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

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

_____
підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

**зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг
обладнання хімічних виробництв"**

Тема роботи: Установка розділення суміші бензол – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконав:
студент групи ХМз-63-8с

Грунчев Максим Володимирович

_____
підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Керівник:
канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

_____
підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії _____

СУМИ 2020

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 2 Група ХМз-63-8с Семестр 4

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Грунчев Максим Володимирович

1 Тема проекту: Установка розділення суміші бензол – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

2 Вихідні дані: Розробити тарілчасту ректифікаційну колону для розділення суміші бензол – оцтова кислота продуктивністю 4500 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 25; у дистиляті – 94; у кубовому залишку – 2,5. Тиск у колоні – атмосферний. Тип тарілок – ситчасті.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

1. Технологічна схема установки – 0,5 арк.
2. Складальне креслення апарата – 1,0 арк.
3. Складальні креслення вузлів – 2,0 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологи / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання жовтень 2019 р.

Керівник _____ доцент Юхименко М.П.
підпис

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 55 с., 7 рис., 2 додатки, 21 джерело.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальні креслення вузлів – усього 3,5 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Установка розділення суміші бензол – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону».

Наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення бінарних сумішей на окремі складові, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата, його гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата. У розділі «Охорона праці» розглянуто причини забруднення і характер впливу повітря робочої зони на працівників

Ключові слова: УСТАНОВКА, РЕКТИФІКАЦІЯ, БЕНЗОЛ, ОЦТОВА КИСЛОТА, КОЛОНА, СИТЧАСТА ТАРІЛКА, МІЦНІСТЬ, ЗАБРУДНЕННЯ.

Зміст

	С.
Вступ	*5*
1 Технологічна частина	*7*
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	*7*
1.2 Теоретичні основи процесу	*8*
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	*13*
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	*17*
2.1 Технологічні розрахунки	*17*
2.2 Конструктивні розрахунки	*22*
2.3 Гідравлічний опір апарата	*27*
2.4 Вибір допоміжного обладнання	*31*
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	*36*
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	*36*
3.2 Розрахунок опори апарата	*39*
3.4 Розрахунок на вітрове навантаження	*40*
4 Монтаж та ремонт апарата	*42*
4.1 Монтаж апарата	*42*
4.2 Ремонт апарата	*45*
5 Охорона праці	*48*
Список літератури	*54*
Додаток А – Побудова рівноважної і робочих ліній на діаграмі х – у	
Додаток Б – Специфікації	

Вступ

У різних галузях хімічної технології існують процеси, де необхідне виділення компонентів у чистому вигляді із суміші рідин (органічний синтез, нафтопереробка, коксохімічна, харчова та спиртова промисловість, виробництво полімерів, розділення технологічних газів при їх глибокому охолодженні). Найбільш поширенні способи розділення рідин – це проста перегонка, ректифікація та екстракція [1].

Для вибору способу розділення суміші бензолу та оцтової кислоти необхідно знати початковий склад, концентрацію дистиляту, кубового залишку та фізико-хімічні властивості компонентів.

Бензол – перший представник гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів, молекулярна формула C_6H_6. Безбарвна летка рідина з характерним запахом. Вперше отриманий Майклом Фарадеєм з конденсату піролізу китового жиру в 1825 році. Це безбарвна рідина зі своєрідним запахом. Густина – 0,88 г/см³. За температури 80,1°С кипить, а за 5,5°С замерзає в білу кристалічну масу. Завдяки своїй симетричності бензол є неполярною речовиною, тому не розчиняється у воді, проте утворює з нею азеотропну суміш (91,17 мас. %) з температурою кипіння 69,25°С. З більшістю неполярних розчинників змішується в будь-яких відношеннях, сам є добрим розчинником для багатьох органічних речовин [2].

Оцтова кислота – органічна сполука, одноосновна карбонова кислота складу CH_3COOH. За звичайних умов є безбарвною рідиною із різким запахом. При замерзанні, за температури 16,635°С, вона перетворюється на прозорі кристали. Оцтова кислота необмежено змішується з водою, утворює значну кількість азеотропних сумішей із органічними розчинниками. Синтез розчинів оцтової кислоти (оцту) проводиться здебільшого методом ферментації, а для отримання чистої кислоти, у значних масштабах застосовуються методи карбонілювання метанолу, окиснення бутану й етаналю. Основним методом є отримання з метанолу [3].

