

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

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

Тема роботи: Браго-ректифікаційна установка виробництва етилового спирту. Розробити та модернізувати випарник етанолу

Виконав:

студент групи ХМ.м-21/2

Крохмаль Олександр Юрійович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Скиданенко Максим Сергійович

підпис, дата

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	5
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	15
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	15
2.2 Опис об'єкту розробки	19
2.3 Технологічні розрахунки	21
2.4 Конструктивні розрахунки апарату	27
2.5 Визначення гідравлічного опору апарату	29
2.6 Розрахунок і вибір допоміжного обладнання	31
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	37
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	37
3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність	39
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	47
4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання	47
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання	51
5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ	58
5.1 Вибір та обґрунтування параметрів контролю, регулювання та вимірювання	58
5.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації	62
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	65
6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи установки виробництва етилового спирту	65
6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактору	71
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	76
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Етанол є хімічною сполукою, яка використовується у багатьох галузях, зокрема в фармацевції, харчовій промисловості, у якості розчинника та пального. Однак, слід зауважити, що етанол може мати негативний вплив на здоров'я.

Напої, які містять етанол, можуть мати наркотичний ефект і призводити до алкогольної залежності. Медичні організації та урядові органи в багатьох країнах видають рекомендації щодо безпечного вживання алкоголю та попередження алкогольних захворювань. Етанол може бути отруйним, особливо у великих дозах. Надмірне вживання алкоголю може призвести до серйозних наслідків для здоров'я, включаючи пошкодження печінки, нирок та нервової системи. Є докази того, що довготривале і регулярне вживання алкоголю може підвищувати ризик розвитку деяких видів раку, таких як рак горла, гортані, підшлункової залози та грудей [1].

У якості розчинника, етанол може бути використаний у різних процесах, але важливо враховувати його безпечне використання та уникати контакту з шкірою та очима, оскільки він може призвести до подразнень.

При виробництві етилового спирту ключову роль відіграють теплообмінні процеси, а саме [1]:

1. Дистиляція – використовуються теплообмінні апарати для виділення етанолу з ферментованої рідини. У цьому процесі теплообмін використовується для нагрівання і охолодження суміші, щоб відділити етанол від інших компонентів, таких як вода та інші спиртові сполуки.
2. Гідратація етилена – це один із способів виробництва етанолу з етілену. У цьому процесі теплообмінні апарати використовуються для контролю температури та реакції утворення етанолу з етілену та води.
3. Випаровування – застосовується для видалення води або інших розчинених газів з етанольної суміші. У цьому процесі теплообмінні апарати допомагають відокремити компоненти за допомогою різниці у температурі випаровування.

Під час ректифікації спирту, рідина нагрівається і охолоджується кілька разів, щоб відділити етанол від інших компонентів. Кожухотрубні теплообмінники використовуються для відновлення тепла з відходів пари та охолодження гарячої рідини, забезпечуючи економію енергії та підвищення теплообміну. Вони дозволяють підтримувати стабільну температуру в різних ділянках браго-ректифікаційної установки, що підвищує ефективність процесу і якість отриманого спирту [2].

Даний кваліфікаційний проект [3] передбачає проектування кожухотрубного теплообмінника з паровим простором для випаровування частини кубового залишку (етанолу) ректифікаційної колони. У цьому проекті розглядається використання насиченої водяної пари під тиском у якості гарячого теплоносія, що подається у трубний простір теплообмінника.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Сучасний стан спиртової промисловості

Поточний кризовий стан в українській спиртовій галузі вимагає негайних та суттєвих реформ. Питання щодо державної монополії на виробництво та реалізацію етилового спирту потребують серйозного перегляду. Можливо, варто розглянути альтернативи, які дозволять привести більше конкуренції на ринку та залучити приватних виробників. Підвищення якості менеджменту та маркетингових стратегій в спиртовій галузі є критичним. Керівники спиртових заводів повинні покращити свої навички та підходи до управління та продажу продукції [4].

Необхідністю є забезпечення стабільного та якісного постачання сировини для виробництва спирту, а тому перспективним є розвиток аграрних галузей, які можуть постачати відповідну сировину. У світі існує попит на український спирт, тому важливо розглянути можливості розширення експорту. Переорієнтація частини виробничих потужностей на виробництво біопалива може стати об'єктивним рішенням для спиртової галузі. Це відкриває нові можливості та ринки для використання етилового спирту і сприяє розвитку біологічної енергетики [4].

У недавні роки в Україні було понад 80 ліцензованих спиртозаводів, які мали потужність для переробки понад 900 тисяч тонн зерна щорічно і виробляли 32 мільйони декалітрів зернового спирту. Ці заводи потребували щорічно 1,1 мільйонів тонн бурякової меляси, з якої отримували додаткові 30 мільйонів декалітрів спирту [5]. У структурі продажів спиртовими заводами етилового ректифікованого спирту найвищу частку складали горілка та лікєро-горілочані вироби. У 2020 році ця категорія продукції становила від 81 % до 94,5 % від загального обсягу реалізації.

Визначення спеціалізації спиртових заводів є важливим кроком у розробці перспектив розвитку ринку спиртової промисловості. Це означає, що спиртові заводи мають можливість обрати один із чотирьох можливих напрямків діяльності [4]:

- 1. Спирт для виробництва біопалива (біоетанол).** У цьому напрямку спиртові заводи можуть спеціалізуватися на виробництві етилового спирту, який використовується для сумішевих бензинів та інших видів біопалива. Ця галузь стає все більш актуальною з огляду на зростання інтересу до альтернативних джерел енергії.
- 2. Харчовий спирт для виробництва лікєро-горілочаних виробів.** Деякі спиртові заводи можуть спеціалізуватися на виробництві харчового спирту, який використовується в лікєро-горілочаних виробах, таких як горілка, лікєри тощо. Це може бути вигідним напрямком для заводів, які мають високу якість та можливості для створення унікальних продуктів.
- 3. Виробництво спирту для технічних цілей.** Технічний спирт використовується в різних галузях, таких як хімічна промисловість, машинобудування та автомобільна галузь. Спиртові заводи, спеціалізовані на цьому напрямку, можуть забезпечувати сировиною ці галузі та виробляти спеціалізовані продукти.
- 4. Харчовий спирт для промислових підприємств.** Харчовий спирт також використовується в інших галузях, таких як медицина, парфумерія, кондитерські підприємства та виноробство.

Враховуючи насиченість та розподіленість ринку харчового спирту має сенс перепрофілювати невикористовувані мільйони декалітрів потужностей для інших цілей. Один із можливих напрямків перепрофілювання цих потужностей може включати виробництво різних спиртовмісних рідин та біопалива. Це може охоплювати виробництво алкогольних напоїв, таких як вино, лікєри, горілка, які мають попит на ринку. Важливо враховувати споживчі смаки та популярність конкретних продуктів. А розвиток виробництва біопалива може стати об'єктивною стратегією, оскільки цей ринок активно розвивається в більшості країн світу [6].

Отже, за наведеними даними, у спиртовій галузі України спостерігаються наступні основні тенденції [7]:

- 1. Скорочення обсягів випуску етилового спирту.** Виробництво етилового спирту скорочується, ймовірно, через насиченість внутрішнього ринку

та обмежену місткість ринку. Це може вимагати перегляду стратегії та спеціалізації спиртових заводів.

- 2. Скорочення обсягів експорту етилового спирту.** Обсяги експорту етилового спирту зменшуються, що може бути пов'язане зі зменшенням попиту на світовому ринку або конкуренцією з іншими виробниками.
- 3. Низький рівень використання потужностей вітчизняних спиртових заводів.** Багато спиртових заводів мають невикористані потужності, що може вимагати їх перепрофілювання на виробництво інших продуктів, таких як спиртовмісні рідини та біопаливо.

Розбудова та ефективне функціонування спиртових заводів, які зазвичай розміщені в сільській місцевості, мають потенціал стати важливими каталізаторами соціального та економічного розвитку цих регіонів. Спиртові заводи можуть стати центральними підприємствами, що забезпечують розвиток сільської інфраструктури, включаючи транспорт, комунікації та інші послуги. Адже робота спиртових заводів сприяє збереженню та створенню нових робочих місць у сільських регіонах, що важливо для боротьби з безробіттям та відтоком населення.

Також стабільна діяльність спиртових заводів може покращити економічну міцність сіл і регіонів, забезпечуючи надходження коштів до бюджету та підтримуючи місцеву господарську активність. Спиртова промисловість тісно пов'язана з сільським господарством та цукровою промисловістю. Збільшення виробництва біоетанолу може сприяти розвитку цих галузей. Використання відходів спиртового виробництва, таких як мелясна та зернова барда, для виробництва енергії може сприяти енергозбереженню та сталому розвитку [8].

Таким чином, ми бачимо, що розвиток успішного підприємства в умовах ринкової економіки дійсно є постійним процесом творчої діяльності і створення інновацій. Це особливо важливо для спиртової промисловості, де інноваційний розвиток може допомогти подолати низький рівень використання виробничих потужностей та збільшити обсяги виробництва етилового спирту.

Методика теплового розрахунку випарника з паровим простором [9–11]

Процеси передачі тепла через теплоносії, які зазнають зміни в агрегатному стані, мають важливе застосування у різних галузях промисловості, включаючи енергетику, хімію, нафтохімію, харчову промисловість та інші. Особливістю цих процесів є великі теплові потоки, які передаються в невеликих об'ємах теплообмінників.

Пароутворення – це процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний. Цей процес вимагає підведення тепла до рідини і зазвичай відбувається при підвищених температурах, вищих від температури насичення речовини при даному тиску. Пара, утворена таким чином, вимагає підведення тепла і виступає як холодний теплоносіє. Кількість тепла, необхідна для випаровування 1 кілограма теплоносія, називається **питомою (прихованою) теплотою пароутворення**.

Кипіння – це інтенсивний процес пароутворення в рідині, яка має температуру насичення або трохи перегріта відносно цієї температури. У процесі кипіння утворюються парові бульбашки.

Розрізняють два види кипіння: **об'ємне кипіння** і **поверхневе кипіння**. Об'ємне кипіння відбувається у рідині при її значному перегріванні відносно температури насичення або при різкому зниженні тиску над рідиною. Поверхневе кипіння відбувається лише на поверхні нагрівання в окремих точках.

Важливим видом кипіння в хімічній технології є **кипіння на твердих поверхнях**, і цей вид кипіння вимагає особливого уваги в технологічних процесах.

Тепловий баланс для процесу теплообміну, в якому відбувається зміна агрегатного стану холодного теплоносія, може бути виражений у вигляді наступного рівняння:

$$Q = G_x \cdot (H_{xk} - h_{xn}) = G_x \cdot (H_{xk} - h_{xk} + h_{xk} - h_{xn}) = G_x \cdot (r_{пар} + c_x \cdot (t_{xk} - t_{xn})), \quad (1.1)$$

де h_{xn} , h_{xk} , H_{xk} – ентальпії рідини та пари холодного теплоносія за початкової та кінцевої температур, Дж/кг;

$r_{нар}$ – питома теплота пароутворення холодного теплоносія, Дж/кг.

У випадку, коли холодний теплоносій подається на випарювання підігрітим до температури кипіння, тепловий баланс може бути виражений більш спрощено:

$$Q = G_x \cdot r_{нар}. \quad (1.2)$$

У теплообмінниках, де один теплоносій має постійну температуру (наприклад, гарячий теплоносій), інший теплоносій, який проходить через теплообмінник, може мати змінну температуру. Напрямок руху теплоносіїв може бути важливим з точки зору ефективності теплообміну та конструкції теплообмінника.

Залежно від конкретного завдання, вплив напрямку руху робочих середовищ може мати значення. Наприклад, у контексті деяких процесів можуть вимагати оптимізації, яка полягає в направленні потоку холодного теплоносія в теплообміннику так, щоб він максимально ефективно охолоджував гарячий теплоносій. Однак існує безліч варіантів дизайну теплообмінників, і вони можуть бути призначені для різних умов і завдань. Загальний принцип полягає в тому, щоб досягти необхідного теплообміну при заданих температурах і тискам теплоносіїв, незалежно від напрямку їх руху в теплообміннику.

Визначення теплофізичних властивостей робочих середовищ на основі їх середніх температур є поширеним підходом в інженерних розрахунках і теплообмінній техніці. Це дає можливість ефективно оцінювати і передбачати теплообмінні процеси в різних умовах, зокрема в теплообмінниках.

Для холодного теплоносія, де температура змінюється під час проходження через теплообмінник, визначальною температурою може бути температура його кипіння за певного тиску, оскільки ця температура визначає, коли речовина переходить з рідкого стану в пароподібний стан.

Вибір кожухотрубчастого випарника з паровим простором відбувається на підставі ряду технічних розрахунків та врахування певних технічних параметрів.

Спочатку слід визначити кількість тепла, яку необхідно передати від гарячого теплоносія (наприклад, пари) до рідини, яка випаровується. Цей розрахунок базується на технологічному завданні і вимагає знання теплоти пароутворення та інших фізичних властивостей речовини.

Орієнтовна поверхня теплообміну обчислюється, і на її основі вибирається конструкція випарника. Для цього використовують таблиці і графіки, які містять дані про різні конструкції кожухотрубчастих теплообмінників.

Після вибору конструкції випарника необхідно визначити матеріали, з яких він буде виготовлений, і визначити розміри та параметри конструкції (наприклад, довжину труб, діаметр кожуха тощо).

Далі слід перевірити, чи відповідає обрана конструкція всім технічним і технологічним вимогам, а також розглянути декілька варіантів конструкції теплообмінника та провести порівняльний аналіз, щоб знайти оптимальний варіант.

Робочий проект і дизайн: Після вибору конструкції і варіанту теплообмінника, розробіть докладний проект і дизайн для виробництва.

Використання критеріальних рівнянь для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{куп}$ під час бульбашкового кипіння чистих рідин і розчинів є досить поширеною практикою в хімічній та теплотехнічній інженерії. Такі рівняння дозволяють знаходити $\alpha_{куп}$ на основі різних фізичних та термодинамічних параметрів процесу. Один із таких критеріальних підходів включає в себе величини, які визначають інтенсивність кипіння і взаємодію між фазами [12]:

$$Nu_{куп} = 0,125 \cdot Re'^{0,65} \cdot Pr^{0,33} \text{ при } Re' \geq 0,01, \quad (1.3)$$

$$Nu_{куп} = 0,0625 \cdot Re'^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \text{ при } Re' < 0,01, \quad (1.4)$$

де $Nu_{куп}$ – узагальнений критерій Нусельта:

$$Nu_{куп} = \frac{\alpha_{куп} \cdot l'}{\lambda_p}. \quad (1.5)$$

Модифікований критерій Рейнольдса Re' використовується для оцінки режимів теплообміну в кожухотрубчастих теплообмінниках. Цей критерій враховує фізичні властивості робочих середовищ, розміри теплообмінника та режим течії рідини в трубках. Модифікований критерій Рейнольдса обчислюється наступним чином:

$$Re' = \frac{w_n \cdot l' \cdot \rho_p}{\mu_p} . \quad (1.6)$$

Критерій Прандтля, також відомий як Pr , використовується для характеристики тепло- та масообмінних процесів в рідинах і газах. Він визначає, наскільки швидко рідина або газ переносить тепло в порівнянні з масовим переносом. Для киплячої рідини, такої як водні пари або інші рідини, які киплять під певним тиском, критерій Прандтля може бути особливо важливим:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu_p}{\lambda_p} ; \quad (1.7)$$

Модифікований лінійний розмір (або просто модифікований розмір) – це поняття, яке використовується для характеристики і оцінки розмірів і форми тіл, які можуть бути неоднорідними, складними або мають незвичну геометричну структуру. Модифікований лінійний розмір допомагає уникнути або зменшити складності визначення інших параметрів, таких як об'єм або площа поверхні, при описі геометричних характеристик об'єкта.

