$$

$$\Delta p' = 552,5 \cdot 16 = 8840 \text{ Па.}$$

Нижня частина колони

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{oms} = \frac{0,51}{0,0514} = 9,9 \text{ м/с.}$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = 1,82 \cdot \frac{2,85 \cdot 9,9^2}{2} = 254 \text{ Па.}$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 18,5 \text{ Па.}$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{2,6 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,025 \text{ м.}$$

Висота пароріднинного шару:

$$h_{np} = 0,04 + 0,025 = 0,065 \text{ м.}$$

Опір пароріднинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot 0,065 \cdot 786 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 326 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p''_{заг} = 254 + 18,5 + 326 = 598,5 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір у нижній частині колони становить:

$$\Delta p'' = \Delta p''_{заг} \cdot N''_{\delta}, \quad (2.57)$$

$$\Delta p'' = 598,5 \cdot 13 = 7780 \text{ Па.}$$

Перевіримо умову нормальної роботи тарілки нижньої частини колони, у якої гідравлічний опір більший, аніж у тарілки верхньої частини:

$$1,8 \cdot \frac{\Delta p''}{\rho_p \cdot g} = 1,8 \cdot \frac{598,5}{786 \cdot 9,81} = 0,14.$$

Це підтверджує правильність прийнятої раніше відстані між тарілками $H_T = 400 \text{ мм}$, оскільки $0,4 > 0,14$.

Перевіримо рівномірність роботи тарілок:

$$w_{o \text{ мин}} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 786 \cdot 0,065}{1,82 \cdot 2,85}} = 6,59 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

9,9 м/с > 6,59 м/с – отже, тарілки працюватимуть усіма отворами.

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta p = \Delta p' + \Delta p'' ; \quad (2.58)$$

$$\Delta p = 8840 + 7780 = 16620 \text{ Па.}$$

2.7 Вибір допоміжного обладнання [11, 12]

Розрахунок і підбір насосу для подачі вихідної суміші [12].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, як дорівнює $w = 2 \frac{м}{с}$.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.59)$$

де V – об'ємна витрата суміші, що подається в колону.

$$V = \frac{4000}{3600 \cdot 800} = 1,39 \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{с};$$

$$d = \sqrt{\frac{1,39 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,029 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \quad (2.60)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 800}{2,65 \cdot 10^{-4}} = 193208,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м.

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 0,00625; \quad \frac{1}{e} = 160; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 89600; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 1600; \quad \text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.61)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,00625^{0,25} = 0,03.$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та напірної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

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

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2;$$

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

Для напірної лінії:

- 1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0,65$;
- 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;
- 3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3,05$;
- 4) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4;$$

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 + 3,05 + 1 = 8.$$

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.62)$$

де l, d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,03 \cdot \frac{3}{0,032} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,1 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left(0,03 \cdot \frac{7}{0,032} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 3,0 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.63)$$

$$h_{П.} = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{ж} \cdot g} + H_{Г.} + h_{П.}, \quad (2.64)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку, враховуючи, що тиск у колоні атмосферний, ця різниця дорівнює 0 МПа;

H_r – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = 5 + 4,1 = 9,1 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.65)$$

$$N_{II} = 800 \cdot 9,81 \cdot 1,39 \cdot 10^{-3} \cdot 9,1 = 99 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку повинен розвинути електродвигун насоса на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{nep} \cdot \eta_n}, \quad (2.66)$$

де η_n, η_{nep} – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо $\eta_n = 0,6$ і $\eta_{nep} = 1$.

$$N = \frac{99}{1 \cdot 0,6} = 165 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-8,5/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насоса 8,5 м³/год.; напір насоса 25 м; потужність, яку потребує насосом 7,5 кВт; частота обертів 1450 об/хв.

Розрахунок і вибір ємності [11]. Ємність для зберігання суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.67)$$

$$V_{EP} = \frac{4000 \cdot 7}{0,82 \cdot 800} = 42,7 \text{ м}^3.$$

Задамося діаметром ємності $D = 3,6 \text{ м}$, тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{42,7}{0,785 \cdot 3,6^2} = 4,2 \text{ м}.$$

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [13, 14]

При виборі матеріалів для виготовлення хімічних апаратів та машин дуже важливо враховувати різні фактори, такі як механічні властивості, технологічність, хімічна стійкість і теплопровідність. Стандарти та нормативи, такі як ДСТУ 3-17-191-2000, допомагають визначити вимоги до матеріалів у конкретних умовах експлуатації.

Для хімічних процесів, які можуть викликати корозію або інші хімічні реакції, часто використовуються спеціальні корозійностійкі матеріали, такі як нержавіюча сталь або спеціалізовані полімери. Крім того, важливо враховувати температурний режим і тиск, з якими апарат або машина буде працювати, оскільки це може впливати на вибір матеріалу.

Загалом, правильний вибір матеріалу для виготовлення апаратів і машин є критичним для забезпечення безпеки та ефективності хімічних процесів і технологічних виробництв.

Механічні властивості матеріалу, такі як межа міцності, відносне подовження, твердість і ударна в'язкість, мають велике значення, оскільки апарати і машини можуть піддаватися механічному навантаженню або тиску. Температура також може суттєво впливати на ці властивості. Оскільки багато хімічних апаратів мають складну геометрію, зварювання є основним методом з'єднання компонентів. Тому важливо, щоб матеріал був добре зварюваним, і зварювальні роботи виконувалися з високою якістю.