Кваліфікаційна робота бакалавра є важливою і заключною складовою навчального плану підготовки фахівця за освітньою програмою «Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» для одержання освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр».

У результаті комплексної роботи над проектом закріплюються практичні навички в розрахунках і проектуванні апаратів хімічної технології.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана у відповідності до методичних вказівок [4] із дотриманням усіх нормативних вимог і представленням регламентованих розділів.

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Схема безперервно діючої ректифікаційної установки представлена на рис. 1.

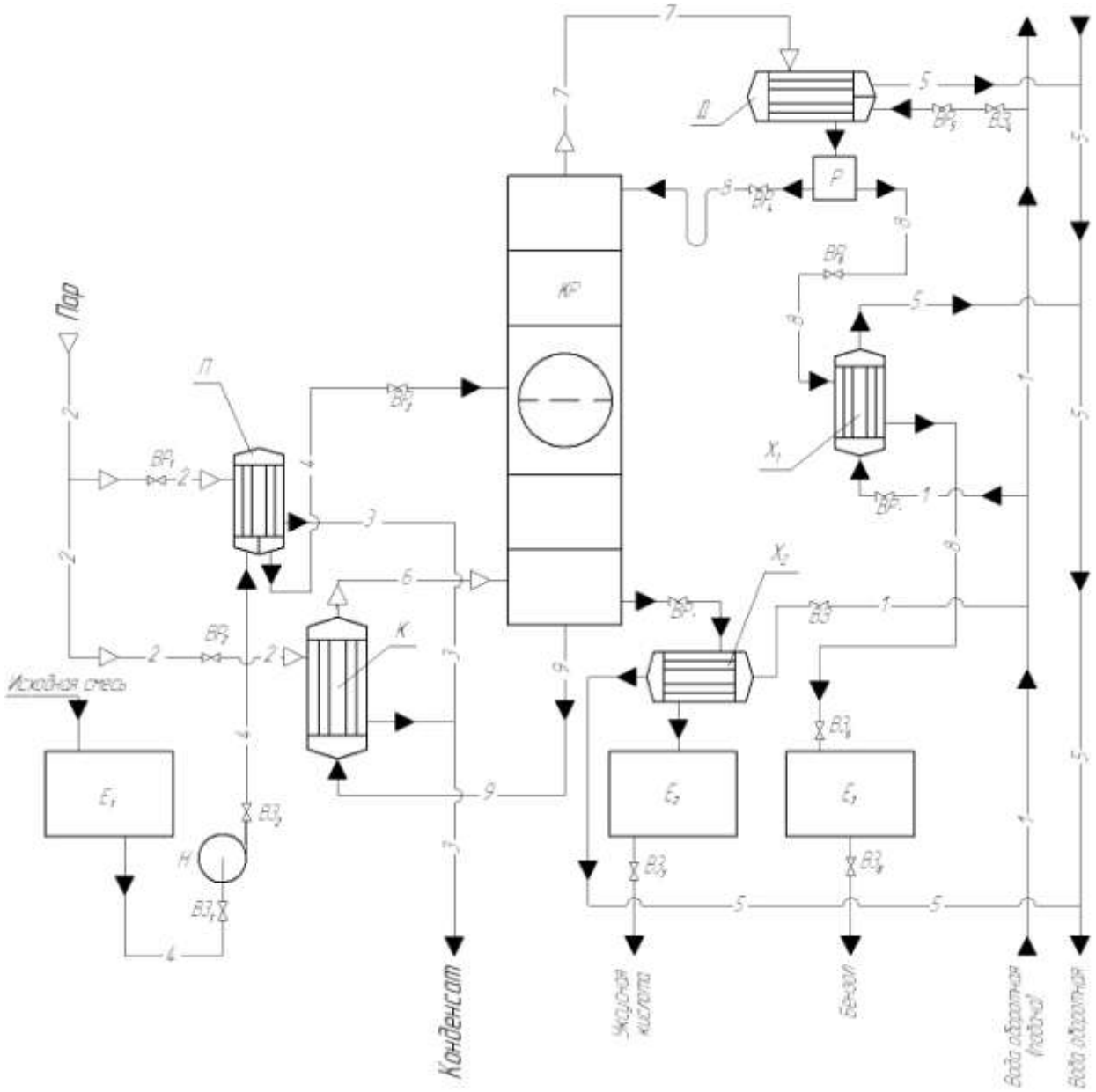


Рисунок 1 – Технологічна схема ректифікаційної установки для розділення суміші бензол – оцтова кислота

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Вихідна суміш з проміжної ємності Е1 відцентровим насосом Н подається в підігрівач П, де підігрівається до температури кипіння насиченою водяною парою. Нагріта суміш надходить на поділ в колону ректифікації КР на тарілку живлення.

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з піднімаючуюся вгору парою, що утворюється при кипінні кубової рідини у кип'ятильнику К. У результаті цього з рідини видаляється легколеткий компонент (ЛЛК). Пар, збагачений ЛЛК, піднімається вгору по колоні і надходить в дефлегматор Д. Із дефлегматора сконденсована пара надходить в розподільний стакан Р, де конденсат розділяється на два потоки: перший (флегма) повертається на зрошення колони, другий (дистилят) надходить в холодильник дистиляту Х1 і далі в проміжну ємність Е3. Із кубової частини колони безперервно відводиться кубовий залишок – продукт, збагачений ТЛК, який охолоджується в холодильнику Х2 і направляється в ємність Е2. Підігрівач вихідної суміші і кип'ятильник обігріваються насиченою водяною парою, а конденсат, що утворився, повертається на ТЕЦ.

1.2 Теоретичні основи процесу

Для отримання продуктів бажаного ступеня чистоти з високими виходами служить процес ректифікації. Теоретичні основи процесу ректифікації, які наведено у цьому підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [5–9].