Модифікований лінійний розмір може бути визначений різними способами в залежності від конкретних вимог та специфікацій. Одним із способів визначення модифікованого лінійного розміру є використання середнього арифметичного значення або середнього геометричного значення лінійних розмірів об'єкта:

$$l' = \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot \sigma_p \cdot T_{кун}}{(\rho_n \cdot r_{нар})^2} ; \quad (1.8)$$

Середня швидкість руху парової фази, відома також як швидкість кипіння, визначається швидкістю, з якою парова фаза виходить з рідини під час кипіння. Ця швидкість, зазвичай, вимірюється в метрах на секунду (м/с) або інших одиницях швидкості.

Для рідини, що кипить, середня швидкість руху парової фази залежить від таких факторів, як температура, тиск і фізичні властивості рідини. Під час кипіння молекули рідини отримують достатньо енергії, щоб перейти в парову фазу і виходити з рідини. Швидкість цього процесу може бути різною для різних рідин і у різних умовах.

Середню швидкість руху парової фази можна визначити, спостерігаючи швидкість виходу пари з поверхні рідини під час кипіння:

$$w_n = \frac{q}{\rho_n \cdot r_{нар}}. \quad (1.9)$$

Для безпосереднього визначення коефіцієнта тепловіддачі ($\alpha_{кин}$) через питоме теплове навантаження (q) в межах бульбашкового режиму кипіння рідини використовують рівняння:

$$\begin{aligned} \alpha_{кин} &= \left(0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n} \right)^{2/3} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_p^2 \cdot \rho_p}{\mu_p \cdot \sigma_p \cdot T_{кин}} \right)^{1/3} \cdot q^{2/3} = \\ &= \left(0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n} \right)^{2/3} \right)^3 \cdot \frac{\lambda_p^2 \cdot \rho_p \cdot \Delta T^2}{\mu_p \cdot \sigma_p \cdot T_{кин}}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Для деяких рідин, особливо в межах бульбашкового режиму кипіння, коефіцієнт тепловіддачі може бути досить точно описаним емпіричними залежностями, які враховують питоме теплове навантаження (або температурний напір) і тиск. Зазвичай, для практичних розрахунків використовують різні кореляції та емпіричні формули:

$$\alpha_{кип} = 2,72 \cdot \varphi \cdot p^{0,4} \cdot q^{0,7}, \quad (1.11)$$

де φ – множник, що враховує теплофізичні властивості рідини.

Подальший тепловий розрахунок кожухотрубчастого випарника з паровим простором може виконуватися за аналогією до теплового розрахунку звичайного кожухотрубчастого теплообмінника з нерухомими трубними решітками. Основний принцип теплового розрахунку полягає в знаходженні оптимальних параметрів для досягнення бажаної теплообмінної ефективності.

Конструктивні особливості кожухотрубчастого випарника з паровим простором [11, 14]

Необхідно враховувати, що висота кришки плаваючої головки в кожухотрубчастому теплообміннику повинна бути встановлена на такому рівні, де площа центрального перерізу кришки буде значно більшою, а саме не менше ніж в 1,3 рази перевищувати площину прохідного перерізу труби одного ходу. Ця вимога важлива для забезпечення належної працездатності плаваючої головки та оптимального теплообміну в теплообміннику. Визначення величини в 1,3 рази може бути адаптовано у залежності від конкретних обставин та вимог до конструкції теплообмінника. Важливо враховувати різні параметри, такі як конкретні характеристики теплообмінника та теплоносіїв, для правильного розрахунку оптимальної висоти кришки плаваючої головки. Ця вимога допомагає забезпечити надійну та ефективну роботу теплообмінника.

Конструкції кришок плаваючої головки, що найчастіше використовуються, зображені на рис. 1.1. Важливо враховувати, що середній радіус згину U-подібних труб повинен бути не менше ніж в 1,5 рази більшим за номінальний зовнішній діаметр труби. Огляд загального вигляду пучків труб із U-подібними трубами наведений на рис. 1.2.

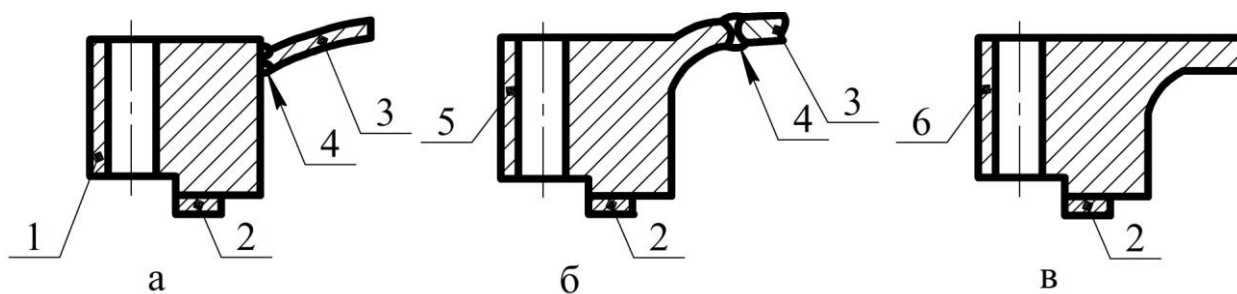


Рисунок 1.1 – Типові конструкції кришок плаваючих головок:

а – кільце-днище; б – фланець-днище; в – суцільна конструкція;

1 – кільце; 2 – прокладка; 3 – днище; 4 – зварний шов;

5 – фланець; 6 – суцільна механічно оброблена кришка



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд трубних пучків із U-подібними трубами

Корпус теплообмінника може бути виготовлений у двох варіантах:

1. **З переднім напівконічним днищем.** У цьому варіанті корпус має конічну форму, що допомагає забезпечити гарний обмін тепла між теплоносійми та підвищує ефективність теплообміну. Використання переднього напівконічного днища може бути вигідним в деяких технологічних процесах та додати стабільності теплообміну.
2. **З еліптичним днищем.** У цьому варіанті корпус має форму еліпса, що також сприяє ефективному теплообміну. Еліптичне днище може мати деякі переваги у випадках, коли потрібно зберегти певну внутрішню об'ємну ємність теплообмінника або врахувати інші конструктивні особливості.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Етиловий спирт залежно від свого складу, може бути розділений на чотири основні класи [15]:

Промисловий етанол (96,5 % об.). Цей вид етанолу призначений для промислового та технічного використання. Використовується як розчинник, паливо і т. д. Зазвичай до нього додають речовини з неприємним запахом, такі як піридин, у концентрації 0,5–1 % для запобігання споживанню в якості алкогольного напою.

Денатурований спирт. Це технічний продукт з концентрацією етанолу 88 % об., і він містить значну кількість домішок. Для запобігання його споживанню як алкогольного напою, він денатурується та забарвлюється відповідним чинном. Зазвичай використовується в освітленні та для обігріву.

Якісний алкоголь (96,0–96,5 % об.). Цей етанол є очищеним і використовується в фармацевтиці, виробництві косметичних засобів та для харчового споживання.

Абсолютний етанол (99,7–99,8 % об.). Надзвичайно чистий етанол, який використовується у фармацевтиці і виробництві аерозолів. Він має найвищу ступінь очищення серед усіх перерахованих класів етанолу.

Безпосередньо в нашій державі марки ректифікованого етанолу регламентуються стандартом ДСТУ 4221:2003 «Спирт етиловий ректифікований». Згідно з цим стандартом, виділяють чотири основні сорти ректифікованого етанолу в залежності від ступеня його очищення [1]:

Спирт етиловий ректифікований "Пшенична сльоза". Цей вид етанолу відзначається вищою ступенем очистки. Він може використовуватися у виробництві продуктів харчування, фармацевтичних засобів та інших високотехнологічних галузях.

Спирт етиловий ректифікований "Люкс". Цей сорт етанолу також має високу ступінь очистки та може бути використаний у різних галузях, включаючи фармацевтику та харчову промисловість.

Спирт етиловий ректифікований "Екстра". "Екстра" етанол має меншу ступінь очистки, але все ще придатний для багатьох виробничих процесів.

Спирт етиловий ректифікований "Вищої очистки". Цей сорт має найнижчий ступінь очистки серед вищезазначених видів і може бути використаний у менш вимогливих технологічних процесах.

Прискорення науково-технічного прогресу у спиртовій промисловості вимагає прийняття ряду важливих заходів та інновацій для покращення ефективності та сталості виробництва. По-перше, це безвідходні технології. Розвиток та впровадження технологій, які дозволяють мінімізувати утворення відходів та оптимізувати використання сировини, енергії та ресурсів.

По-друге, механізація та автоматизація. Використання сучасних механізованих та автоматизованих систем для підвищення продуктивності та зниження впливу людського фактору на виробництво. Також перспективним є розробка та впровадження нових видів обладнання, які дозволяють оптимізувати процеси виробництва і збільшити продуктивність.

По-третє, зменшення впливу на довкілля. Використання екологічно чистих технологій та обладнання для зменшення негативного впливу спиртової промисловості на довкілля.

Процес перегонки спирту на браго-ректифікаційних установках є важливим етапом у виробництві етилового спирту. Такі установки можуть бути основою для отримання спирту різної міцності та якості. Найпоширенішими є двоколонні установки, що включають бражну та ешюраційну колони (див. рис. 2.1).

Бражна колона. Ця частина установки призначена для першого етапу перегонки браги. Брага – це суміш сировини (зазвичай цукрового соку, сусла або іншої сировини) та води. У бражній колоні відбувається відокремлення спирту від інших компонентів суміші. Спирт випаровується і піднімається вгору колоною.

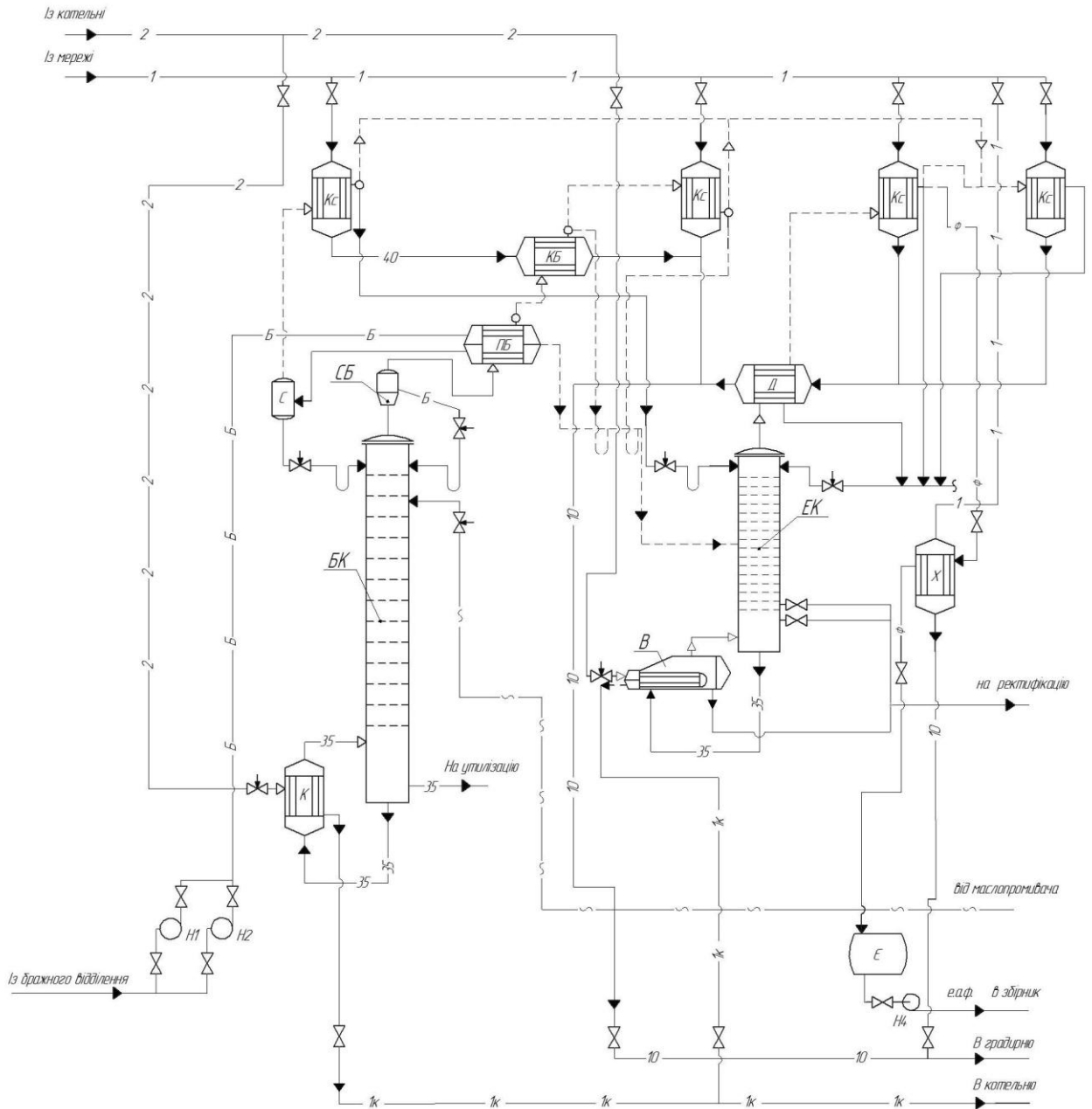


Рисунок 2.1 – Схема браго-ректифікаційної установки виробництва етилового спирту

Ректифікаційна (епюраційна) колона. Ця частина установки відповідає за подальшу ректифікацію парової фази, яка містить спирт. У ректифікаційній колоні відбувається фракціонування спирту, розділення його на різні компоненти залежно від їх кипіння. Тут також можуть застосовуватися ректифікаційні тарілки або інші контактні пристрої для покращення якості та міцності отриманого спирту.

Важливо відзначити, що роботу БРУ керують і контролюють відповідними параметрами, такими як температура, тиск та інші. Це допомагає досягти бажаних результатів у вигляді спирту певної міцності та якості. Такі БРУ дозволяють отримувати етиловий спирт відповідно до стандартів якості, і вони можуть бути налаштовані для виробництва спирту різної міцності, включаючи промисловий спирт, який може бути денатурований або піддаватися подальшій очистці для використання в харчовій промисловості та фармацевтиці.