Одні з найбільш важливих властивостей для матеріалів, призначених для хімічних апаратів, це їхній стійкість до корозії. Хімічні реакції з робочим середовищем можуть виснажити матеріал, тому необхідно вибирати матеріали, які можуть стійко переносити хімічну агресію.

Для деяких додаткових процесів важливо враховувати теплопровідність матеріалу, оскільки це може впливати на теплообмін в апаратах. Рабо-

чий температурний діапазон також визначається характеристиками матеріалу. Деякі матеріали підходять для низьких температур, інші – для високих.

Із огляду на вищезазначені критерії, для виготовлення основних деталей та вузлів спиртової ректифікаційної колони вибираємо сталь 12X18H10T.

Ця сталь також маркується як 12Cr18Ni10Ti, є високоякісною сталлю, яка відома своєю стійкістю до корозії та використовується для виробництва різних деталей та виробів, особливо в агресивних середовищах, які вимагають високої корозійної стійкості. Вміст хрому (Cr), нікелю (Ni) та титану (Ti) додає сталі високу корозійну стійкість. Також вона містить вуглець (C) і молібден (Mo) в невеликих кількостях. Володіє високою корозійною стійкістю в агресивних середовищах, включаючи окиснювальні кислоти та солеві розчини. Це робить її популярним вибором для виробництва обладнання, яке буде експлуатуватися в хімічних, петрохімічних та харчових промисловостях.

Сталь 12X18H10T має добру термічну стійкість і може витримувати високі температури. Вона легко обробляється, включаючи різання, зварювання і формування.

Для виготовлення опори ректифікаційної колони використаємо сталь Ст3. Ст3 – це загальноприйнятий стандарт сталі в багатьох галузях через її надійність і міцність. Вона може забезпечити необхідну структурну стабільність обладнання та витримувати навантаження.

Сталь Ст3 має низький вміст вуглецю, що робить її досить м'якою і легкою у виготовленні та обробці. Вона має високу міцність та деформаційну стійкість, що дозволяє їй витримувати навантаження та зберігати структурну стабільність. Добре піддається зварюванню, що робить її популярним вибором для виробництва зварюваних конструкцій та металоконструкцій. Вона є відносно дешевою і досить поширеною, що робить її доступною для багатьох галузей промисловості. Загалом, сталь Ст3 використовується для виробництва сталевих конструкцій, таких як балки, стійки, опори, металоконструкції, а також для армування бетону в будівництві.

Для виготовлення прокладок в хімічному обладнанні використання фторопласту-4 (PTFE) є відмінним вибором. Фторопласт-4 володіє високою стійкістю до багатьох хімічних речовин. Це робить його ідеальним матеріалом для використання в хімічному обладнанні, де важлива стійкість до корозії. Фторопласт-4 може витримувати високі температури без деформації або розкладання, що робить його придатним для використання в різних термічних умовах. Також він має низький коефіцієнт тертя, що сприяє зменшенню зносу і забезпечує довгий термін служби прокладок. Цей матеріал є добрим ізолятором і не проводить електрику, що важливо в деяких хімічних процесах і умовах.

Фторопласт-4 є непроникним для багатьох речовин, що робить його безпечним для використання в контакті з продуктами, та має високу стійкість до впливу ультрафіолетового випромінювання та вологості, що робить його довговічним матеріалом.

3.2 Розрахунки апарата на міцність, стійкість та герметичність

Розрахунок товщини стінки апарату.

Матеріал обичайки – 12X18H10T.

Товщина стінки апарату для циліндричної обичайки визначається за формулою:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_p \cdot D_\varepsilon}{2\phi[\sigma] - p_p} \\ \frac{p_n \cdot D_\varepsilon}{2\phi[\sigma]_n - p_n} \end{array} \right. \quad (3.1)$$

де P_p – розрахунковий тиск, МПа;

P_n – пробний тиск, МПа;

D_B – зовнішній діаметр, мм;

$[\sigma]$ – нормативне допустиме напруження, МПа;

φ – коефіцієнт міцності зварних з'єднань.

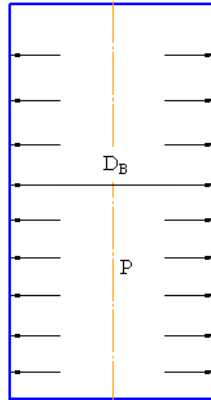


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема обичайки

Знаходимо величину нормативного допустимого напруження для сталі 12Х18Н10Т при розрахунковій температурі: $[\sigma] = 145$ МПа.

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_{T20}}{1,1}, \quad (3.2)$$

де σ_{T20} – межа плинності матеріалу при температурі $t = 20^{\circ}\text{C}$.

$$[\sigma]_n = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа.}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях:

$$p_n = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]} \\ p + 0,3 \end{array} \right\}; \quad (3.3)$$

$$p_n = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,12 \cdot \frac{240}{145} \\ 0,12 + 0,3 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \\ 0,42 \end{array} \right\} = 0,42 \text{ МПа.}$$

Тоді розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки дорівнює:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,12 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 145 - 0,12} \\ \frac{0,42 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 218 - 0,42} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,41 \\ 0,96 \end{array} \right\} = 0,96 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S = S^p + C_1 + C_2 + C_3 \quad (3.4)$$

де $C_1 = \Pi \cdot \tau$ – корозійна прибавка (Π – проникність матеріалу, мм на рік;

τ – термін служби апарату);

C_2 – прибавка на ерозію;

C_3 – технологічна прибавка.