Ректифікація – це протитечійна взаємодія двох нерівноважних фаз – рідини і пари, що утворюється з цієї рідини. У результаті таких багаторазово повторюваних процесів висхідна в колоні парова фаза поступово збагачується низкокиплячим компонентом (НКК), і з верхньої частини колони відводяться майже чисті пари НКК. З іншого боку, стікаюча по колоні зверху вниз рідка фаза, збагачується висококиплячим компонентом (ВКК), і знизу апарата виводиться практично чистий ВКК.

Здійснюючи багаторазово контактування відповідних нерівноважних потоків парової і рідкої фаз, можна змінити їх склади бажаного ступеня.

Процес ректифікації здійснюється в протитечійних апаратах – колонах: пари протікають від низу до верху, а назустріч парам зверху вниз стікає рідина, що подається в верхній елемент колони. Між рідкою і паровою фазами виникає масообмін, внаслідок якого пари в міру їх просування по колоні збагачуються легколетким компонентом, а рідина – менш летким компонентом. В кінцевому підсумку пара, що виходить з верхньої частини колони, являє собою більш-менш чистий легколеткий компонент, конденсація якого дає готовий продукт – дистилят, а з нижньої частини колони виходить порівняно чистий менш леткий компонент, так званий кубовий залишок, який, так само як і дистилят, може бути кінцевим продуктом процесу.

Рідину, що надходить на зрошення колони, називають флегмою; її отримують шляхом конденсації пари, що піднімаються з верхньої частини колони, в спеціальних конденсаторах-дефлегматором або ж в апаратах повітряного охолодження.

Для утворення парів в нижній частині колони використовують гріючі пристосування або ж теплообмінники-випарники, в які і підводять необхідну кількість тепла, у більшості випадків із гріючою водяною парою.

Для проведення заданого процесу використовуємо тарілчасту ректифікаційну колону. Тарілки ректифікаційних колон можна умовно розглядати як тепломасообмінні елементи, в яких одночасно протікають теплообмінні процеси (конденсація парів і випаровування рідини), а також відбуваються масообмінні процеси між взаємодіючими паровою і рідкою фазами.