Робота спиртової установки, де бражка піддається перегонці на браго-ректифікаційній установці (рис. 2.1) складається з наступних етапів:

Підігрівання бражки. Бражка, яка містить суміш сировини і води, піддається підігріванню в підігрівачі. Підвищення температури сприяє випаровуванню спирту і інших корисних компонентів із бражки.

Сепарація бражки. Після підігрівання бражка спрямовується в сепаратор, де відбувається відокремлення спирту і інших газоподібних компонентів від рідини. Спирт у газоподібній формі рухається вгору, а рідина спускається нижче.

Подача в бражну колону. Виділені пари спирту направляють на тарілку живлення бражної колони, де відбувається подальша ректифікація і очищення спирту, розділення його на різні компоненти.

Відведення діоксиду вуглецю. Діоксид вуглецю, який утворюється під час бродіння, відводять у суміші з водо-спиртовою парою через конденсатори та спиртовий вловлювач бражної колони. Це дозволяє видалити діоксид вуглецю з процесу.

Подача водно-спиртового конденсату в епюраційну колону. Водно-спиртовий конденсат, який формується в підігрівачі бражки, направляється безпосередньо в епюраційну колону. Тут відбувається подальша ректифікація та очищення спирту.

Зрошення флегмою. Для керування процесом ректифікації, частина дистилляту з рідиною зрошується флегмою. Ця операція дозволяє регулювати якість та міцність отриманого спирту.

Бражка, яка надходить до бражної колони, піддається ректифікації. Під час ректифікації спирт та інші легкі компоненти, такі як водень, виділяються в паровій формі та піднімаються вгору по колоні. Барда, що залишилася після ректифікації, виводиться з куба колони в кип'ятильник. Тут барда нагрівається до температури 78–82°C.

Барда виводиться з кип'ятильника через барометричний затвор у збірник барди. Барометричний затвор допомагає регулювати вивід барди і дозволяє підтримувати потрібний тиск в системі. Пара, яка утворюється внаслідок самовипарювання барди, спрямовується під нижню тарілку бражної колони. Це допомагає обігріти бражну колону, забезпечуючи оптимальну температуру для процесу ректифікації.

Бражний дистилят, який містить спирт і легкі компоненти, подається на тарілку живлення епюраційної колони. Ця операція дозволяє розподілити компоненти у колоні для подальшої очистки. Кубовий залишок, який не виділився у бражній колоні, направляється у випарник з паровим простором. Тут за рахунок тепла насиченої водяної пари відбувається вскипання кубової рідини (етанолу) та утворення парів. Останні повертаються в епюраційну колону, під її нижню тарілку, у якості парового зрошення.

Очищений спирт з епюраційної колони піддається охолодженню у холодильнику. Після охолодження готовий спирт направляється до спиртоприймального відділення для зберігання та використання у подальших технологічних процесах або у якості готового продукту.

2.2 Опис об'єкту розробки

Холодний теплоносій, яким є етиловий спирт, подається в міжтрубний простір випарника (рис. 2.2) через спеціальний патрубок при температурі 70°C і під абсолютним тиском 0,18 МПа. У свою чергу, насичена водяна пара (гарячий теплоносій) подається в розподільну камеру випарника. Водяна пара має тиск 0,15 МПа і температуру 111,7 °C.

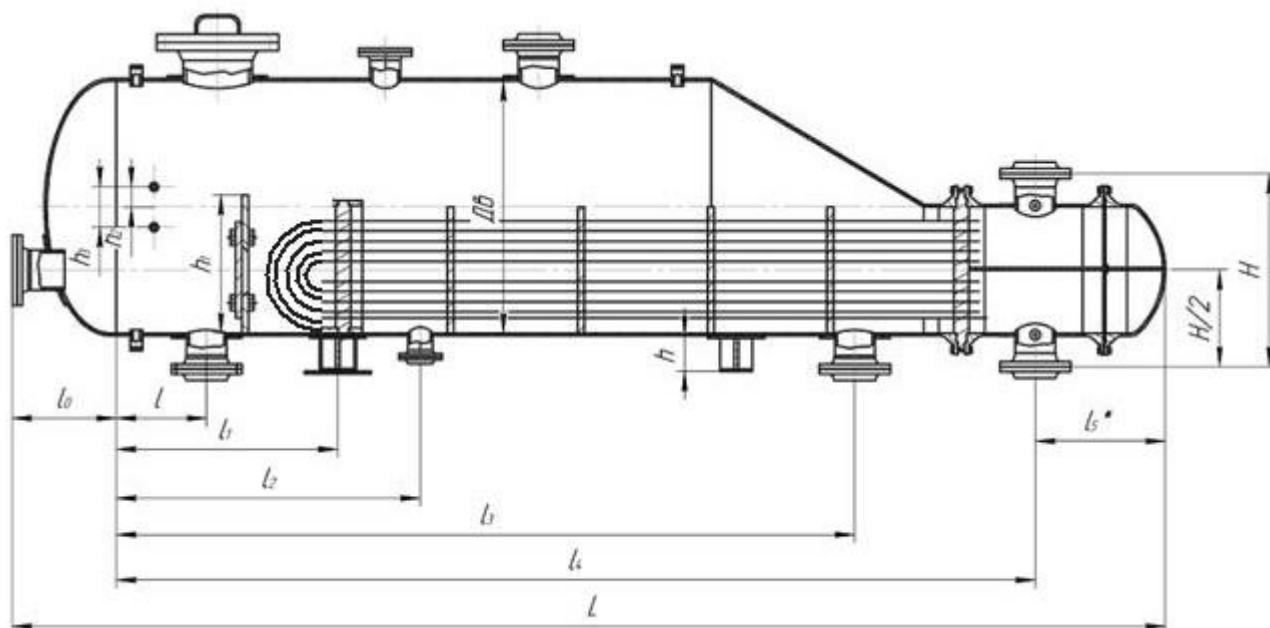


Рисунок 2.2 – Схема проєктованого випарника етанолу

За допомогою теплопередачі через сталеву стінку теплообмінних труб відбувається активне випаровування етанолу. Під впливом гарячої водяної пари, яка оточує теплообмінні труби, етанол переходить у пароподібний стан.

При заданому надлишковому тиску (0,18 МПа), етанол починає кипіти при температурі $91,8^{\circ}\text{C}$. Цей процес дозволяє випаровувати і виділяти етанол, забираючи тепло від гарячої водяної пари через стінки теплообмінних труб.

Для забезпечення ефективності роботи апарата і зручності обслуговування передбачено декілька важливих конструктивних заходів. Щоб підтримувати оптимальний рівень рідини в випарнику, використовується переливна планка. Вона дозволяє уникнути переповнення апарата та забезпечує стабільність процесу випаровування. Якщо рівень рідини перевищує встановлену планку, зайву рідину можна вивести з апарата через зливний патрубок. Це важливо для підтримання правильного робочого обсягу рідини в апараті.

Для зручності монтажу та ремонтних робіт в апараті передбачені спеціальний люк і монтажний патрубок. Вони дозволяють легко отримувати доступ до внутрішніх частин апарата без необхідності демонтажу всього обладнання.

Для підтримки трубного пучка в корпусі випарника встановлені металеві балки. На цих балках розміщені прогони із кутиків, які допомагають утримувати трубний пучок на місці та забезпечують його стабільність. Щоб уникнути зміщення трубного пучка під час транспортування апарата, використовується хомут, виготовлений із штабової сталі. Він надійно фіксує трубний пучок у випарнику.

Для полегшення монтажу або демонтажу трубного пучка у кожухотрубчастих теплообмінниках з плаваючою головкою або з U-подібними трубами застосовують спеціальні пристрої і елементи:

4. рим-болти – це спеціальні болти з різьбленою частиною, які використовуються для фіксації трубного пучка у теплообміннику; їх можна легко відкрутити для витягування труб у разі необхідності;
5. витяжні вушка – це спеціальні кільця або петлі, закріплені на трубах або трубних решітках. Вони служать для підвішування та витягування трубного пучка з теплообмінника. Завдяки витяжним вушкам можливо швидко та легко здійснити ремонтні роботи або заміну окремих труб.

Зазначені пристрої та елементи дозволяють забезпечити зручність і швидкість обслуговування та ремонту кожухотрубчастих теплообмінників з плаваючою головкою або U-подібними трубами, зменшуючи час і зусилля, необхідні для витягування трубного пучка з корпусу апарата.

2.3 Технологічні розрахунки [9–11]

Для визначення теплового навантаження випарника при зміні агрегатного стану теплоносія, в даному випадку етанолу, використовується рівняння теплового балансу. Тепловий баланс описує рівноважну ситуацію між всіма тепловими виділеннями та всмоктуваннями під час процесу випаровування. Рівняння теплового балансу може бути виражене таким чином:

$$Q = 1,05 \cdot (Q_{исп} + Q_{нагр}) = 1,05 \cdot (G_x \cdot r_x + G_x \cdot c_x \cdot (t_{исп} - t_{нх})), \quad (2.1)$$

де $Q_{исп}$ – кількість теплоти, яка необхідна для випаровування етанолу;
 $Q_{нагр}$ – кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання етанолу від $t_{нх} = 70^{\circ}\text{C}$ до температури випаровування $t_{исп} = 91,8^{\circ}\text{C}$;
 r_x – питома теплота пароутворення етанолу, $r_x = 385 \cdot 10^3$ Дж/кг [16];
 $c_x = 1,4 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) [16] – питома масова теплоємність етанолу при середній температурі $t_{ср.х} = 80^{\circ}\text{C}$.

$$Q = 1,05 \cdot \left(\frac{6500}{3600} \cdot 385 \cdot 10^3 + \frac{6500}{3600} \cdot 1,4 \cdot 10^3 \cdot (91,8 - 70) \right) = 787757 \text{ (Вт)}.$$

Витрата водяної пари (гарячого теплоносія):

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_{н2} - t_{к2})}, \quad (2.2)$$

де c_2 – теплоємність водяної пари, $c_2 = 2,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) [16];
 $t_{к2}$ – кінцева температура водяної пари.

Для наближених розрахунків у системах випаровування, де теплоносії змінює свій агрегатний стан, можна прийняти, що температура кипіння випаровуваної речовини повинна бути на $5\text{--}15^{\circ}\text{C}$ нижче температури охолоджуваного теплоносія. Це обґрунтовано тим, що випаровування відбувається при певній температурі, і для ефективного випаровування необхідно мати відповідну різницю температур [9].

Зниження температури кипіння робочого тіла нижче температури охолоджуваного теплоносія допомагає забезпечити ефективний обмін теплом між ними, що може полегшити процес випаровування і підвищити ефективність роботи самого теплообмінника. Таким чином, за рекомендацією [9] приймаємо $t_{к2} = 100^{\circ}\text{C}$.

$$G_2 = \frac{787,7}{2,2 \cdot (111,7 - 100)} = 30,6 \text{ (кг/с)}.$$

Побудова температурної схеми (рис. 2.3) для процесу випаровування етанолу допоможе визначити середню різницю температур між етанолом і водяною парою. Середня різниця температур є важливим параметром для оцінки теплового навантаження на випарник. Щоб побудувати температурну схему, слід враховувати такі важливі температурні зони:

6. зона 1 – це температура, при якій етанол починає випаровуватися. Вона зазвичай знаходиться на поверхні рідини в випарнику і визначається фізичними властивостями етанолу;
7. зона 2 – це температура входу охолодженого теплоносія у випарник;
8. зона 3 – це температура вихідної пари, що утворюється після випаровування етанолу;
9. зона 4 – це температура теплоносія, який покидає випарник після охолодження.

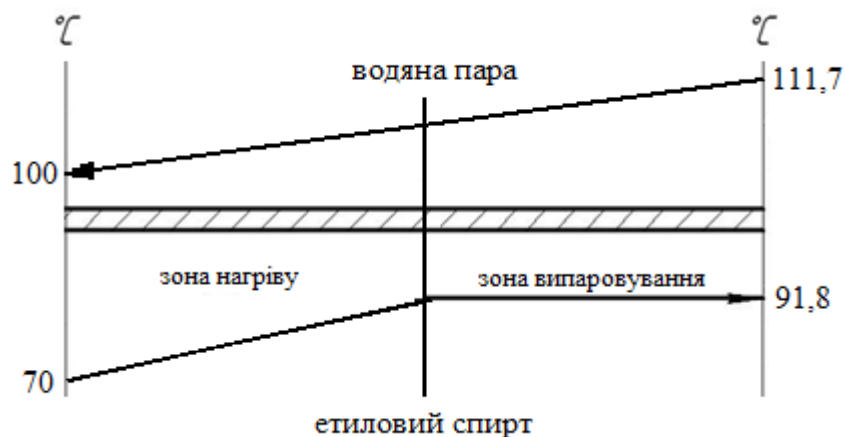


Рисунок 2.3 – Температурна схема процесу випаровування етанолу

Розділення теплообмінника на зону нагріву етанолу та зону випаровування етанолу є досить типовою практикою в системах випаровування. У такій системі гарячий теплоносіє, у нашому випадку це водяна пара, рухається протитоком з робочою речовиною (етанолом) і нагріває її до температури випаровування. Потім робоча речовина випаровується і переходить у пароподібний стан.

Температура t' визначається за формулою:

$$t' = t_{нз} - \frac{Q_{исп}}{G_2 \cdot c_2}; \quad (2.3)$$

$$t' = 111,7 - \frac{695139}{30,6 \cdot 2,2 \cdot 10^3} = 101,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середню різницю температур визначаємо за логарифмічною залежністю:

– для зони нагрівання

$$\Delta t_{сп}^{нагр} = \frac{(t_{кз} - t_{нх}) - (t' - t_{исп})}{\ln \frac{t_{кз} - t_{нх}}{t' - t_{исп}}} = \frac{(100 - 70) - (101,4 - 91,8)}{\ln \frac{100 - 70}{101,4 - 91,8}} = 17,9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

– для зони випаровування

$$\Delta t_{сп}^{исп} = \frac{(t_{нз} - t_{исп}) - (t' - t_{исп})}{\ln \frac{t_{нз} - t_{исп}}{t' - t_{исп}}} = \frac{(111,7 - 91,8) - (101,4 - 91,8)}{\ln \frac{111,7 - 91,8}{101,4 - 91,8}} = 14,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

За [9] орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі (K) від водяної пари до киплячої рідини знаходиться в межах 300–900 Вт/(м²·К). Для усереднених розрахунків можна вибрати середнє значення цього діапазону або використовувати середньоузагальнений коефіцієнт теплопередачі.

Середнє значення складе $(300+900)/2=600$ Вт/(м²·К). Це означає, що в середньому кожен квадратний метр поверхні теплообміну передає тепло між водяною парою і киплячою рідиною з коефіцієнтом теплопередачі 600 Вт/(м²·К).