Згідно рекомендацій [1]: $C_2=0$, $C_3=0$, $\Pi=0,145$ мм/рік, $\tau=15$ років.

$$C_1 = 0,145 \cdot 15 = 2,175.$$

Тоді

$$S = 0,96 + 2,175 = 3,14 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартну товщину листа для обичайки $S = 4,0$ мм.

Розрахунок товщини стінки еліптичного днища.

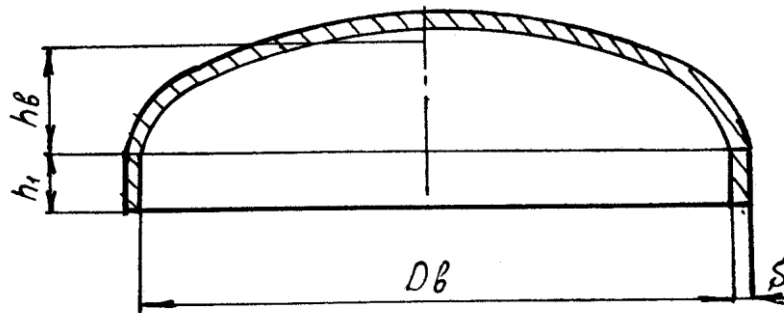


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Визначимо товщину днища апарату.

$$S_p^u = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_p \cdot D_e}{2\phi[\sigma] - 0,5 \cdot p_p} \\ \frac{p_n \cdot D_e}{2\phi[\sigma]_n - 0,5 \cdot p_n} \end{array} \right\}; \quad (3.5)$$

$$S_p^u = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,12 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 145 - 0,5 \cdot 0,12} \\ \frac{0,42 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 218 - 0,5 \cdot 0,42} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,41 \\ 0,96 \end{array} \right\} = 0,96 \text{ мм.}$$

Також приймаємо стандартну товщину листа для днища $S^u = 4,0$ мм.

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компоновання обладнання установки [15]

Правильне розміщення обладнання є дуже важливим, і напряду відображає ключові аспекти безпечної і ефективної експлуатації промислових об'єктів. Для початку розділяємо промисловий об'єкт на зони, які забезпечують зручний доступ для обслуговування та можливість демонтажу обладнання при ремонтах. Важливо також передбачити безпечний доступ до апаратів і деталей, щоб персонал міг виконувати свої обов'язки без ризику для здоров'я та безпеки.

Проектуємо трубопроводи таким чином, щоб мінімізувати їх довжину та кількість з'єднань, що можуть бути джерелом витоків або негерметичності. Це також допоможе зменшити опір руху робочих середовищ і енергозатрати на транспортування.

Також враховуємо кліматичні умови регіону, де розташований об'єкт, і забезпечуємо необхідну терморегуляцію для підтримання оптимальних температур. Також важливо дотримуватися санітарних норм і забезпечувати чистоту виробничих приміщень та обладнання.

Слід дотримуватись всіх вимог з техніки безпеки та охорони праці, включаючи правила щодо вогнезахисту, електробезпеки, обладнання захисними пристроями тощо.

Не слід забувати про ефективність та надійність. Проектуємо обладнання та системи так, щоб забезпечити найвищу ефективність і надійність їхньої роботи. Це включає в себе регулярний технічний огляд та плановий ремонт обладнання.

Забезпечення дотримання вище зазначених технологічних вимог допоможе зменшити ризик аварій, покращити продуктивність і забезпечити безпечні умови для персоналу та навколишнього середовища.

Обираємо варіант розташування обладнання на відкритому майданчику. 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.

Компоновка 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.

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

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

3. 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. Усе обладнання слід розміщувати на нульовій позначці щодо загального фундаменту. Це спрощує процес монтажу та обслуговування.

5. 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.

4.2 Монтаж та ремонт тарілчастої ректифікаційної колони [16]

Проектування трубопроводів є важливим етапом в процесі створення хімічного обладнання та інженерних систем для транспортування і обробки різних речовин. 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. 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, які працюють при підвищених температурах, мають бути розміщені на відстані 3-5 діаметрів труби. Для компенсації температурних напружень на довгих гарячих трубопроводах може бути необхід-

но використовувати П-подібні ділянки.

3. 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. За необхідності, трубопроводи повинні бути теплоізованими. Це допомагає підтримувати температурний режим роботи і запобігає втраті тепла.

Монтаж спиртової ректифікаційної колони з ситчасто-клапанними тарілками – це складний та важливий етап будівництва, який вимагає дотримання високих стандартів якості та безпеки. Перш за все, здійснюється підготовка робочого майданчика. Він повинен бути рівним, міцним і забезпечувати безпечний доступ для робітників і обладнання.

Кожен компонент колони, включаючи масообмінні тарілки, труби, фланці, насоси, резервуари та інше обладнання, постачається на будівельний об'єкт і перевіряється на відсутність пошкоджень.

Ситчасто-клапанні тарілки встановлюються внутрішньо в колоні. Їх розташування і кількість зазвичай визначаються проектом і технічними специфікаціями. Тарілки служать для збагачення і розподілу парово-рідкого потоку для ефективного ректифікаційного процесу.

Трубопроводи для подачі сировини, відведення продуктів і рідини, а також для подачі допоміжних речовин і теплоносіїв підключаються до колони та іншого обладнання.