При розрахунках ректифікаційних колон кількість і склад фаз зручно виражати в молярних величинах. Отже, можна вважати, що при конденсації з пари n кмолей труднолеткого компонента випаровується з рідини n кмолей легколеткого компонента, тобто кількість фаз по всій висоті колони буде

постійною. Приймемо наступні допущення, які мало спотворюють фактичні умови протікання процесу, але значно спрощують розрахунок:

1) склад пари, що виходить з колони до дефлегматора (y_D), і склад флегми, що повертається в колону (x_D), однакові, тобто $y_D = x_D$;

2) склад пари, що піднімається з кип'ятильника в колону (y_W), дорівнює складу рідини в кубі-випарнику (x_W), тобто $y_W = x_W$;

Складемо матеріальний баланс ректифікаційної колони:

– по потокам: $G_F = G_D + G_W$; *(1.1)*

– по легколеткому компоненту: $G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W$, *(1.2)*

де G_F, G_D, G_W *– масові або молярні витрати живлення, дистиляту і кубового залишку;*

x_F, x_D, x_W *– склад легколеткого компонента в живленні, дистиляті, кубовому залишку, відповідно.*

Тепловий баланс ректифікаційної колони.

Для колони безперервної дії з урахуванням втрат теплоти в навколишнє середовище маємо:

прихід тепла:

– з гріючою парою в кубі випарника $Q_к$;

– з вихідною сумішшю $Q_F = G_F I_F$; *(1.3)*

витрата тепла:

– з водою від сконденсованих у дефлегматорі парів $Q_д$;

– з дистилятом $Q_D = G_D I_D$; *(1.4)*

– з кубовим залишком $Q_W = G_W I_W$; *(1.5)*

– втрати в навколишнє середовище $Q_{пот}$,

де I_D, I_F, I_W *– ентальпія дистиляту, вихідної суміші, кубового залишку.*

Таким чином, рівняння теплового балансу:

$$Q_к+Q_F=Q_д+Q_D+Q_W+Q_{пот}\,. \qquad (1.6)$$

Підставляючи замість Q їх значення вирішимо рівняння теплового балансу щодо $Q_к$:

$$Q_к=G_D(R+1)\cdot r_D+G_D\,I_D+G_W\,I_W-G_F\,I_F+Q_{пот}\,. \qquad (1.7)$$

Тарілчасті колони. *Визначення висоти тарілчастої колони проводиться за рівнянням:*

$$H=H_T+h_1+h_2\,, \qquad (1.8)$$

де H_T = (n–1)·h— висота тарілчастої частини колони, м,

h_1 *– висота сепараційної частини колони, м;*

h_2 *– відстань від нижньої тарілки до днища, м;*

n – число тарілок;

h – відстань між тарілками, м.

Визначення числа тарілок.

При наближених розрахунках застосовують теоретично менш обґрунтований, але більш простий метод визначення числа тарілок за допомогою, так званого, середнього к. п. д. тарілок:

$$n=n_T/\eta \qquad (1.9)$$

де n_T – число теоретичних тарілок. Значення η визначають за дослідними даними і знаходяться в межах 0,3–0,8.

Процеси ректифікації здійснюються періодично або безперервно при різних тисках: під атмосферним тиском, під вакуумом, а також під тиском вище атмосферного. Тиск вище атмосферного застосовують у тих випадках, коли суміш, що розділяється при атмосферному тиску перебуває в газоподібному стані; ректифікацію при зниженому тиску (під вакуумом) проводять для поділу висококиплячих сумішей.

Чергуються багаторазово повторювані процеси випаровування рідини і конденсації пари на спеціальних контактних пристроях, розміщених у вертикальному колонному апараті. На ректифікаційних установках використовують, головним чином, апарати двох типів: насадкові і тарілчасті ректифікаційні колони.