Далі визначимо орієнтовну поверхню теплопередачі:

$$F = \frac{695139}{600 \cdot 17,9} + \frac{55106}{600 \cdot 14,1} = 71,2 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Вибираємо стандартизований кожухотрубний спарник з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 82 \text{ м}^2$; внутрішній діаметр кожуха $D = 800 \text{ мм}$; довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$; сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$; кількість трубних пучків 1; кількість труб у трубному пучку 82; площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Фактична швидкість руху водяної пари у трубах визначається за рівнянням:

$$w_2 = \frac{G_2}{n \cdot \rho_2 \cdot s_{mp}}, \quad (2.4)$$

де ρ_2 – густина водяної пари; при усередненій температурі $\rho_2 = 2,8 \text{ кг/м}^3$ [9];
 n – число ходів теплоносія по трубному простору.

$$w_2 = \frac{30,6}{2 \cdot 2,8 \cdot 23 \cdot 10^{-2}} = 23,8 \text{ (м/с)}.$$

Враховуючи фізико-хімічні властивості водяної пари визначаємо критерії:

– критерій Рейнольдса за рівнянням (1.6):

$$\text{Re} = \frac{23,8 \cdot 0,021 \cdot 0,8}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 31987.$$

– критерій Прандтля за рівнянням (1.7):

$$\text{Pr} = \frac{12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2,2 \cdot 10^3}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 1,1.$$

Критерій Рейнольдса використовується для визначення режиму руху рідини (або пари) в трубах. Значення критерію Рейнольдса показує, що рух є турбулентним, отже, критерій Нусельта визначаємо як:

$$Nu_2 = 0,023 \cdot 31987^{0,8} \cdot 1,1^{0,4} = 96.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{96 \cdot 0,25}{0,021} = 1143 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Попередньо розраховуємо значення безрозмірної функції b :

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left(\frac{6,5}{740 - 6,5} \right)^{2/3} = 1,07.$$

Для етанолу: $\nu_x = 0,34 \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda_x = 0,259 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, $\sigma_x = 0,017 \text{ Н/м}$.

$$\alpha = 1,07 \cdot \frac{0,259^2 \cdot 91,8^2}{0,34 \cdot 0,017 \cdot 70} = 1495 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Реальний коефіцієнт теплопередачі (або коефіцієнт теплопередачі на практиці) визначає, наскільки ефективно тепло передається від одного середовища до іншого через поверхню, яка їх розділяє. Цей коефіцієнт враховує усі тепловтрати, опори та інші фактори, що впливають на процес теплопередачі в реальних умовах.

Реальний коефіцієнт теплопередачі знаходимо за рівнянням:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (2.5)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1143} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{1495}} = 630 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

2.4 Конструктивні розрахунки апарату

Розрахункова поверхня випарника складе:

$$F_p = \frac{695139}{630 \cdot 17,9} + \frac{55106}{630 \cdot 14,1} = 67,8 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Запас поверхні:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} \cdot 100 \% ; \quad (2.6)$$

$$\Delta = \frac{82 - 67,8}{82} \cdot 100 \% = 17,3 \% .$$

Тобто, запас поверхні знаходиться у регламентованому діапазоні (10–20 %).

Остаточню вибираємо випарник типу У з такими характеристиками:

- ❖ поверхня теплообміну $F = 82 \text{ м}^2$;
- ❖ внутрішній діаметр кожуха $D = 800 \text{ мм}$;
- ❖ довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$;
- ❖ сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$;
- ❖ кількість трубних пучків 1;
- ❖ кількість труб у трубному пучку 82;
- ❖ площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Діаметри штуцерів випарника для підведення-відведення теплоносіїв визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} , \quad (2.7)$$

де V і G – об'ємна і масова витрати рідини/пари відповідно, $\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{кг}/\text{с}$;
 ρ – густина потоку середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 w – швидкість витікання середовища, $\text{м}/\text{с}$.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [9]: для рідини 0,1–0,5 $\text{м}/\text{с}$ при самопливі і 0,5–2,5 $\text{м}/\text{с}$ в напірних трубопроводах; для пари або газу 5–25 $\text{м}/\text{с}$.

Діаметр патрубку для входу рідкого етанолу в апарат:

$$d_{x.vx} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6500 / 3600}{3,14 \cdot 740 \cdot 1,5}} = 0,046 (\text{м}).$$

Діаметр патрубку для виходу парів етанолу:

$$d_{x.vix} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6500 / 3600}{3,14 \cdot 6,8 \cdot 15}} = 0,150 (\text{м}).$$

Діаметр патрубку для входу насиченої водяної пари:

$$d_{z.vx} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,36}{3,14 \cdot 2,8 \cdot 10}} = 0,128 (\text{м}).$$

Діаметр патрубку для виходу конденсату водяної пари:

$$d_{z.vix} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,36}{3,14 \cdot 958 \cdot 0,5}} = 0,031 (\text{м}).$$

За отриманими значеннями приймаємо стандартні патрубки:

- для входу рідкого етанолу $D_y = 50$ мм;
- для виходу парів етанолу $D_y = 150$ мм;
- для входу насиченої водяної пари $D_y = 150$ мм;
- для виходу конденсату водяної пари $D_y = 40$ мм.

2.5 Визначення гідравлічного опору апарату

Розрахунок гідравлічного опору випарника є важливим для оцінки втрат енергії на рух теплоносія через випарник. Гідравлічний опір випарника визначається на основі різниці тиску, швидкості теплоносія та геометричних параметрів випарника. Гідравлічний опір міжтрубного простору, якщо швидкість теплоносія дійсно дуже мала (наприклад, при випаровуванні рідини), може бути ігнорованим в порівнянні із загальним гідравлічним опором випарника.

Зазвичай гідравлічний опір випарника розраховують за допомогою відповідних рівнянь Нав'є-Стокса або експериментальними даними. Цей розрахунок важливий для визначення необхідної потужності насоса або вентилятора для примусового переміщення теплоносія через випарник і забезпечення ефективного випаровування та теплопередачі.

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики, що викладена у [17].

Повний напір, необхідний для руху рідини або газу через теплообмінник, визначаємо як:

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{TP} + \Sigma \Delta P_M + \Sigma \Delta P_U + \Sigma \Delta P_G, \quad (2.8)$$

де $\Sigma \Delta P_{TP}$ – сума гідравлічних втрат на тертя, Па;

$\Sigma \Delta P_M$ – сума втрат напору в місцевих опорах, Па;

$\Sigma \Delta P_U$ – сума втрат напору, обумовлених прискоренням потоку, Па;

$\Sigma \Delta P_G$ – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

Гідравлічні втрати на тертя в каналах при поздовжньому омиванні пучка труб теплообмінного апарату визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_E} \cdot \frac{w_2^2 \cdot \rho_2}{2}, \quad (2.9)$$

де λ_{TP} – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (2.10)$$

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труб, мм.

Для сталевих нових труб $\Delta = 0,06-0,1$ мм, для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією $\Delta = 0,1-0,2$ мм.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{31987} \right)^{0,25} = 0,1625;$$

$$\Delta P_{TP} = 0,1625 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{23,8^2 \cdot 2,8}{2} = 36821 (\text{Па}).$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{w_2^2 \cdot \rho_2}{2}, \quad (2.11)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору. Його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника: $\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4$ (вхідна і вихідна камери $\xi_1 = 1,5$, вхід у труби $\xi_2 = 0,5$ і вихід із них $\xi_3 = 1$, поворот на 180° між ходами $\xi_4 = 1,4$ [17]).

$$\xi = 2 \cdot 1,5 + 0,5 + 1 + 1,4 = 5,9;$$

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{23,8^2 \cdot 2,8}{2} = 4679 (\text{Па}).$$

Оскільки для крапельних рідин втрати тиску ΔP_y мізерно малі, то вони в розрахунок не приймаються ($\Delta P_y = 0$).

Перепад тиску для подолання гідростатичного стовпа рідини дорівнює нулю ($\Delta P_T = 0$), оскільки випарник не сполучається із навколишнім середовищем.

Повний напір, необхідний для руху середовищ через апарат складе:

$$\Delta P = 36821 + 4679 = 41500 \text{ (Па)}.$$

2.6 Розрахунок і вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір ємності для тимчасового зберігання естероальдегідної фракції. Згідно з технологічною схемою, яка зображена на рис. 2.1, першим кроком у процесі обробки сировини є введення суміші в епіюраційну колону для проведення процесу розділення компонентів. Зважаючи на вихідні дані, відомо, що витрата етанолу, яка подається в проєктований випарник, становить 6500 кг/год. Виходячи з цієї інформації, робимо припущення про продуктивність епіюраційної колони досягає 10000 кг/год. за вихідною сумішшю.

Таким чином, враховуючи ці дані, можна зробити висновок, що кількість верхнього продукту, отриманого в результаті роботи колони (тобто дистиляту), складає 3500 кг/год.

Ємність для зберігання е.а.ф. розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу і з урахуванням коефіцієнта заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,85$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.12)$$

де G – загальна витрата суміші, кг/год.;

τ – резерв робочого часу, $\tau = 7$ год.;

ρ – густина вихідної суміші, $\rho = 740$ кг/м³.

$$V_{EP} = \frac{3500 \cdot 7}{0,85 \cdot 740} = 38,95 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Задаємося стандартизованим діаметром ємності $D = 2,8$ м, тоді її висота складе:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.13)$$

$$H = \frac{38,95}{0,785 \cdot 2,8^2} = 6,3 \text{ (м)}.$$

Розрахунок і вибір насоса для відведення е.а.ф. з установки. Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів приймемо однакову швидкість плинину рідини, що дорівнює $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.14)$$

де V – об’ємна витрата вихідної суміші, м³/с.

$$d = \sqrt{\frac{1,31 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,029 \text{ (м)}.$$

Приймаємо $D_y = 32$ мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.15)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 740}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 189440,$$

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

Тоді:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 6,25 \cdot 10^{-3}.$$

Далі отримаємо:

$$\frac{1}{e} = 160; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 89600; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 1600; \quad \text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, автомодельної по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.16)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (6,25 \cdot 10^{-3})^{0,25} = 0,03.$$

Далі визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої і нагнітальної 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 нагнітальної лінії:

1) вентилі прямоточні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;

3) вихід із труби $\xi_3 = 1$.

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

$$\Sigma \xi = 1,3 + 3,3 + 1 = 5,6.$$

Втрачений напір у всмоктуючій лінії знаходимо за формулою:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.17)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left(0,03 \cdot \frac{8}{0,032} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,08 \text{ (м)}.$$

Втрачений напір в нагнітальній лінії знаходимо за формулою (2.17):

$$h_{П.НАГ.} = \left(0,03 \cdot \frac{12}{0,032} + 5,6 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 3,44 \text{ (м)}.$$

Загальні втрати напору:

$$h_{II} = h_{II.BC.} + h_{II.HAG.}, \quad (2.18)$$

$$h_{II} = 2,08 + 3,44 = 5,52 \text{ (м)}.$$

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{II}, \quad (2.19)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина;

H_{Γ} – геометрична висота підйому рідини.

$$H = \frac{0,1}{740 \cdot 9,81} + 3 + 5,52 = 8,5 \text{ (м)}.$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.20)$$

де Q – подача (витрата), $Q = 1,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напір насоса.

$$N_{II} = 740 \cdot 9,81 \cdot 1,31 \cdot 10^{-3} \cdot 8,5 = 80,8 \text{ (Вт)}.$$

Потужність, яку повинен розвивати електродвигун насоса на вихідному валу при сталому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.21)$$

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

Отримуємо:

$$N = \frac{80,8}{1 \cdot 0,6} = 134,7 \text{ (Вт)}.$$

За [14] вибираємо відцентровий насос марки ЦНС 08-12 з такими параметрами: об'ємна подача насоса 8 м³/год.; напір насоса 12 м; потужність, споживана насосом 2,5 кВт; частота обертання 1400 об/хв.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [18–20]

Вибір конструкційного матеріалу для елемента, вузла або апарата повинен бути обґрунтованим і базуватися на вимогах і умовах його експлуатації. По-перше, слід розглянути максимальну і мінімальну температури, з якими апарат буде зустрічатися в процесі експлуатації. І вибрати такий матеріал, який має відповідну термічну стійкість і не піддатний до деформацій або корозії при таких температурних умовах.

Далі оцінюємо максимальний тиск, якому буде піддаватися апарат. Розглянемо характер агресивного середовища, з яким апарат буде взаємодіяти.

Вибір сталі для виробництва випарника етанолу є важливим завданням, оскільки цей процес вимагає матеріалу, який буде стійким до впливу корозії і високих температур. Для випарників, які використовуються в процесах виробництва етанолу, зазвичай рекомендується використовувати нержавіючу сталь (наприклад, сталі серії AISI 321, AISI 304 або AISI 316).

Сталь 12X18H10T відповідає сталі AISI 321 і має хорошу стійкість до корозії та добру термічну стійкість, що робить її популярним вибором для обладнання, яке використовується в агресивних середовищах.

Сталь 08X18H10 відповідає сталі AISI 304 і також має хорошу стійкість до корозії та відмінну зварюваність, що робить її популярним вибором для багатьох промислових застосувань.

Сталь 10X17H13M2T відповідає сталі AISI 316 і має високу стійкість до корозії та стійкість до впливу кислот і солей. Вона також є хорошим варіантом для виробництва обладнання, яке зазнає агресивного впливу.

Нержавіюча сталь має високу стійкість до корозії, що дуже важливо для процесів, де взаємодія з агресивними середовищами, такими як алкоголь або розчинники, є надзвичайною. Нержавіюча сталь має хорошу теплопровідність, що сприяє ефективному випаровуванню етанолу.

Випарники часто експлуатуються при високих температурах, і нержавіюча сталь здатна зберігати свою міцність та стійкість при цьому. Вона легко обробляється та зварюється, що спрощує виготовлення апаратури.

Вибираємо ВСтЗпсЗ (звичайна якість листової та профільної сталі), для виготовлення пристроїв, які забезпечують зручність обслуговування і зовнішнього огляду апарату. Перевагами використання ВСтЗпсЗ є:

1. Низька вартість. ВСтЗпсЗ відома своєю економічністю, що може бути важливим фактором, особливо, коли бюджет обмежений.
2. Гарна оброблюваність. Цей матеріал легко обробляється, що спрощує процес виготовлення пристроїв та виробів.
3. Зварюваність. Сталь також має добру зварюваність, що дає можливість виготовляти складні конструкції та з'єднання.

Застосування жаростійкої емалі ПФ8 для захисту зовнішніх поверхонь апарата від впливу навколишнього середовища є розумним рішенням, особливо, якщо апарат піддається тривалому впливу температури до 150°C. Емаль ПФ8 відома своєю високою жаростійкістю та атмосферостійкістю і може забезпечувати ефективний захист від корозії та механічних пошкоджень.

Основні переваги використання емалі ПФ8 включають:

1. Жаростійкість. Ця емаль може витримувати високі температури до 150°C без втрати якості або пошкоджень.
2. Стійкість до корозії. Вона надійно захищає металеві поверхні від впливу агресивних середовищ і забезпечує довгий термін служби.
3. Водостійкість. Емаль ПФ8 володіє високою стійкістю до вологи, що робить її придатною для зовнішніх застосувань.
4. Довговічність. Емаль здатна зберігати свою якість і кольорову стійкість протягом тривалого періоду часу.