Під час монтажу дотримуються всіх правил безпеки і вимог щодо охорони праці. Робочі повинні мати відповідне захисне обладнання і навчання. Заповнюється необхідна технічна документація, і обладнання проходить процес сертифікації, якщо це необхідно.

Після успішного монтажу та пусконаладження колона готова до введення в експлуатацію.

Монтаж колонного апарату за допомогою щоголів методом ковзання є досить поширеним і надійним способом підняття та розміщення важкого об-

ладнання. Важливо дотримуватися правильної послідовності та методів для забезпечення безпеки та ефективності процесу. Апарат розташовується як найближче до фундаменту, що спрощує процес підйому. Щогли встановлюються по обидва боки від фундаменту, і їх висота і нахил визначаються враховуючи розташування та розміри апарату, а також метод стропування.

Стропи (спеціальні ліфтингові троси або стропи) правильно розташовуються і фіксуються на апараті. Вони повинні бути розраховані на вагу і габарити апарату. Апарат піднімається за допомогою щоголів або крану. Під час підйому необхідно забезпечити рівномірний і контрольований підйом апарату.

Після підняття апарату до потрібної висоти, його фіксують на фундаменті за допомогою фундаментних болтів. Фундаментні болти зазвичай вбивають у фундамент, і після цього на них намотують гайки для надійного кріплення. Для забезпечення горизонтальності або вертикальності апарату, в деяких випадках можуть використовувати тонкі металеві підкладки. Ці підкладки розміщуються під опорними частинами апарату для компенсації нерівностей.

Після кріплення апарату до фундаменту проводиться вивірка на вертикальність та горизонтальність. Це може виконуватися за допомогою теодолітів або інших точних вимірювальних інструментів. Після досягнення необхідної точності апарату за допомогою вивірки, анкерні болти затягуються для надійного закріплення.

Якщо апарат монтується ізоляцією, то для вивірки вертикальності і горизонтальності використовують репери, які намотують на бобишки, що припаяні до корпусу апарату. Це дозволяє забезпечити точність монтажу навіть при використанні ізоляції.

Після всіх вимірів і вивірок підливають фундамент бетонною сумішшю, яка фіксує апарат на фундаменті і забезпечує стабільність. Після закінчення монтажу та закріплення апарату на фундаменті встановлюють контактні пристрої.

Підготовка колонного апарату до ремонту є важливим етапом для забезпечення безпеки та ефективності робіт. Під час цього процесу треба виконати:

1. Перш ніж розпочати будь-які роботи, необхідно знизити тиск в колоні до атмосферного рівня. Це забезпечить безпечність при подальших операціях і уникне небезпеки викиду робочого середовища.

2. Робоче середовище в колоні повинно бути повністю видалене. Це може включати в себе гази, рідини або пари, які працюють у процесі. Видалення робочого середовища допомагає зменшити ризик контакту з шкідливими речовинами.

3. Водяна пара використовується для витіснення залишкових парів і газів з колони. Це важливо, оскільки концентрація шкідливих і горючих речовин повинна бути знижена до безпечних рівнів. Пропарювання проводять, вводячи гарячу водяну пару в колону і давлячи залишкове робоче середовище.

4. Після пропарювання колону промивають водою. Це сприяє охолодженню колони та видаленню залишкових речовин. Промивання може бути повтореним кілька разів, в залежності від потреби.

5. Після пропарювання і промивання колону від'єднують від всіх апаратів і комунікацій за допомогою глухих заглушок, які встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Кожну установку заглушки і подальше її зняття слід реєструвати в спеціальному журналі. Це допомагає забезпечити контроль над процесом підготовки колони до ремонту.

Початок ремонту колонного апарату – це критичний момент, і дотримання правил та безпечних процедур має вирішальне значення для запобігання небезпеці та забезпечення успішного ремонту. Люки колонного апарату розкривають послідовно, зверху вниз. Це означає, що спочатку відкривають верхній люк, і лише після того, як він повністю відкритий і апарат провітрюється, можна відкривати наступні люки. Не дозволяйте можливому підсосу повітря при відкриванні люків.

Після провітрювання колони слід взяти проби повітря на різних висотах і проаналізувати їх, щоб переконатися, що концентрація шкідливих газів не перевищує гранично допустимих норм. Це важливо для забезпечення безпеки робочого середовища всередині колони. Після аналізу повітря слід ретельно оглянути зовнішній і внутрішній корпус колони. Приділіть увагу можливим дефектам, таким як механічні пошкодження, тріщини, корозія та інші. Цей огляд допоможе визначити, які роботи потрібно виконати під час ремонту.

Якщо необхідно, для доступу до певних ділянок апарату або для заміни окремих компонентів може бути потрібно розібрати внутрішні пристрої. Впевніться, що розбірка проводиться обережно і відповідно до інструкцій, і що всі роботи відзначаються в журналі обліку робіт.

Під час проведення ремонту завжди дотримуйтеся правил та безпечних практик. Переконайтеся, що всі члени команди розуміють процедури і відомі ризики. Використовуйте необхідне захисне обладнання і додержуйтеся всіх стандартів безпеки.

Ремонт суцільнозварних колон може бути складним і вимагає дотримання великої кількості технічних норм і процедур. Якщо під час огляду було виявлено зношені або пошкоджені деталі, такі як штуцери або люки, їх необхідно вирізати і замінити новими. Під час заміни слід встановлювати зміцнюючі кільця для покращення міцності з'єднань.