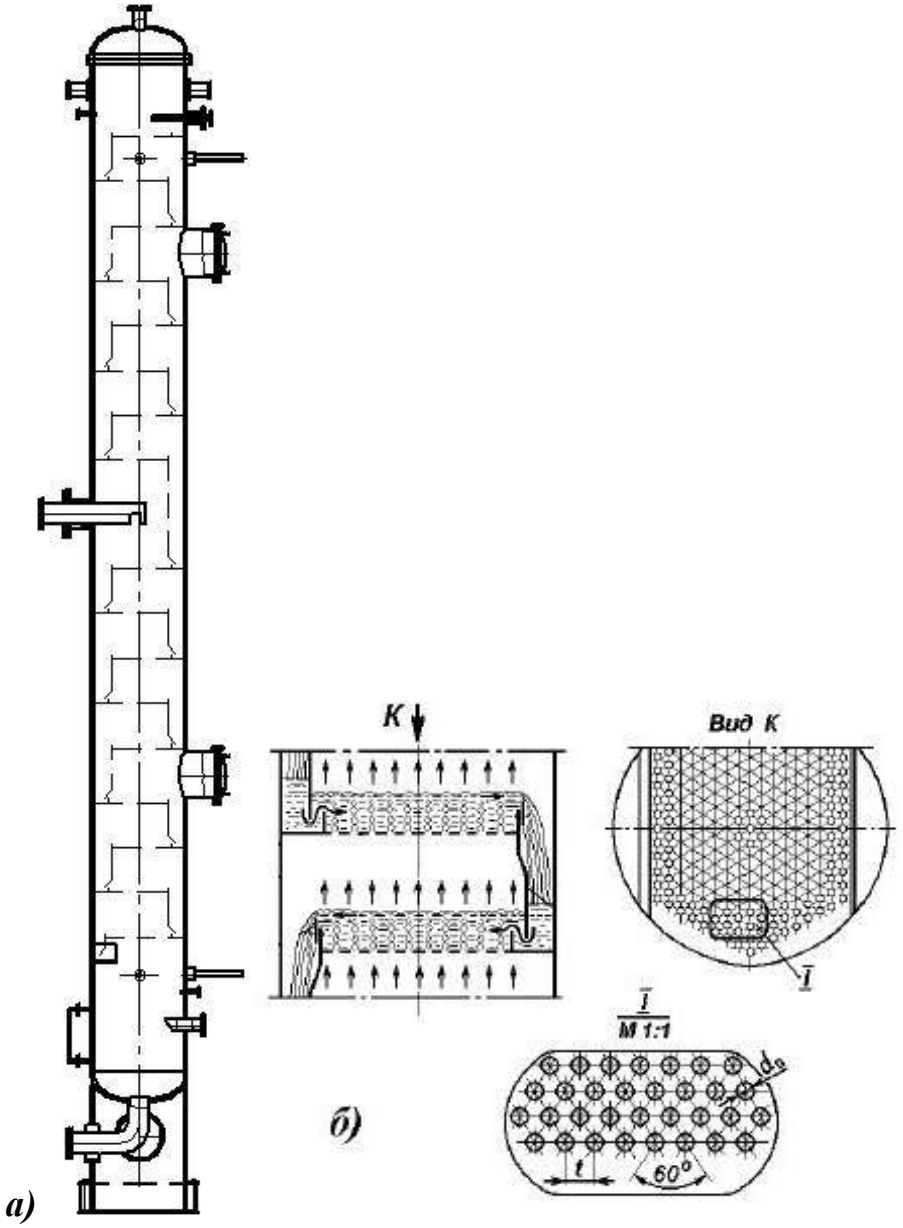
Тарілчасті колони застосовують для великих виробництв, широкого діапазону змін навантажень за парою і рідиною, і вони можуть забезпечити досить чіткий поділ сумішей. Недоліком таких апаратів є відносно високий гідравлічний опір. Але в умовах ректифікації це не має істотного значення: підвищення гідравлічного опору призводить лише до деякого збільшення тиску і, відповідно, до підвищення температури кипіння рідини в кип'ятильнику колони.

Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення температури процесу і кількості відведеного тепла, вибір швидкості пари, насадки (для насадкових колон) і типу тарілок (для тарілчастих колон), розмірів і гідравлічного опору апарата.

При проектуванні ректифікаційних установок, із яких пара відводиться в атмосферу, необхідно враховувати питання охорони навколишнього середовища – концентрація поглинаючого компонента в паровій фазі на виході з колони не повинна перевищувати гранично-допустимого значення. Якщо це не досягається в одному апараті, то необхідно встановлювати додаткове обладнання.