У процесі створення неметалевих прокладок для ефективного ущільнення роз'ємів фланцевих з'єднань апаратів використовується спеціальний матеріал – пароніт ПОН-1. Цей матеріал відзначається своєю унікальною будовою і

властивостями, які роблять його ідеальним вибором для створення надійних прокладок. Це структурований листовий матеріал, який отримується шляхом пресування суміші, яка складається із кількох ключових компонентів. Важливі складові цього матеріалу включають азбест, каучук та порошкові інгредієнти.

Пароніт ПОН-1 відомий своєю здатністю надійно ущільнювати фланцеві з'єднання, запобігаючи витoku рідини або газу через роз'єми. Цей матеріал може легко адаптуватися до форми і контуру фланців, що гарантує ефективне ущільнення і запобігає витoku. Він стійкий до стиснення та зберігає свою структуру під впливом тиску та змін температури.

Але слід враховувати, що пароніт містить азбест, який може бути потенційно шкідливим для здоров'я при вдиханні або контакті. Тому під час обробки та роботи з паронітом необхідно дотримуватися всіх заходів безпеки та рекомендацій для захисту здоров'я.

3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність

Розрахунок проводимо відповідно до методики, що викладена у [21]. Приймаємо робочий тиск у міжтрубному просторі 0,18 МПа.

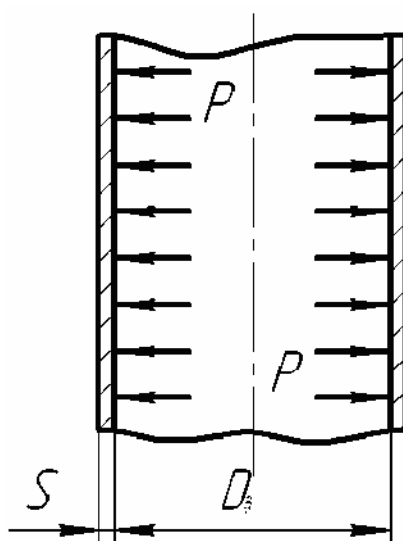


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Знаходимо величину нормативної допустимого напруження для сталі AISI 321 при розрахунковій температурі: $\sigma^* = 202$ МПа.

Допустиме напруження:

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

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

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

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

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

де $\sigma_r^{20} = 280$ МПа – межа плинності сталі AISI 321 при температурі 20°C.

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

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

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

де $P = 0,18$ МПа – робочий тиск;

P_r – гідростатичний тиск середовища.

Гідростатичний тиск середовища:

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

$$P_r = 9,81 \cdot 740 \cdot 0,518 = 0,004 \text{ МПа;}$$

$$P_p = 0,18 + 0,004 = 0,184 \text{ МПа.}$$

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

$$P_H = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, 0,2 \right\}, \quad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 196 \text{ МПа}$ – допустиме напруження сталі AISI 321 при 20°C.

$$P_H = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,184 \cdot 196}{202} = 0,27 \text{ МПа}, 0,2 \text{ МПа} \right\} = 0,27 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_p}, \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_H - P_H} \right\}; \quad (3.6)$$

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

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{0,184 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,184} = 0,36, \frac{0,27 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 254,5 - 0,27} = 0,42 \right\} = 0,42 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_{II} \geq S_P^H + c, \quad (3.7)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

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

c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна прибавка.

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

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

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

$\tau = 10$ років – термін роботи апарата.

$$c = c_1 = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм};$$

$$S_{II} = 0,42 + 1,0 = 1,42 \text{ мм}.$$

Приймаємо із запасом міцності $S_{II} = 5$ мм.

Розрахункова товщина еліптичного днища:

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

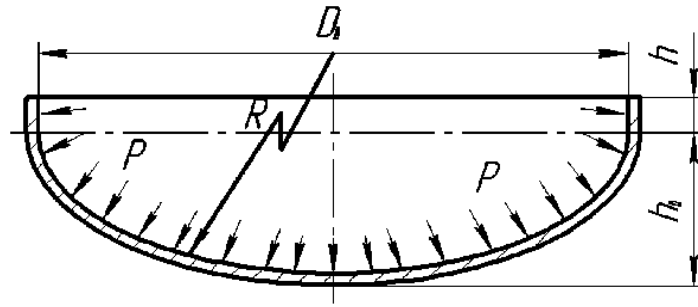


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,184 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,5 \cdot 0,184} = 0,36 \\ \frac{0,27 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,5 \cdot 0,27} = 0,42 \end{array} \right\} = 0,42 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина еліптичного днища:

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

$$S_E = 0,42 + 1,0 = 1,42 \text{ мм.}$$

Так само приймаємо $S_E = 5 \text{ мм.}$

Знаходимо масу обичайки кожуха:

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{II})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де $\rho = 7890 \text{ кг/м}^3$ – щільність сталі.

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,005)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot 7890 = 598 \text{ (кг).}$$

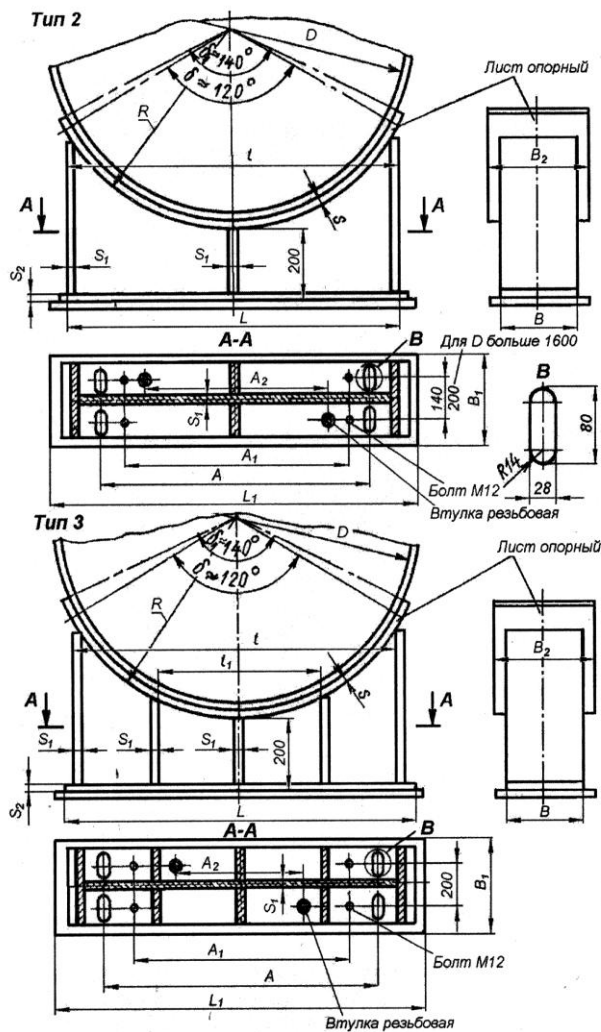


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема стандартних сідлових опор

Маса еліптичного днища і кришки відповідно (згідно [21]):

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho; \quad (3.13)$$

$$m_{E_{дн}} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,005 \cdot 7890 = 31,3 \text{ (кг)};$$

$$m_{E_{кр}} = 1,24 \cdot 0,5^2 \cdot 0,005 \cdot 7890 = 12,2 \text{ (кг)}.$$

Маса труб:

$$m_{mp} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho; \quad (3.14)$$

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 6 \cdot 134 \cdot 7890 = 916 \text{ (кг)}.$$

Маса фланця з решіткою:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.15)$$

де D_{ϕ} – зовнішній діаметр фланця, м;

h_{ϕ} – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,51^2}{4} \cdot 0,06 \cdot 7890 = 97 \text{ (кг)}.$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{mtp} = f_{mtp} \cdot H; \quad (3.16)$$

$$V_{mtp} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \text{ (м}^3\text{)}.$$

При коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,65$ маса етанолу в апараті складе:

$$m_x = V_{mtp} \cdot \rho_x \cdot \varphi; \quad (3.17)$$

$$m_x = 1,2 \cdot 740 \cdot 0,65 = 577 \text{ (кг)}.$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{Едн} + m_{Екр} + m_{mp} + m_{\phi} + m_x); \quad (3.18)$$

$$G = 9,81 \cdot (598 + 31,3 + 12,2 + 916 + 97 + 577) = 21891 \text{ (Н)}.$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору складе:

$$Q = \frac{G}{n}; \quad (52)$$

$$Q = \frac{21891}{2} = 10945,5(\text{H}).$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору 400-514-2-П, конструктивні розміри якої (умовні позначення див. рис. 3.3): $D = 800$ мм; $R = 514$ мм; $S_1 = 8$ мм; $S_2 = 14$ мм; $L = 800$; $A = 650$ мм; $A_1 = 550$ мм; $A_2 = 400$ мм; $l = 980$ мм; $B = 250$ мм; $L_1 = 1020$ мм; втулка для опори М48; $S = 6$ мм; $B_2 = 360$ мм.

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компоновки основного та допоміжного обладнання [23]

Розташування обладнання впливає на швидкість та якість виробництва. Оптимальне розміщення може зменшити зайвий час, оптимізувати потік матеріалів та прискорити процеси виробництва. Відповідне розміщення обладнання допомагає запобігти потенційним аваріям та небезпеці для працівників. Це може включати вентиляцію для розсіювання шкідливих речовин, системи пожежогасіння та ізоляцію для запобігання витокам речовин.

Забезпечення доступу до обладнання для технічного обслуговування та контролю робить можливим проведення регулярних і планових інспекцій, що сприяє запобіганню непередбаченим проблемам та підвищує надійність обладнання. Оптимізація розміщення обладнання дозволяє зменшити загальну площу, необхідну для виробництва. Це може знизити витрати на будівництво та експлуатацію приміщень.

Зниження витрат та підвищення продуктивності завдяки правильному розміщенню обладнання може позитивно вплинути на прибутковість виробництва і підвищити конкурентоспроможність підприємства.

Мінімізація зайвих операцій та оптимізація розміщення обладнання сприяють підвищенню продуктивності та зниженню витрат. Планування розміщення обладнання з урахуванням логістики постачання сировини та транспортування готової продукції забезпечує безперебійну роботу виробництва.

Враховуючи низку ключових аспектів при обранні відкритого майданчика для розташування обладнання у нафтопереробній галузі, слід прагнути створити ідеальні умови для оптимального функціонування виробництва. Використання відкритого майданчика дозволяє розмістити обладнання та інфраструктуру таким чином, що це може призвести до значних економічних вигід при будівництві та подальшій експлуатації підприємства.

Один із ключових факторів, які слід враховувати, – це раціональне розміщення обладнання, і відкритий майданчик надає можливість здійснити це в найкращому вигляді. Ми можемо точно розпланувати розміщення обладнання та інфраструктури так, щоб кожен елемент буде розташований оптимально для максимальної продуктивності та ефективності виробництва. Це також дає можливість значно заощадити на будівельних витратах, оскільки не потрібно будувати обмежувальні стіни або дахи, які б лімітували розміщення обладнання.

Крім того, вибір відкритого майданчика надає переваги у зв'язку з доступністю для монтажу нового обладнання та проведення ремонтних робіт. Ми можемо легко підходити до будь-якого обладнання для його обслуговування, і це сприяє підвищенню загальної продуктивності завдяки можливості вчасного проведення технічного обслуговування та ремонтних робіт. Ця доступність також допомагає знижувати витрати, оскільки ми можемо оперативно реагувати на будь-які проблеми та уникати довгострокових перерв у виробництві.

У підсумку, вибір відкритого майданчика для розташування обладнання виявляється найкращим рішенням, яке сприяє оптимізації процесів та забезпеченню безперебійної роботи спиртового підприємства.

Позиціонування виробничого обладнання на відкритому майданчику прирівнюється до стратегічного вибору, що надає чимало переваг для хімічних та харчових підприємств. Це рішення дозволяє керувати (контролювати) викидами газів і тепловиділенням, зменшуючи їх вплив на природу та забезпечуючи відповідність найсуворішим екологічним нормам. Відкритий майданчик виявляється важливим інструментом для ефективного контролю можливих вибухів та пожеж, які можуть виникнути на нафтогазових підприємствах, що забезпечує високий ступінь безпеки для персоналу та майна.

За допомогою цього підходу ми також залишаємо простір для майбутнього розширення наших виробничих потужностей та об'єктів, що створює сприятливі умови для динамічного розвитку нашого підприємства. Вільний простір дозволяє нам планувати та впроваджувати нові технології та

обладнання, що сприяє підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності на ринку.

У цілому, обрана стратегія розташування на відкритому майданчику максимізує нашу здатність до ефективного керування виробництвом, забезпечує дотримання норм екологічної безпеки, гарантує безпеку персоналу та майна, і водночас створює сприятливі умови для неперервного росту та розвитку нашого підприємства.

При обранні розташування обладнання на відкритому майданчику, важливо дотримуватися рекомендацій та керуватися технічними нормами і стандартами безпеки. Бажано розташовувати важке і габаритне обладнання на позначці землі, оскільки це забезпечить стійкість та надійність під час експлуатації. Важливо враховувати необхідність високопрочних опорних конструкцій. Для опорних пристроїв рекомендується використовувати типові конструкції залізобетону. Вони відомі своєю міцністю та стійкістю до навантажень і погодних умов.

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

Ємності, насоси і теплообмінне обладнання, які вимагають додаткової стійкості і стабільності, можуть бути розташовані на індивідуальних фундаментах. Це забезпечить надійну підтримку для цих об'єктів. Також розміщення обладнання на відкритих майданчиках має враховувати ряд важливих вимог та рекомендацій з метою забезпечення безпеки, зручності обслуговування та ефективності робочих процесів:

Передбачте наявність проходів між обладнанням, щитами і конструкціями таким чином, щоб забезпечити безпечний доступ для обслуговування обладнання,

рух людей і транспорту. Мінімальна ширина проходів між найвиступнішими частинами обладнання, щитами і конструкціями повинна бути не менше 1 метра. Це сприяє запобіганню заторам і забезпечує швидкий доступ у разі аварій.

Технологічне обладнання, яке створює вібрацію і шум на робочих місцях, рекомендується встановлювати на спеціальних фундаментах і амортизаторах. Це допомагає знизити вплив вібрації та шуму на працівників і забезпечує комфортні умови роботи. Під час розміщення обладнання рекомендується виділяти групи апаратів, які мають спільні ознаки або призначення. Це сприяє організації робочих зон і полегшує обслуговування. Наприклад, апарати однієї технологічної лінії можуть бути розташовані поруч для зменшення витрат часу на переміщення працівників.

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

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

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

Залежно від призначення та характеристик перекачуваних речовин, трубопроводи поділяються на 3 групи: перша група включає трубопроводи для небезпечних речовин; друга – для менш небезпечних; третя – 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.

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

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання [24, 25]

Технологія монтажу кожухотрубчастих теплообмінників є важливою частиною їхнього встановлення і впливає на ефективність та надійність їхньої роботи. Метод встановлення на відкритому майданчику (на нульовій позначці) використовується для великих промислових теплообмінників, які встановлюються під відкритим небом. Вони можуть бути розміщені на підставках або спеціальних фундаментах. Деякі теплообмінники можуть бути встановлені на спеціальних підставках або в побудовах для захисту від погодних умов та забезпечення легкого доступу для обслуговування та ремонту.