Фактичну товщину стінки корпусу апарату слід виміряти і перевірити на відповідність нормам та стандартам. У залежності від ступеня зношеності може знадобитися заміна деяких ділянок корпусу. Пошкоджені ділянки корпусу слід виправити шляхом вирізування дефектів, зачищення і після цього зварювання нових деталей або ремонтних зварних швів. Дотримання вимог щодо якості зварювання має велике значення для безпеки і надійності апарата.

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.

Під час ремонту важливо використовувати якісні матеріали, засоби зварювання та інструменти, щоб забезпечити найкращу якість робіт.

5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу

Автоматизація виробничих процесів має ряд важливих переваг. Вона значно підвищує продуктивність праці, сприяє поліпшенню технології виробництва та підвищує якість продукції. Також автоматизація сприяє зниженню собівартості виробленої продукції, збільшує продуктивність праці та допомагає зменшити кількість робочої сили, що потребується для виробництва, а також подовжує інтервали міжремонтного обслуговування обладнання.

Установка виробництва висококонцентрованого метанолу представляє собою безперервний процес, в якому всі основні апарати технологічної схеми з'єднані послідовно. Безперервність виробництва є однією з ключових передумов для автоматизації виробництва. Безперервний процес і автоматизація виробничих операцій є взаємозалежними факторами, оскільки безперервне виробництво стає найбільш ефективним при його комплексній автоматизації.

При проведенні процесу ректифікації в спиртовій ректифікаційній колоні важливо контролювати чотири основні параметри: витрату, рівень, температуру, тиск.

Регулювання рівня в кубовій частині колони важливе для запобігання захльобування нижніх тарілок колони. Але при цьому нижні тарілки колони повинні бути належним чином забезпечені сировиною для правильної роботи процесу. Якщо рівень сировини стає занадто високим, це може призвести до надмірного натискання на нижні тарілки, що може викликати аварії та порушення процесу. Щоб запобігти цьому, змінюють витрату виведення сировини з кубової частини системи. На практиці це може означати збільшення або зменшення витрати сировини, що подається в ректифікаційну колону, залежно від поточних обставин і заданих параметрів. Регулювання цього параметра допомагає підтримувати оптимальний рівень сировини в колоні, забезпечуючи безпеку та ефективну роботу процесу ректифікації.

Контроль рівня також супроводжується контролем тиску і температури, оскільки їх зміна може призвести до аварійних ситуацій або порушень технологічного режиму.

Контроль і сигналізація інших параметрів. Поміж іншими важливими параметрами, які також слід контролювати і сигналізувати про їх стан, включають температуру, витрату, тиск і перепад тиску вихідної сировини, дистиляту та кубового залишку.

При стабільному технологічному режимі існує можливість відмовитися від регулювання за допомогою перепаду тиску і перейти до жорсткого управління за програмою, де задається певна тривалість імпульсів та інтервали між ними. Для цього встановлюють командний прилад.

Загальна ідея автоматизації полягає в тому, що контроль і регулювання параметрів є критичними для забезпечення безпеки та ефективності процесу ректифікації при отриманні метанолу високої концентрації.

5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання [17]

Процес ректифікації є одним з основних процесів хімічної технології. Його ефективність визначається складом кінцевого продукту. Залежно від технологічних особливостей, цей кінцевий продукт може бути дистилятом або кубовим залишком. Основною метою управління є забезпечення сталого складу кінцевого продукту. Склад іншого продукту може змінюватися в певних межах через зміни в початковому складі суміші. У подальшому розглядатимемо дистилят як цільовий продукт.

Ректифікаційна установка є складним об'єктом управління із значним запізненням в часі (наприклад, у деяких випадках вихідні параметри процесу починають змінюватися лише через 1–3 години після зміни параметрів сировини). Вона включає в себе велику кількість параметрів, які характеризують процес, взаємодію між ними, розподіл їх по системі та інші складності.

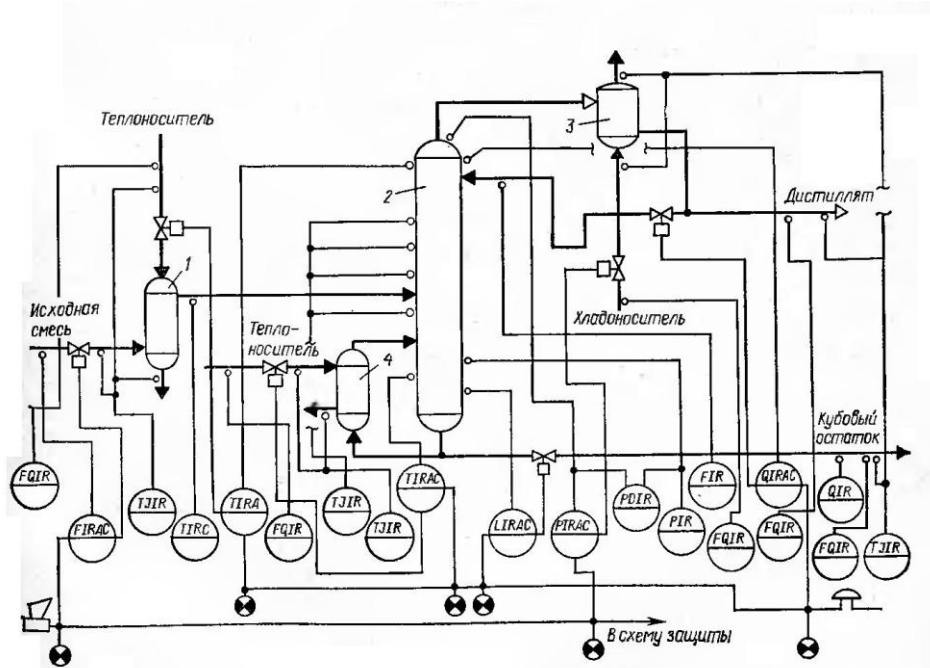


Рисунок 5.1 – Типова схема автоматизації процесу ректифікації:

1 – теплообмінник вихідної суміші; 2 – ректифікаційна колона;

3 – дефлегматор; 4 – кип'ятильник

Ця установка вимагає від операторів інтенсивного контролю і управління через розгалуженість та взаємозалежність процесних параметрів. Успішне управління ректифікаційним процесом вимагає високого рівня фаховості та систематичного моніторингу.

Складність регулювання процесу пояснюється також частотою та амплітудою збурень. В об'єкті відбуваються такі збурення, як зміни початкових параметрів вихідної суміші, а також теплоносіїв і холодоносіїв, зміни властивостей поверхонь теплообміну, відкладення речовин на стінках тощо. Крім того, на технологічний режим ректифікаційних колон, які встановлені під відкритим небом, впливають коливання температури атмосферного повітря.

Концентрація безпосередньо залежить від початкових параметрів вихідної суміші. Зі зміною цих параметрів в процес можуть надходити найсильніші збурення, особливо через канал складу вихідної суміші, оскільки склад визначається попереднім технологічним процесом.

Отже, якщо дистилят є цільовим продуктом, то для досягнення мети управління слід регулювати наступні параметри: витрату вихідної суміші, температуру вихідної суміші, тиск у верхній частині колони, склад рідини в верхній частині колони, температуру і рівень рідини в кубі.

Підходячи до розробки системи автоматизованого управління, першим і важливим кроком є детальне вивчення технологічного процесу – докладне дослідження всіх аспектів технологічного процесу, включаючи вхідні та вихідні матеріали, послідовність операцій, параметри і обмеження.

Далі слід визначити ключові фактори, які впливають на характеристики процесу. Це може включати змінні, такі як температура, тиск, витрата, склад сировини тощо. Після відбувається встановлення зв'язків і взаємодій між різними факторами та параметрами процесу. Наприклад, які зміни в одному параметрі можуть впливати на інші аспекти процесу.

Основний вихідний пункт – це створення схеми регулювання або управління, яка відповідає поставленим завданням. Ця схема може включати сенсори для вимірювання параметрів, контрольні алгоритми, актуатори для впливу на процес та системи збору і аналізу даних. На основі вибраної схеми управління розробляється відповідне програмне забезпечення, яке виконує необхідні обчислення, приймає рішення та керує актуаторами.

Система автоматизованого управління піддається тестуванню на практиці, і на основі результатів тестів проводяться необхідні корекції і налагодження. Після впровадження системи в експлуатацію важливо забезпечити її постійну підтримку і вдосконалення, щоб забезпечити оптимальну роботу і враховувати зміни в процесі.

Технічні засоби автоматичного контролю обираються з типової апаратури, яка випускається приладобудівною промисловістю відповідно до технічних характеристик та умов роботи. Це включає в себе такі елементи та прилади:

1. Сенсори і датчики. Обрані для вимірювання різних параметрів, таких як температура, тиск, рівень, витрата речовини і інші. Наприклад, термометри, манометри, рівнеміри, потокоміри і т. д.

2. Контрольно-вимірювальні прилади (КВП). Інтегровані пристрої, які забезпечують вимірювання, а також можуть виконувати обчислення та логічні операції для контролю процесу. Наприклад, програмовані контролери логічного керування (ПЛК).
3. Актуатори. Механічні пристрої, які впливають на процес згідно з сигналами від контрольно-вимірювальних приладів. Це може бути регулювальний клапан, насос, нагрівач та інші.
4. Системи збору і аналізу даних. Включають в себе засоби для збору, збереження і аналізу даних з сенсорів і КВП. Це може бути програмне забезпечення для моніторингу та аналізу, а також системи зберігання даних.
5. Інтерфейси та засоби комунікації. Забезпечують зв'язок між автоматизованою системою керування та операторами, а також з іншими системами управління або мережами передачі даних.
6. Програмне забезпечення керування. Включає в себе програмне забезпечення для налагодження і контролю системи автоматизованого управління, включаючи алгоритми регулювання, моніторингу та інтерфейси користувача.

Використання принципу уніфікації в схемі автоматизації дійсно має багато переваг, особливо в умовах вибухо- та пожежонебезпечного виробництва. Однотипні технічні засоби автоматизації дозволяють замінити один пристрій іншим без необхідності внесення значних змін у схему управління. Оператори та технічний персонал знайомі з однотипними приладами, що спрощує їх роботу, навчання та обслуговування. Однотипні прилади можуть мати схожі налаштування та можуть постачатися зі спільними комплектуючими, що спрощує їх впровадження та підтримку. Застосування дешевих і надійних приладів забезпечує економію коштів та забезпечує стабільну роботу системи. Врахування особливостей вибухо- та пожежонебезпечних умов виробництва і вибір пневматичної лінії приладів допомагають забезпечити безпеку та ефективність.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на виробництві [18, 19]

Виробництво метилового спирту (метанолу) пов'язане з численними потенційно небезпечними та шкідливими факторами.