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Об'єктом дослідження є тарілчаста колона з ситчастими тарілками для розділення суміші бензол – оцтова кислота (рис. 2).



а) пристрій колони
б) принцип роботи і пристрій ситчастої тарілки

Рисунок 2 – Схема пристрою тарілчастої ректифікаційної колони з ситчастими тарілками

За конструкцією це апарат з вертикальним циліндричним корпусом, до якого приварено днище. Корпус і кришка роз'ємно з'єднані за допомогою фланцевого з'єднання. Усередині корпусу встановлені контактні пристрої у вигляді ситчастих тарілок. Саме за допомогою тарілок і створюється спрямований рух фаз і багаторазова взаємодія рідини і пари.

Ректифікаційна колона складається із двох частин: верхньої – зміцнюючої (концентраційної) і нижньої – вичерпної (відгінної).

Пара для нижньої частини колони утворюється у випарнику. Гаряча пара з випарника повертається в колону, під нижню її тарілку, у якості парового зрошення.

Для збереження високої чистоти розділюваних компонентів, необхідно здійснювати зрошення у верхній частині колони. Внизу колони температура практично дорівнює температурі кипіння висококиплячого компонента при відповідному тиску в колоні, на верхній тарілці колони температура практично дорівнює температурі кипіння низькокиплячого компонента.

На колоні передбачені штуцери для обв'язки апарата технологічними трубопроводами та підключення до технологічної лінії.

До корпусу колони знизу приварена опорна частина, яка лапами кріпиться до фундаменту.

Кожний отвір ситчастої тарілки подібно соплу вентурі, у центрі якого проходить пара, підхоплюючи і розпиляючи рідину, яка знаходиться на тарілці. Злив відбувається не тільки через зливні пристрої, але і через отвори, у які проходить пара.

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконаліть, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [10–12]. Тому до конструкційних матеріалів проектованої апаратури висувають наступні вимоги [10]:

1) висока корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при

робочих параметрах процесу;

2) висока механічна міцність при заданих робочих тисках, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічних випробуваннях та експлуатації апаратів;

3) гарна зварюваність матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;

4) низька вартість і доступність матеріалів.

Головною ж вимогою для матеріалів хімічних апаратів в більшості випадків є їх корозійна стійкість, так як вона визначає довговічність хімічного обладнання.

Із огляду на всі перераховані параметри для корпуса, днища, кришки і апаратного фланця вибираємо сталь 12Х18Н10Т, для тарілки 12Х18Н10Т, для опори – сталь Ст3пс, для кріпильних виробів – сталь 35 Х, матеріал прокладки – пароніт.

Сталь 12Х18Н10Т [12]. Сталь корозійно-стійка жароміцна.

Призначення – різні деталі зварних металоконструкцій, які працюють при температурі від -70 до + 425˚С під тиском.

Технологічні властивості сталі:

- *температура кування, ˚С: початку 1250, кінця 850;*
- *зварюваність – зварюється без обмежень, способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЕШС;*
- *різання – у нормалізованому, відпущеному стані σ_B = 520 МПа, $K_{v\ б.\ ст.}$ = 1,0; $K_{v\ тв.\ спл.}$ = 1,6;*
- *схильність до відпускної крихкості – не схильна;*
- *флокеночутливість – не чутлива.*

Призначення: зварна апаратура, яка працює в середовищах підвищеної агресивності.

Сталь Ст3пс [12]. Технологічні властивості сталі Ст3пс:

- *температура кування, ˚С: початку 1300, кінця 750, охолодження на повітрі;*
- *зварюваність – зварюється без обмежень; способи зварювання – РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЕШС і КТС, для товщини понад 36 мм рекомендується підігрів і подальша термообробка;*
- *різання – у гарячекатаному стані при НВ 124 і σ_B = 400 МПа $K_{v\ б.\ ст.}$ = 1,6; $K_{v\ тв.\ спл.}$ = 1,8;*
- *флокеночутливість – не чутлива;*
- *схильність до відпускної крихкості – не схильна.*

Призначення: елементи зварних і незварних конструкцій і деталей, які працюють при позитивних температурах.