Орієнтація теплообмінника може впливати на ефективність його роботи та потік робочого середовища. Вибір орієнтації повинен враховувати конкретні потреби процесу.

Транспортування теплообмінників в зібраному вигляді є зручним і економічним підходом, особливо для великих теплообмінників. Вибір засобу транспорту може включати в себе залізничні платформи, трейлери, автомашини, або навіть спеціалізовані робочі платформи для складних монтажних робіт. Транспортування в зібраному вигляді сприяє уникненню пошкоджень та спрощує процес монтажу на місці призначення.

Теплообмінники встановлюються відповідно до проекту та можуть бути розміщені як горизонтально, так і вертикально на різних відмітках. Для забезпечення стійкості та надійності теплообмінників застосовують опорні конструкції. Ці опорні конструкції можуть бути реалізовані у вигляді фундаментів, що складаються з двох бетонних або залізобетонних стовпів з анкерними болтами (при низькому горизонтальному розташуванні), або висотних металоконструкцій, включаючи балки (при вертикальному розташуванні та горизонтальному розташуванні на великих висотах).

Для забезпечення стабільності та надійності теплообмінників при їх монтажі до корпусу апарату прикріплюють дві опори. Відстань між цими опорами відповідає вимогам проекту та стандартам. У випадках, коли необхідно встановити теплообмінник на існуючому фундаменті, може бути дозволено змінювати відстань між опорами в межах невеликих варіацій.

Між корпусом теплообмінника та опорами апарата використовуються підкладки з листової сталі. Ці підкладки допомагають запобігти ушкодженням корпусу теплообмінника та забезпечують рівномірний розподіл навантаження. Для вертикально розташованих теплообмінників, замість опор, прикріплюють лапи з ребрами жорсткості, що також сприяє стабільності та надійності їхньої установки.

У більшості випадків для встановлення теплообмінників використовують самохідні крани, які дозволяють позиціонувати їх у потрібне проектне положення. Проте, іноді виникають ситуації, коли підняти великі теплообмінники за допомогою одного крану неможливо через обмежену вантажопідйомність цього крану. У таких випадках використовують два крани, які працюють спільно та координовано для підняття теплообмінників.

Коли мова йде про встановлення теплообмінників у два або більше яруси, рекомендується використовувати стратегію підняття їх великими блоками, які складаються з кількох окремих апаратів після з'єднання їх взаємною трубопровідною системою. Під час підняття таких блоків теплообмінників, їх розміщують у жорсткі решітчасті контейнери, до яких пристібають підйомні стропи. Цей підхід дозволяє ефективно та безпечно переміщати та встановлювати великі теплообмінники.

Отже, процес встановлення теплообмінників може бути досить складним, особливо в разі великих і багаторівневих конструкцій. Використання відповідних підйомних засобів та стратегій допомагає забезпечити безпеку та ефективність цього процесу.

Перевірка та налаштування трубопровідної обв'язки теплообмінника важлива стадія процесу монтажу. Перш ніж розпочати підключення трубопроводів, необхідно впевнитися, що корпус теплообмінника розташований правильно і закріплені болти, які з'єднують опори або лапи з постаментом. Це визначальний момент для забезпечення коректної роботи системи теплообміну.

Для впевненості в точному розташуванні теплообмінника використовують рівень або схил. Якщо необхідно, під опорні площини додають сталеві планки для досягнення відповідної висоти та рівномірного розподілу навантаження.

При вивірці теплообмінних апаратів відхилення від проектних осей та позначок, а також по горизонталі та вертикалі складають:

- головних осей апарату ± 10 мм;
- осі вертикального апарату від вертикальності – 3 мм на 1 м (але не більше 35 мм);
- горизонтального апарату від горизонтальності чи заданого положення (ухилу) – 0,3 мм на 1 м.

Під час горизонтального розташування теплообмінників виникають температурні деформації корпусу, які можуть досягати значних розмірів, а саме кількох міліметрів. Щоб компенсувати ці деформації і забезпечити правильне положення теплообмінника між опорами, одна з опор повинна бути рухомою. Зазвичай ця

нерухома опора закріплюється на боці трубної решітки і фіксується тільки контргайками, а гайки болтів рухомої опори, які мають овальні вирізи, не затягуються на 1–1,5 мм. Важливо враховувати, що зазор між болтами та овальними вирізами повинен бути розташованим у напрямку можливого подовження теплообмінника. Крім того, поверхні ковзання слід ретельно зачищати, щоб уникнути защемлення і забезпечити безперешкодний рух опор.

Теплообмінники, які виробляються заводом-виробником, піддаються опресуванню на пробний тиск, який демонструє їхню надійність і герметичність. Тому, під час монтажу на монтажному майданчику, не потрібно повторно проводити опресування кожного теплообмінника окремо. Зазвичай, обмежуються перевіркою загальної системи теплообміну разом із трубопроводною обв'язкою після завершення монтажних робіт. Це спрощує процес монтажу і забезпечує безпеку та надійність роботи теплообмінної системи.

Теплообмінну апаратуру слід призупиняти для ремонту у випадках, коли виникають наступні основні несправності:

1. Забруднення поверхні теплообміну. Засмічення або накип на поверхні теплообмінника може суттєво зменшити ефективність теплового обміну. При наявності забруднень або нальоту, апаратура повинна бути зупинена для очищення теплообмінного обладнання та відновлення його ефективності.

2. Виявлення пропуску рідини. Виявлення витоку рідини з теплообмінника може бути небезпечним і може призвести до втрати робочого середовища або навіть потенційно небезпечних ситуацій. В такому випадку теплообмінний апарат також слід зупинити для виправлення проблеми та забезпечення безпеки та надійності процесу.

Ремонт теплообмінних апаратів є важливою процедурою для забезпечення їх надійної та ефективної роботи протягом тривалого періоду експлуатації. Накип, бруд і інші забруднення можуть накопичуватися на поверхні теплообмінника з часом і значно зменшувати ефективність теплового обміну. Під час ремонту, такі забруднення видаляються шляхом механічного або хімічного очищення, відновлюючи таким чином оптимальну теплопередачу.

Після очищення поверхні нагріву може бути необхідно провести ремонт або підкріплення цих поверхонь. Це включає в себе роботи з виправлення тріщин, подряпин, а також заміну зіпсованих частин або елементів теплообмінника. Запірна апаратура, така як клапани та вентиля, які контролюють потік робочого середовища, також може вимагати обслуговування та ремонту. Це може включати в себе заміну ущільнень, регулювання робочого тиску та інші дії для забезпечення правильного функціонування.

Ефективна ізоляція допомагає зберігати тепло та запобігає втраті енергії. Під час ремонту може бути необхідно відновлювати або замінювати ізоляційний матеріал, щоб забезпечити його надійність та ефективність.

Очищення осаду, який відкладається на стінках теплообмінного апарата, є важливою операцією для збереження ефективності теплового обміну. Існують різні методи очищення теплообмінних поверхонь, і вибір методу залежить від виду та ступеня забруднення:

1. Хімічне очищення. Цей метод використовує хімічні речовини для пом'якшення та розчинення осаду на поверхні нагріву. Зазвичай, для цього використовується каустична сода для пом'якшення осаду, а потім слабкий розчин соляної кислоти для розчинення осаду. Хімічне очищення часто використовується для очищення міжтрубного простору.

2. Термічне очищення. Цей метод базується на використанні різних коефіцієнтів теплового розширення між осадом і металом. Поверхню нагріву спочатку підігрівають перегрітою парою, а потім охолоджують холодною водою, що очищена хімічним методом. В результаті, частки осаду відокремлюються від поверхні нагріву і потім видаляються вручну або за допомогою промивання. Цей метод ефективний для очищення твердого та крихкого осаду.

3. Гідравлічне очищення. Цей метод використовує струмінь води високої швидкості (понад 50 м/с) для видалення осаду. Він застосовується для видалення крихкого осаду.

4. Механічне очищення. Цей метод включає в себе використання металевих щіток або щіток для очищення поверхонь. Чищення труб проводиться за допомогою спеціальних пристроїв, які використовуються для видалення осаду. Під час чищення в трубки подається вода для вимивання відділеного осаду.

Ремонт трубчастої поверхні теплообмінника – це складний процес, що включає в себе декілька важливих етапів для відновлення ефективності теплообміну та забезпечення надійності системи. Першим кроком є детальний огляд трубчастої поверхні теплообмінника. Це включає в себе визначення ступеня зносу, корозії, наявності тріщин чи інших пошкоджень. Якщо в процесі огляду були виявлені труби, які вже не здатні до нормальної роботи, їх потрібно видалити. Це може включати в себе витягування або вирізання таких труб.

Для заміни видалених труб потрібно підготувати нові труби, які відповідають вимогам і параметрам системи. Крім того, може знадобитися підготовка трубної решітки, на яку будуть встановлюватися нові труби. Нові труби встановлюються на місце видалених та здійснюється їх розвальцювання. Цей процес важливий для створення надійного з'єднання між трубами та трубною решіткою, що забезпечує ефективний тепловий обмін.

Після завершення ремонту трубчастої поверхні важливо піддати теплообмінний апарат випробуванням для перевірки його герметичності та ефективності. Це може включати в себе гідравлічне або пневматичне випробування для переконання відсутності витоків і забезпечення правильної роботи.

Своєчасне виявлення недоліків та їх усунення є важливою складовою для забезпечення надійної та безпечної роботи установки в промисловому виробництві. Виконання таких робіт вимагає дотримання правил техніки безпеки і врахування специфіки робочого середовища. Усі роботи повинні проводитися з урахуванням вимог щодо безпеки та запобігання пожежам. Вогневі роботи повинні бути заборонені, якщо необхідно виконувати роботи в районі, де є потенційна небезпека загоряння.

У ході поточного ремонту випарника зазвичай видаляють кришки, камери та трубопроводи. Внутрішні поверхні очищують від бруду та накипу. Для забезпечення надійного з'єднання виготовляють прокладки з отворами для болтів і проціс проживлення болтів. Після встановлення кришок і камер проводиться гідравлічне випробування разом з іншими необхідними роботами.

Під час середнього ремонту зазвичай проводяться ті самі роботи, що і при поточному, але додатково може бути здійснена заміна труб до 10% від загальної кількості. При капітальному ремонті також проводяться ті ж роботи, що і при поточному, але додатково може бути здійснена заміна труб до 25% від загальної кількості.

Під час ремонтних та монтажних робіт працівникам обов'язково потрібно використовувати засоби індивідуального захисту, такі як спецодяг, спецвзуття, рукавиці, монтажні шоломи, запобіжний пояс з рятувальною мотузкою, та інші відповідно до потреб та стандартів безпеки. При використанні лісів та драбин важливо перевіряти їх надійне устанавлення та строк випробування. Це гарантує безпеку під час робіт на висоті.

Перед початком робіт із підвищеною небезпекою необхідно оформити наряд-допуск, в якому визначаються обсяг робіт, заходи безпеки, засоби захисту, і вказується відповідальна особа за проведення робіт. Працівники також повинні пройти інструктаж перед початком робіт.

5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ

5.1 Вибір та обґрунтування параметрів контролю, регулювання та вимірювання [26]

У галузі автоматизації технологічних процесів харчової промисловості досягнуто значних успіхів, і накопичений досвід дозволяє розробляти системи автоматизації для різних типів підприємств, які будуються або модернізуються в галузі харчової промисловості. Зосереджений на дослідженні та розвитку, цей процес використовує безперервний теплообмін для досягнення високої якості та ефективності виробництва етилового спирту.

Завдяки автоматизації можливо забезпечити стабільний та високий рівень якості продукції, що відповідає вимогам і стандартам. Системи автоматизації дозволяють оптимізувати процеси та підвищити продуктивність виробництва, що веде до збільшення виробничої потужності.

Важливим аспектом автоматизації є можливість моніторингу та керування виробничими процесами в режимі реального часу, що дозволяє операторам приймати швидкі та точні рішення. Автоматизація допомагає оптимізувати використання енергії та сировини, що сприяє зменшенню витрат і підвищенню прибутковості.

Вплив людського фактора на процеси виробництва мінімізується, що допомагає уникнути помилок та забезпечити стабільність. За допомогою автоматизації легше дотримуватися вимог щодо безпеки та якості продукції. Оператори мають можливість в режимі реального часу спостерігати за процесами та при необхідності втручатися для коригування параметрів. Сучасні системи автоматизації побудовані з урахуванням модульності, що дозволяє легко розширювати та модернізувати систему в майбутньому.

Несправності в роботі теплообмінного обладнання можуть бути викликані різними факторами, такими як дефекти під час монтажу, структурні недоліки окремих компонентів устаткування або неправильно підібраний технологічний режим. Тому важливо вчасно виявляти та усувати дефекти та проблеми в обладнанні, а також забезпечувати правильну експлуатацію.

Сучасні можливості автоматизації, контролю та регулювання процесу теплообміну значно розширились. Використання мікропроцесорних контролерів як центральних управляючих пристроїв дозволяє більш детально враховувати різноманітні технологічні вимоги і забезпечувати надійну підтримку оптимального технологічного режиму.

Для забезпечення сталості окремих параметрів процесу використовуються локальні автоматизовані системи керування (АСК). Ці системи взаємодіють між собою через процес і гарантують дотримання теплового балансу. Наявність АСК для контролю витрати вихідної речовини значно спрощує роботу інших АСК на установці. Важливо, щоб вихідна речовина подавалася в теплообмінник при температурі 70°C , щоб забезпечити оптимальний робочий процес та високу якість продукції.

Головна мета автоматизації браго-ректифікаційного відділення полягає у максимізації економічної результативності та забезпеченні найефективнішого функціонування процесів. Ця мета досягається за допомогою оптимізації ключових технологічних процесів та гарантуванням стійкості та надійності виробничих операцій. Важливою передумовою для підвищення загальної економічної результативності технологічного процесу є збереження сталості технологічних параметрів. Підвищення стійкості матеріального потоку на всіх стадіях виробництва вважається основним завданням автоматизації відділення. Забезпечення стійкості матеріального потоку передбачає вчасне виправлення або компенсацію впливів, які можуть спричинити розбіжності та коливання у процесі матеріального потоку.

Браго-ректифікаційні установки БРУ (рис. 5.1) відзначаються високою складністю і великою кількістю взаємозв'язків між їх компонентами і процесами.