По-перше, це токсичність. Метанол є надзвичайно отруйною речовиною для людини. Отруєння метанолом є серйозною медичною невдачею і може призвести до серйозних наслідків для здоров'я, включаючи смертельний результат. Основною мішенню отруєння метанолом є нирки та нервова система. Висока концентрація метанолу в організмі може призвести до пошкодження нирок та нейрологічних проблем.

Симптоми отруєння метанолом можуть включати головний біль, запаморочення, блювоту, біль в очах, зниження гостроти зору та важкості у диханні. Лікування отруєння метанолом передбачає прийом антидоту, яким є спирт (етанол) або формалдегід, а також симптоматичну підтримку та видалення метанолу з організму.

Для запобігання отруєнням метанолом важливо дотримуватися всіх необхідних заходів безпеки на виробництві та під час використання метанолу. Персонал, який працює з метиловим спиртом, повинен бути наділений відповідними захисними засобами та навчений правильним процедурам та реагуванню на аварійні ситуації.

Метиловий спирт є легкозаймистою речовиною і може створювати небезпечні пожежонебезпечні умови. Він має низьку температуру спалаху, що означає, що він легко випаровується та утворює займисту пару при кімнатній температурі. Це робить його особливо небезпечним при витоку чи розливі.

Виробництво та обробка метилового спирту може створювати зони безпеки, де навколишні умови можуть сприяти пожежам або вибухам. Для запобігання пожежам та вибухам необхідно використовувати спеціальне облад-

нання, таке як антистатичні матеріали та пристрої для заземлення. Персонал також повинен бути навчений процедурам та заходам безпеки.

Метиловий спирт повинен бути належним чином позначений, а сховища повинні відповідати вимогам безпеки та запобігання пожежам. Добре функціонуюча система вентиляції допомагає відсмоктати пари метанолу, зменшуючи ризик утворення небезпечних концентрацій у повітрі.

Виробництво метилового спирту також включає в себе роботу з рідкими хімічними речовинами, і це може створити ризик неконтрольованого розливу або витоку, який може мати серйозний негативний вплив на навколишнє середовище. Неконтрольований витік метилового спирту може спричинити забруднення навколишнього ґрунту та води. Якщо речовина потрапляє в ґрунт, вона може розповсюджуватися і мати негативний вплив на рослинність та ґрунтовий екосистеми. Якщо вона потрапляє в водні джерела, це може створити загрозу для водних організмів та водопостачання.

Розлив метилового спирту може призвести до випаровування речовини в атмосферу, що може спричинити забруднення повітря. Пари метанолу можуть мати негативний вплив на якість повітря та здоров'я людей.

Для запобігання неконтрольованому розливу та витоку метилового спирту необхідно дотримуватися строгих заходів безпеки, включаючи належне зберігання та обробку речовини, регулярну перевірку та обслуговування обладнання, а також навчання персоналу щодо безпеки та реагування на аварійні ситуації.

Підприємства, які займаються виробництвом метилового спирту, повинні мати плани аварійного реагування та процедури для нейтралізації витоків та забруднення, а також для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Виробництво метилового спирту підпадає під законодавчі та регуляторні вимоги, спрямовані на захист довкілля та забезпечення безпеки. Виробники повинні дотримуватися цих вимог і співпрацювати з відповідними органами з метою дотримання стандартів та нормативів.

Метанол також може бути хімічно активним і реакційним з іншими речовинами, і це створює певний ризик під час виробництва та обробки. Метиловий спирт може бути використаний у реакціях ацетиляції та естерифікації з іншими сполуками. Це може призвести до утворення ацетатів та ефірів, які мають власні властивості та застосування.

Метанол може бути окислений до формальдегіду та подальшого до карбонільних сполук. Ця реакція відбувається в певних умовах та може бути важливою в хімічних процесах. Під час виробництва та обробки метилового спирту персонал повинен дотримуватися особливої обережності та виконувати всі необхідні заходи безпеки. Це включає в себе правильне обладнання, захисний одяг та виконання процедур безпеки.

Таким чином, виробництво метилового спирту може мати негативний вплив на навколишнє середовище через викиди парів і рідини, забруднення ґрунту та водних ресурсів. Для запобігання негативному впливу виробництва метилового спирту на навколишнє середовище, виробники повинні дотримуватися всіх необхідних екологічних стандартів і регулювань, встановлених відповідними владними органами. Дотримання найкращих практик у виробництві та використання спеціалізованого обладнання для обмеження викидів і витоків також є важливими засобами зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактора

Система заходів, спрямованих на усунення впливу атмосферної електрики, відома як система блискавкозахисту. Сила струму у каналі блискавки досягає 200 тисяч ампер, а напруга - 1 мільярд вольт. При входженні до об'єкта потенціал, через втрати, зменшується до рівня 30-50 мільйонів вольт. Довжина блискавкового розряду може сягати сотень і тисяч метрів. Тривалість існування блискавкового розряду коливається від 0,1 до 1 секунди. Температура у каналі може досягати від 6000 до 10000 градусів Цельсія.

Виділяють два основних прояви блискавки: первинний (1) і вторинний (2): 1 – прямий удар; 2 – виявлення 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.

Інтенсивність грозової активності (годин на рік) визначається за допомогою спеціальної карти або на підставі даних метеостанцій. Дніпропетровська область віднесена до районів, де спостерігається від 60 до 80 годин грозової активності на рік.