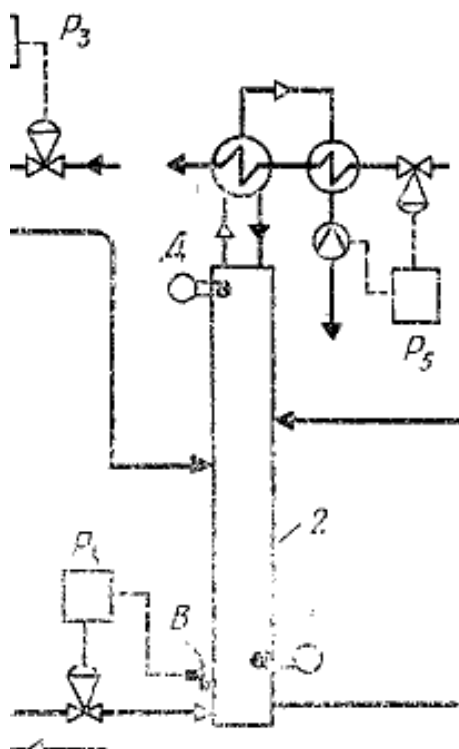


Рисунок 5.1 – Схема автоматичного регулювання БРУ

Один із основних принципів контролю – це постійний моніторинг різних параметрів в установці, таких як температура, тиск, рівень рідини тощо. Інструменти контролю, такі як датчики та вимірювальні пристрої, використовуються для збору даних і надання операторам і системам управління інформації про поточний стан установки.

Важливо мати засоби регулювання для корекції параметрів в реальному часі. Це включає в себе використання регуляторів, клапанів, насосів і інших пристроїв для зміни умов процесу та підтримання їх на оптимальному рівні. Регулювальні системи можуть бути зв'язані з контрольними датчиками для автоматичної реакції на зміни.

Автоматизація включає в себе використання спеціалізованих систем і програмного забезпечення для керування процесами установки. Мікропроцесори та програми для керування можуть забезпечити точне та надійне виконання операцій. Оператори можуть встановлювати параметри і контролювати процес з допомогою інтерфейсів.

БРУ мають багато взаємозв'язків між різними компонентами, і ці взаємозв'язки потребують ретельного керування та координації. Системи автоматизації можуть взаємодіяти з різними частинами установки, щоб забезпечити їх спільну роботу.

Наведена на рис. 5.1 система регулює різні параметри технологічного процесу. Ця система має 9 контурів, що дозволяють окремо керувати різними аспектами процесу. Роздільне регулювання важливе для досягнення оптимальних результатів і забезпечення стабільності процесу. Усі ці 9 контурів пов'язані за допомогою однієї каскадної схеми, що дозволяє координувати їхню роботу та забезпечувати взаємодію. Каскадне управління може бути корисним для досягнення скоординованого регулювання всіх контурів з метою оптимізації процесу.

Усі системи використовують пневматичні прилади. Ці прилади можуть бути безпечно використовані в умовах вибухонебезпечних приміщень, що дуже важливо для забезпечення безпеки виробничого процесу.

Схема автоматизації використовує різноманітні прилади для контролю та регулювання процесу:

1. Регулятори Р4 і Р5 пропорційно-інтегрального типу ПРЗ-31, які входять до системи УСЕППА. Вони відповідають за регулювання різних параметрів у вашій системі, можливо, контролюючи рівень рідини, температуру або інші важливі параметри.

2. Дифманометр типу 13ДДП використовується для вимірювання тиску в системі. Він може служити для моніторингу тиску газу або рідини в процесі.

3. Датчик типу ТДЖП призначений для вимірювання температури. Це дозволяє контролювати і підтримувати необхідний рівень тепла у процесі.

4. Ротамер РП-1,6, ЖУЗ використовується для вимірювання витрати ректифікованого спирту в процесі. Це важливо для забезпечення правильної дозації речовини.

5. Клапани регулюючі з пневматичним приводом використовуються для керування потоками рідини чи газу в системі. Вони можуть відкривати або закривати шлях для регулювання процесу.

5.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації [27]

Вибір приладів автоматизації є важливим етапом в розробці будь-якої автоматизованої системи. Розглянемо деякі підходи та критерії, які можуть бути корисними при виборі приладів автоматизації:

1. Доступність та серійність. Важливо обирати прилади, які вже випускаються серійно та мають відому надійність. Це допоможе уникнути можливих проблем з обслуговуванням і підтримкою.
2. Виробник. Враховуйте виробника приладів. Вибір приладів, вироблених на Україні, може бути доцільним для сприяння внутрішнім виробникам і отримання підтримки на місці.
3. Діапазон вимірювань. Виберіть прилади, які покривають потрібний діапазон вимірювань для вашого процесу. Переконайтеся, що вони здатні точно вимірювати необхідні параметри.
4. Безпека. Як ви вже відзначили, вибір пневматичних приладів може бути обґрунтований пожежонебезпекою. Пневматичні прилади можуть бути менш вразливими до пожежі, оскільки не мають електричних деталей.
5. Доступність підтримки та обслуговування. Переконайтеся, що ви маєте доступ до підтримки та можливостей обслуговування для обраного обладнання.
6. Вартість. Розгляньте вартість приладів і включіть їх в бюджет проекту. При цьому не забувайте про вартість підтримки та обслуговування.

SIEMENS пропонує широкий вибір вимірювальних перетворювачів температури, які надійно функціонують навіть у найскладніших умовах. Датчики температури цієї фірми застосовуються у різних промислових галузях, таких як хімічна, фармацевтична, харчова, енергетична та інші. Вони гарантують точне вимірювання температури, навіть в екстремальних умовах.

Серія перетворювачів SITRANS T включає універсальні перетворювачі з вихідним сигналом 4–20 мА + HART, які можна програмувати за допомогою ПК.

Ці перетворювачі дозволяють зручно контролювати температуру в вашому процесі та передавати дані в автоматизовану систему керування.

Окрім того, доступні варіанти термометрів з цифровою індикацією показань, що полегшують спостереження за температурою. Якщо вам потрібно використовувати датчики температури в вибухонебезпечних середовищах, SIEMENS також пропонує вибухозахищені варіанти датчиків.

Сімейство витратомірів SITRANS F від SIEMENS є ідеальним рішенням для точного та безперервного вимірювання витрати різних середовищ. Вони використовують сучасні та надійні методи для вимірювання витрати рідини та суспензій. Серія SITRANS F серії M Magflo використовує магнітоіндукційний принцип для вимірювання витрати електропровідних рідин та суспензій. Ці витратоміри є надійними та дозволяють вимірювати витрату різних середовищ, забезпечуючи точність та стабільність результатів. За допомогою витратомірів SITRANS F можливо ефективно контролювати витрату рідин та суспензій і підтримувати оптимальний рівень виробництва.

Сімейство рівнемірів SIEMENS в рамках серії SITRANS L є ідеальним рішенням для контролю рівня рідких і сипких середовищ. Вони надають можливість вирішити широкий спектр завдань, пов'язаних з контролем рівня в різних умовах і середовищах. Сигналізатор граничного рівня Pointek CLS 200 є універсальним і відрізняється високою хімічною стійкістю. Він призначений для надійного визначення рівня рідини чи сипких матеріалів в ємностях та резервуарах. Цей сигналізатор допомагає попередити переливання або витік рідини, що може призвести до аварійних ситуацій.

Застосування рівнемірів SIEMENS забезпечує надійний та точний контроль рівня рідких і сипких середовищ, що сприяє безпеці та ефективності виробництва. Такі прилади дозволяють уникнути небажаних ситуацій та забезпечують безперебійну роботу системи.

Сімейство вимірювальних перетворювачів SITRANS P, представлене в серії ZD, гарантує надійне та точне вимірювання різних параметрів тиску та рівня рі-

дини в різних умовах та середовищах. Ці перетворювачі призначені для вимірювання наступних параметрів:

- надлишковий тиск;
- вакууметричний тиск;
- абсолютний тиск;
- диференціальний тиск.

Вони підходять для вимірювання тиску рідких, газоподібних та пароподібних середовищ. Крім того, ці перетворювачі можуть бути використані для вимірювання гідростатичного рівня рідини в ємностях.

Перетворювачі SITRANS P серії ZD мають цифровий індикатор, який дозволяє зручно відслідковувати вимірювані параметри тиску та рівня. Вони володіють високою точністю та надійністю, що робить їх ідеальними для застосування в різних промислових секторах та умовах.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи установки виробництва етилового спирту [28–30]

Основним завданням в галузі охорони праці є зниження ризику ураження або захворювання робітників до мінімуму, при цьому забезпечуючи оптимальний комфорт і максимальну продуктивність праці. Збільшення продуктивності праці тісно пов'язане із збереженням здоров'я та працездатності працівників, а також зі зменшенням аварій та інших негативних наслідків. Покращення умов праці та безпеки на робочому місці призводить до зниження рівня виробничого травматизму та професійних захворювань, що, у свою чергу, сприяє збереженню здоров'я та працездатності працівників.

Покращення умов праці та впровадження систем охорони праці не тільки забезпечують безпеку робітників, але й сприяють підвищенню ефективності виробництва, зниженню витрат на лікування і відшкодування травм, а також поліпшенню загального благополуччя суспільства.

У процесі виробництва спирту з виробничої установки проводиться відбір різних фракцій, таких як епурат, ефіроальдегідна фракція (головна домішка), сивушне масло та сивушний спирт (хвостові домішки). Цей процес може бути дуже складним і вимагає високого рівня безпеки та дотримання норм охорони праці.

Оскільки спирт є горючою та небезпечною речовиною, виробництво спирту вимагає дотримання високих стандартів техніки безпеки та охорони праці. Персонал, який працює у виробництві спирту, повинен бути добре навченим та дотримуватися всіх правил та процедур щодо безпеки. Використання відповідного захисного обладнання та контроль за усіма аспектами виробництва є надзвичайно важливими для запобігання нещасних випадків та аварій.

Спирт етиловий, який відповідає стандарту ГОСТ Р 51723-2001 «Спирт етиловий питний 95 %-ий. Технічні умови», є легкозаймистою рідиною з певними характеристиками та властивостями. При концентрації 96 % обсягу і атмосферному тиску температура спалаху становить 13°C, а кипіння починається при 78,3°C. Спирт має високу температуру самозаймання, яка становить 404°C.

Етиловий спирт – це прозора безбарвна рідина з пекучим смаком і характерним запахом. Спирт є гігроскопічним, що означає, що він поглинає вологу з повітря та інших джерел, внаслідок чого руйнує рослинні та тваринні тканини. Добре змішується з водою в будь-яких співвідношеннях, а також з іншими органічними розчинниками, такими як ефір, гліцерин, бензин і багатьма іншими.

Спирт етиловий є отруйним для людини. Великі дози спирту можуть викликати спочатку збудження, а потім параліч нервової системи. Пари спирту також можуть викликати захворювання центральної нервової системи, травного апарату, печінки та серцево-судинної системи. Пари спирту можуть утворити вибухонебезпечне середовище при концентрації спирту від 2,8 % об. до 14 % об., що може призвести до вибухів у присутності джерел вогню, іскор і т. д.

Головна фракція етилового спирту відповідно до ОСТ 18-121-73 представляє собою спиртово-водневу рідину, яка містить певну кількість легколетких домішок. Серед таких домішок можуть бути:

- альдегіди – це органічні сполуки, які містять карбонільну групу, і вони можуть надавати спирту певний аромат і смак;
- ефіри є органічними сполуками, які містять кисень у внутрішній структурі. Вони можуть впливати на аромат і смак спирту;
- кислоти можуть додавати кислинку до смаку спирту та впливати на його характеристики;
- метанол є іншим видом алкоголю, і його присутність в етанолі може бути небажаною, оскільки метанол є отруйною речовиною для людини.

Ці домішки можуть змінювати властивості та якість етилового спирту, і тому важливо забезпечити контроль якості та чистоту продукту при його виробництві та використанні.

Сивушне масло є однією з побічних продуктів у процесі ректифікації і представляє собою складну суміш різних компонентів. Воно формується як результат змішування вищих спиртів, етилового спирту та води під час технологічного процесу. Зазвичай, сивушне масло утворюється у відносно невеликих кількостях, займаючи близько 3-4 % обсягу загального об'єму спирту, що виробляється.

Склад сивушного масла є досить різноманітним і може включати різні компоненти, кожен з яких вносить свій внесок у характеристики цього побічного продукту. Зокрема, сивушне масло може містити етиловий спирт у відсотковому співвідношенні від 5 % до 12 %. Вміст етилового спирту може варіюватися і впливати на властивості масла. Також є домішки н-пропанолу у відсотковому співвідношенні від 7 % до 15 %. Ця речовина вносить власну специфіку в склад масла. Ізо-бутанол у відсотковому співвідношенні від 10 % до 20 %. Вміст ізо-бутанолу може варіюватися і впливати на характеристики сивушного масла. Ізо-аміл у відсотковому співвідношенні від 50 % до 60 %. Ця складова визначає основну частину масла і її концентрація може значно коливатися. Вода у відсотковому співвідношенні від 5 % до 10 %. Наявність води в маслі може визначати його властивості та застосування.

Ця складна суміш речовин у сивушному маслі може впливати на його використання та подальше перероблення в інших процесах, і тому важливо мати інформацію про її склад та властивості.

Підвищення температури поверхні обладнання, зокрема випарників, штуцерів і труб, створює серйозну фізичну небезпеку для працівників у виробничому процесі. Ця небезпека відноситься до групи факторів, пов'язаних із тепловою енергією, і може призвести до отримання термічних опіків. В процесі теплообміну, що відбувається при підвищених температурах, поверхні обладнання можуть нагрітися до значення, яке суттєво перевищує нормативні показники.

Температура зовнішніх поверхонь обладнання не повинна перевищувати 45°C. Однак у випадку підвищеної температури на поверхнях обладнання, що перевищує вказаний норматив, існує ризик для працівників отримати термічні опіки при контакті з нагрітими поверхнями.

Заходи безпеки та превентивні заходи повинні бути вжиті для зниження цієї небезпеки, включаючи ізоляцію гарячих поверхонь, встановлення захисних бар'єрів, навчання працівників правилам безпеки, та ретельний контроль за температурою поверхонь обладнання. Це важливо для забезпечення безпеки та запобігання потенційним травмам та опікам у виробничому середовищі.

Підвищена небезпека виникнення отруєння паром етилового спирту виникає при нормальній роботі обладнання, коли загальна кількість спиртових парів, що потрапляють в повітря, складає 1,24 кг/год. Підвищена концентрація цих парів у робочому приміщенні може викликати серйозні наслідки для працівників, включаючи такі симптоми, як кашель, задуха, запаморочення, а в окремих випадках навіть втрату свідомості, припинення дихання та серцевої діяльності.

Гранично допустима концентрація парів етилового спирту в повітрі становить 1000 мг/м^3 . У цьому контексті важливо забезпечувати відповідну вентиляцію і контроль за концентрацією спиртових парів у робочому приміщенні, щоб уникнути перевищення цього ліміту та застерегти працівників від можливого отруєння. Важливо зауважити, що при використанні процесу під вакуумом небезпека отруєння паром етилового спирту зменшується, оскільки такі умови дозволяють утримувати концентрацію спиртових парів на безпечному рівні.

Робочим середовищем у нашому випадку є пара етилового спирту, і важливо враховувати, що ця суміш парів етилового спирту з повітрям є вибухонебезпечною. Відповідно до "Правил виготовлення вибухозахищеного та рудникового обладнання" та класифікації ПУЕ (Правила улаштування електроустановок), ця суміш відноситься до другої категорії вибухонебезпечності в групі T2.

Температура спалаху парів етилового спирту складає 13°C , що свідчить про високу легкозаймистість цієї суміші. Також важливо враховувати, що температура самозаймання парів етилового спирту становить 404°C , що означає, що при високих температурах вони можуть самозайматися.

Нижня межа вибуховості в суміші парів етилового спирту з повітрям становить 3,6% об., а верхня межа вибуховості становить 19% об. Це означає, що вибух стане можливим у межах цих концентрацій парів, що може бути надзвичайно не-

безпечним. Із урахуванням цих факторів необхідно дотримуватися відповідних заходів безпеки та контролювати умови виробництва, щоб уникнути вибухів і небезпечних ситуацій.

Небезпека утворення статичної електрики завжди присутня в процесі роботи з рідинами та газами, зокрема в установках з етиловим спиртом. У цьому випадку, можливість утворення статичної електрики існує при відносному переміщенні двох тіл, які перебувають у контакті, таких як тіла, шари рідини, або при руху потоку рідини, струменя пари чи газу.

Етиловий спирт, зокрема, є однією з рідин, які мають найвищий потенціал для накопичення статичної електрики через свої діелектричні властивості. Переміщення етилового спирту в трубопроводах, операції з наливання та виливання можуть призводити до утворення статичної електрики. Ця статична електрика може бути надзвичайно небезпечною, оскільки її розряд може спричинити пожежу або вибух.

Нагромадження статичної електрики існує під час процесу обробки та переміщення рідин і газів, і небезпеку варто усувати за допомогою відповідних заходів безпеки та антистатичних засобів, щоб запобігти виникненню пожеж та вибухів і захистити життя та здоров'я працівників.

У виробництві з етиловим спиртом передбачено наступні заходи для запобігання потенційним небезпекам та шкідливим впливам:

- для усунення небезпеки отримання термічних опіків слід застосовувати теплоізоляції для зниження температури стінок до безпечних 45°C.
- для усунення отруєння парами спирту слід використовувати паронітові прокладки в місцях з'єднання царг і трубопроводів, та проводити перевірку якості повітря в робочій зоні та автоматичне включення припливно-витяжної вентиляції при підвищенні вмісту спирту в повітрі.
- для усунення небезпеки вибуху і пожежі треба передбачити забезпечення надійною загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією з використанням іскрозахищених радіальних вентиляторів.

- для усунення небезпеки утворення статичної електрики – заземлення і об'єднання заземлювальних пристроїв для захисту від статичної електрики з заземлюючими пристроями для електрообладнання.

Відповідно до класифікації легкозаймистих рідин, спирт і його домішки відносяться до I класу. Це свідчить про їх високу легкозаймистість та вищу небезпеку з точки зору пожежної та вибухонебезпечності. Тому виробництво та обробка таких речовин повинні супроводжуватися дотриманням відповідних заходів безпеки та обладнанням для запобігання можливим небезпекам.

Будівництво та обладнання приміщень ректифікаційних відділень слід вести із суворим дотриманням норм і правил пожежної безпеки для будівель, що належать до категорії А. Оскільки епіюраційні відділення відносяться до класу В-1А за вибухонебезпечністю, це призводить до підвищених вимог та стандартів безпеки.

Важливо застосовувати наступні заходи та стандарти пожежної безпеки:

1. Вибудовувати приміщення ректифікаційних відділень відповідно до вимог категорії А, що включають в себе застосування вогнезахисних та вибухозахисних матеріалів.
2. Забезпечити належну систему вентиляції та витяжки, щоб в разі витoku легкозаймистих речовин можливе негайне видалення їх із приміщення.
3. Використовувати вибухозахищене обладнання та матеріали відповідно до класифікації вибухонебезпечності.
4. Встановити системи автоматичного пожежогасіння та сигналізації в разі виявлення небезпеки.
5. Провести блискавкозахист будівель згідно із стандартами і вимогами для запобігання небезпеці статичної електрики та уникнення пожеж.

Запровадження цих заходів та дотримання вищезгаданих норм та правил пожежної безпеки допомагають зменшити ризик пожежі та вибуху під час виробничого процесу.

6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактору [31]

У приміщенні цеху, де зберігається етиловий спирт, встановлено механічну припливно-витяжну систему вентиляції, призначену для забезпечення безпечних та комфортних умов в робочій зоні. Спеціально прокладений повітропровід, який пов'язаний з механічним вентилятором, відповідає за нагнітання свіжого повітря з атмосфери та його подачу до робочої зони.

В системі припливної вентиляції передбачений спеціальний повітрозабірний пристрій, який використовується для надсмоктування свіжого повітря з на-вколишнього середовища. Це свіже повітря подається в систему для подальшого очищення та подачі в робочу зону.

Повітропровід системи припливної вентиляції обладнаний перфорованими отворами для рівномірного розподілу свіжого повітря в приміщенні. Це допомагає забезпечити ефективне вентилявання та запобігти зонам накопичення відповідних газів. Для видалення забрудненого повітря і газів із приміщення встановлено витяжну систему вентиляції. Ця система працює завдяки потужному вентилятору, який створює надлишковий тиск для виведення забрудненого повітря назовні через віконні прорізи або витяжні канали.

Забруднене повітря, яке виводиться з приміщення, попередньо очищається в спеціальному циклоні. Цей процес допомагає вилучити шкідливі частки та гази перед викиданням в атмосферу.

Розрахунок механічної вентиляції включає в себе визначення оптимального обсягу повітря, який необхідно подавати або видаляти з приміщення, з метою забезпечення безпечних та комфортних умов для працюючих, а також для усунення шкідливих речовин, що можуть накопичуватися в приміщенні через нещільності в обладнанні. Розрахунок механічної вентиляції є важливим кроком у забезпеченні безпеки та здоров'я працюючих в приміщеннях, де можуть бути викиди шкідливих речовин. Правильно спроектована та належно налаштована система вентиляції допомагає уникнути небезпек та забезпечити комфортні умови праці.

Спочатку необхідно визначити виділення шкідливих речовин, таких як пари етилового спирту, які можуть потрапляти в приміщення через нещільності обладнання або інші джерела. Далі слід встановити допустимий рівень концентрації шкідливих речовин в повітрі, який визначається відповідними нормативами та стандартами безпеки праці.

На основі вищезазначених параметрів визначається обсяг повітря, який необхідно подавати в приміщення для розведення шкідливих речовин до безпечного рівня. Цей обсяг повітря розраховується в одиницях об'єму на час, наприклад, метрів кубічних на годину ($\text{м}^3/\text{год.}$).

Розрахунок також включає врахування характеристик вентиляційного обладнання, таких як потужність вентилятора, довжина трубопроводів, втрати тиску, а також розподіл вентиляційних отворів для подачі та видалення повітря. Після розрахунку необхідного обсягу повітря можуть бути здійснені корекції та оптимізація системи вентиляції для забезпечення максимально ефективного видалення шкідливих речовин.

$$L = \frac{G}{C_{ГДК} - C_{ПР}}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (6.1)$$

де G – маса шкідливих речовин, що виділяються в приміщенні в одиницю часу, $\text{г}/\text{год.}$;

$C_{ГДК}$ – гранична допустима концентрація шкідливої речовини, $\text{мг}/\text{м}^3$;

$C_{ПР}$ – концентрація тієї ж шкідливої речовини у припливному повітрі, $\text{мг}/\text{м}^3$.

У процесі виробництва етилового спирту через нещільності фланцевих з'єднань апарату і трубопроводів виділяється така кількість шкідливих речовин: $G_1=433,3$ $\text{г}/\text{год.}$ – викид етилового спирту; $G_2=11,2$ $\text{г}/\text{год.}$ – викид метилового спирту; $G_3=7,7$ $\text{г}/\text{год.}$ – викид альдегідів; $G_4=12,65$ $\text{мг}/\text{год.}$ – викид етилового ефіру; $G_5=17,59$ $\text{г}/\text{год.}$ – викид ізо-бутилового спирту; $G_6=52,7$ $\text{г}/\text{год.}$ – викид ізо-амілового спирту.

Концентрація шкідливої речовини в припливному повітрі не повинна перевищувати 30 % від гранично допустимої: $C_{ПР1}=C_{ГДК1}\cdot 0,3=1000\cdot 0,3=300$ мг/м³; $C_{ПР2}=C_{ГДК2}\cdot 0,3=5\cdot 0,3=1,5$ мг/м³; $C_{ПР3}=C_{ГДК3}\cdot 0,3=5\cdot 0,3=1,5$ мг/м³; $C_{ПР4}=C_{ГДК4}\cdot 0,3=0,15\cdot 0,3=0,045$ мг/м³; $C_{ПР5}=C_{ГДК5}\cdot 0,3=10\cdot 0,3=3$ мг/м³; $C_{ПР6}=C_{ГДК6}\cdot 0,3=10\cdot 0,3=3$ мг/м³.

Тоді:

$$L_1 = \frac{433,3 \cdot 10^3}{1000 - 300} = 619 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_2 = \frac{11,0 \cdot 10^3}{5 - 1,5} = 3142,8 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_3 = \frac{7,7 \cdot 10^3}{5 - 1,5} = 2200 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_4 = \frac{12,65}{0,15 - 0,045} = 120,48 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_5 = \frac{17,59 \cdot 10^3}{10 - 3} = 2512,8 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_6 = \frac{52,7 \cdot 10^3}{10 - 3} = 7528,8 \text{ м}^3/\text{ГОД.}$$

Визначаємо кратність вентиляції. Кратність вентиляції показує скільки разів протягом одиниці часу (1 години) відбувається повна зміна повітря в приміщенні:

$$K = \frac{L_{MAX}}{V_{П}}, \text{ од./ГОД.}, \quad (6.2)$$

де L_{MAX} – максимальне значення обсягу повітря, отримане за однією із попередніх формул, м³/год.;

V_{II} – об'єм приміщення, м³:

$$V_{II} = a \cdot b \cdot c = 12 \cdot 12 \cdot 22,8 = 3283,2 \text{ м}^3;$$

Звідси:

$$K = \frac{7528,6}{3283,2} = 2,29 \text{ од./год.}$$

Коефіцієнт кратності зазвичай знаходиться в межах від 1 до 10 од/год.

Визначивши коефіцієнт кратності, розраховуємо необхідний приведений тиск вентилятора і напір, який він повинен розвивати:

$$H = P_C \frac{273 + T_{BH}}{273 + T_{HAP}}, \text{ Па} \quad (6.3)$$

де P_C – сумарний опір мережі, Па;

T_{BH} , T_{HAP} – температура, відповідно, повітря, що видаляється і повітря, що поступає, °С; $T_{BH} = 30^\circ\text{С}$; $T_{HAP} = 20^\circ\text{С}$.

Опір вентиляційної мережі розраховується за формулою:

$$P_C = \frac{V^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{\varphi \cdot l}{d} + \sum_{i=1}^n \beta \right), \text{ Па} \quad (6.4)$$

де V – швидкість повітря в повітропроводі, $V = 5 \div 10$ м/с;

γ – густина повітря, $\gamma = 1,293$ кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²;

φ – коефіцієнт втрат тиску на тертя, $\varphi = 0,2$;

l – довжина ділянки повітропроводу, для якого ведеться розрахунок, $l = 65,5$ м;

β – коефіцієнт місцевих втрат тиску на звуженнях, вигинах і т. д., $\beta=0,2$.

На даній ділянці повітропроводу 14 колін і 8 сидінь. Тоді:

$$P_c = \frac{7,5^2 \cdot 1,293}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 65,5}{0,6} + 14 \cdot 1,1 + 8 \cdot 0,2 \right) = 16927 \text{ Па};$$

$$H = 16927 \cdot \frac{273 + 30}{273 + 20} = 17505 \text{ Па}.$$

Далі визначаємо потужність приводного електродвигуна за формулою:

$$N = \frac{K \cdot L_{MAX} \cdot H}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_B \cdot \eta_{IP}}, \text{ кВт} \quad (6.5)$$

де η_B – ККД вентилятора, $\eta_B=0,5 \div 0,55$; приймаємо $\eta_B=0,52$;

η_{IP} – ККД приводу, $\eta_{IP}=0,9 \div 1$; приймаємо $\eta_{IP}=0,9$.

$$N = \frac{3,05 \cdot 7528,6 \cdot 17505}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,52 \cdot 0,9} = 226 \text{ кВт}.$$

За аеродинамічними характеристиками вибираємо відцентровий вентилятор В-Ц4-70.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Етанол [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Етанол>
2. Дистанційний курс «Процеси та апарати хімічних виробництв». Тема 19. Сучасні конструкції теплообмінного обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266093/index.html>
3. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студентської, заочної та дистанційної форм навчання / В. І. Склабінський, Я. Е. Михайловський, Р. О. Острога, М. С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
4. Шаманська О. І. Сучасні тенденції розвитку спиртової промисловості України / О. І. Шаманська, Я. В. Паламаренко // Електронний журнал «Ефективна економіка». – 2014. – № 4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2903>
5. Укрспирт. Головний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukrspirt.com>
6. Ukrainian A. R. Alcohol industry towards innovative development / A. R. Ukrainian // Food and processing industry. – 2013. – Vol. 7. – P. 35–47.
7. Analysis of the effective work of the alcohol industry. The official site of objective news [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.news.meta.ua>
8. Nagorny E. I. Innovative directions of sugar and alcohol business food industry / E. I. Nagorny // Problems of science. – 2011. – Vol. 1. – P. 37–40.
9. Врагов А. П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник / А. П. Врагов. – Суми : Вид-во СумДУ, 2006. – 262 с.
10. Іванченко В. В. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів / В. В. Іванченко, О. І. Барвін, Ю. М. Штонда. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – 208 с.

11. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1973. – 754 с.
12. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Ленинград : Химия, 1987. – 576 с.
13. Кутателадзе С. С. Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский. – Москва : Госэнергоиздат, 1958. – 417 с.
14. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. – Москва : Химия, 1995. – 400 с.
15. Kosaric N. et al. Ethanol // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 6th. – Weinheim : Wiley-VCH, 2005.
16. 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.
17. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
18. Лещинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лещинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
19. Лещинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лещинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
20. 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.
21. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев,

Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

22. Основы проектирования пищевых производств : учеб. пособие / С. И. Дворецкий, Е. В. Хабарова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 92 с.

23. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укладачі: О. О. Ляпощенко, В. М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.

24. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1980. – 312 с.

25. Ермаков В. И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В. И. Ермаков, В. С. Шейн. – Ленинград : Химия, 1981. – 368 с.

26. Дудников Е. Г. Автоматическое управление в химической промышленности / Е. Г. Дудников, А. В. Казаков, Ю. Н. Софиева, А. Э. Софиев, А. М. Цирилин. – Москва : Химия, 1987. – 368 с.

27. Разработка и внедрение АСУ ТП Siemens [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.silogic.com.ua/pages/products/as/simatic-plc>

28. ГОСТ 12.0.003-91 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

29. СН 245-79 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».

30. ГОСТ Р 51723-2001 «Спирт этиловый пищевой 95%-ный. Технические условия».

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