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

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

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).

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

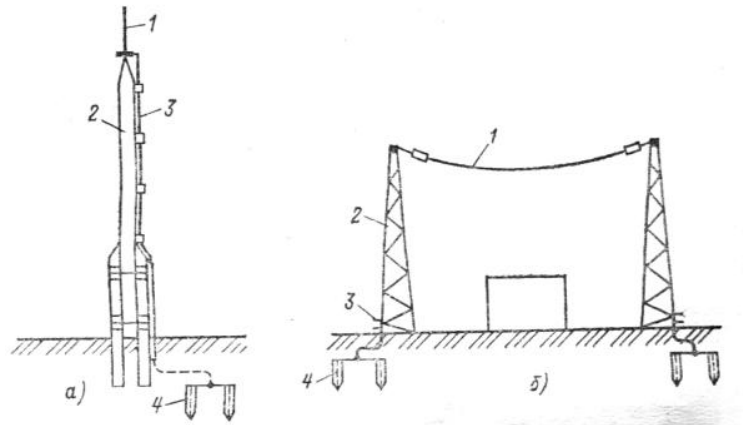


Рисунок 6.1 – Конструкція стрижневого (а) та тросового (б) відводів блискавки:

- 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.

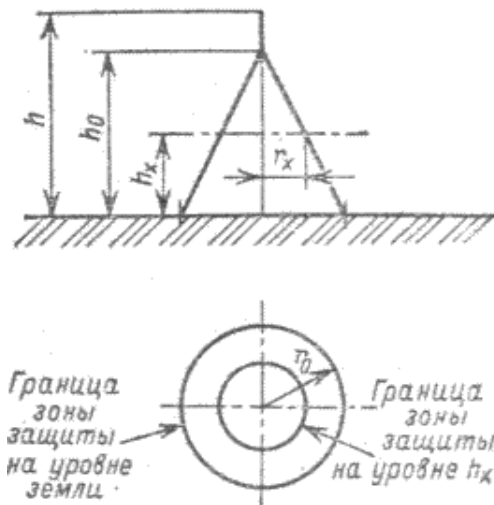


Рисунок 6.2 – Зона захисту одиничного стрижневого блискавковідводу висотою менше 150 м є конусом, вершина якого знаходиться на висоті h_0

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

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

Таблиця 6.1 – Розрахунок зони захисту одиничного стрижневого блискавковідведення

Надійність захисту P_3	Висота блискавковідведення h , м	Висота конуса h_0 , м	Радіус конуса r_0 , 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	$[0,65 - 10^{-3}(h - 100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3} (h - 100)]h$

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 конусу:

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

Радіус конусу:

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

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 об'єкту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Спиртова промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. покажч. – Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. – Київ, 2019. – 123 с.
2. Осипенко О.П. Технологічне обладнання спиртової галузі / О.П. Осипенко, В.М. Таран, Ю.Ю. Доломакін. – Київ : НУХТ, 2012. – 48 с.
3. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи / укладачі: В.І. Склабінський, Я.Е. Михайловський, Р.О. Острога, М.С. Скиданенко. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 53 с.
4. Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю., Рябоконт Н.В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: [Підручник] / За ред. проф. О.О. Серьогіна. – Київ : ЦП «КОМПРИНТ», 2016. – 338 с.
5. Біоенергетика: Курс лекцій. Частина 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Будько. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 109 с.
6. Стабников В.Н. Расчет и конструирование контактных устройств ректификационных и абсорбционных аппаратов. – Москва : Техника, 1970. – 208 с.
7. Кафаров В.В. Основы массопередачи : Учебник для студентов вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1979. – 439 с.
8. Теплові й масообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтогазопереробних виробництв у системах "газ (пара) – рідина" : підручник / Я. Е. Михайловський, А. Є. Артюхов, М. П. Юхименко, Н. О. Артюхова ; за заг. ред. Я. Е. Михайловського. — Суми : СумДУ, 2021. – 391 с.
9. Цыганков П.С. Ректификационные установки спиртовой промышленности». – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 336 с.
10. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
12. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
13. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Ленинград : Машиностроение, 1970. – 762 с.
14. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / Под ред. канд. техн. наук А.Р. Толчинского. – Ленинград : Машиностроение, 1981 – 382 с.
15. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укл.: О. О. Ляпощенко, В. М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.
16. Обладнання заготівельних та котельно-зварювальних дільниць ремонтно-механічних цехів хімічних виробництв : навч. посіб. / С. М. Яхненко, М. С. Скиданенко, Є. М. Піддубний. – Суми : СумДУ, 2022. – 170 с.
17. Промислові прилади та засоби автоматизації: Довідник / В.Я. Баранов, Т.Х. Безповська, В.А. Бек та ін.. Київ : Вид-во «Віста», 2017. – 847 с.
18. Основы охраны труда : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Р. М. Івах, Я. І. Бедрій, Б. О. Білінський, М. М. Козяр. – Київ : Кондор, 2011. – 462 с.
19. Шудренко І. В. Основы охраны труда : навч. посіб. / І. В. Шудренко. – Житомир : Видавець, О. О. Євенок, 2016. – 214 с.
20. Денисенко, А.Ф. Охрана труда : конспект лекцій для студ. екон. спец. заочної форми навчання. Ч.2 / А.Ф. Денисенко. – Суми : СумДУ, 2007. – 130 с.