Сталь 35 Х [12]. Конструкційна вуглецева сталь звичайної якості.

Технологічні властивості стали 35 Х:

- *температура кування, ˚С: початку 1250, кінця 800;*
- *зварюваність – добре зварюється усіма видами зварювання, не схильна до відпускної крихкості; способи зварювання – РДС, ЕШС; рекомендується підігрів і подальша термообробка;*
- *різання – у гарячекатаному стані при НВ 163 і σ_B = 610 МПа; $K_{v\ тв.\ ст.}$ = 0,95;*
- *флокеночутливість – малочутлива;*
- *схильність до відпускної крихкості – схильна.*

Призначення: несучі елементи зварних і незварних конструкцій, що працюють при позитивних температурах (осі, вали, шестерні та інші деталі).

Пароніт – листовий прокладковий матеріал, виготовлений пресуванням асбокаучуковой маси. Застосовується для ущільнення з'єднань. Для підвищення механічних властивостей пароніту, в деяких випадках, його армують металевою сіткою.

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Так як продуктивність колони по вихідній суміші задана в кг/год., необхідно перевести молярні частки легколеткого компонента в масові [5]:

$$\overline{x_f} = x_f \cdot \frac{M_{ллк}}{M_f}; \qquad (2.1)$$

$$\overline{x_D} = x_D \cdot \frac{M_{ллк}}{M_D}; \qquad (2.2)$$

$$\overline{x_W} = x_W \cdot \frac{M_{ллк}}{M_W}; \qquad (2.3)$$

$$M_f = M_{ллк} \cdot x_f + M_{тлк} \cdot (1 - x_f), \text{ кг/кмоль}, \qquad (2.4)$$

де $M_f = 78{,}11 \cdot 0{,}25 + 60{,}05 \cdot (1 - 0{,}25) = 64{,}57$ *кг/кмоль*

$M_D = M_{ллк} \cdot x_D + M_{тлк} \cdot (1 - x_D)$, *кг/кмоль*

$M_D = 78{,}11 \cdot 0{,}94 + 60{,}05 \cdot (1 - 0{,}94) = 77{,}03$ *кг/кмоль*

$M_W = M_{ллк} \cdot x_W + M_{тлк} \cdot (1 - x_W)$, *кг/кмоль*

$M_W = 78{,}11 \cdot 0{,}025 + 60{,}05 \cdot (1 - 0{,}025) = 60{,}5$ *кг/кмоль*

$M_{ллк}$=78,11 кг/кмоль, $M_{тлк}$= 60,5 кг/кмоль – молярні маси легколеткого і важколеткого компонентів [5].

$$\overline{x_f} = 0{,}25 \cdot \frac{78{,}11}{64{,}57} = 0{,}302$$

$$\overline{x_D} = 0{,}94 \cdot \frac{78{,}11}{77{,}03} = 0{,}953$$

$$\overline{x_W} = 0{,}025 \cdot \frac{78{,}11}{60{,}5} = 0{,}032$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [7]:

$$G_f = G_D + G_W; \qquad (2.5)$$

по легколеткому компоненту:

$$G_f \cdot \overline{x_f} = G_D \cdot \overline{x_D} + G_W \cdot \overline{x_W}\ ; \qquad (2.6)$$

Спільне вирішення рівнянь (2.5) і (2.6) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистиляту і кубового залишку:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\overline{x_f} - \overline{x_W}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}\ ; \qquad (2.7)$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\overline{x_D} - \overline{x_f}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}\ ; \qquad (2.8)$$

$$G_D = 4500 \cdot \frac{0{,}302 - 0{,}032}{0{,}953 - 0{,}032} = 1319{,}2 \ \textit{кг/год.}$$

$$G_W = 4500 \cdot \frac{0{,}953 - 0{,}302}{0{,}953 - 0{,}032} = 3180{,}8 \ \textit{кг/год.}$$

Криву рівноваги (рис. 3) будуємо в координатах у-х за довідковими даними про рівноважних складах рідини і пара в залежності від температури.

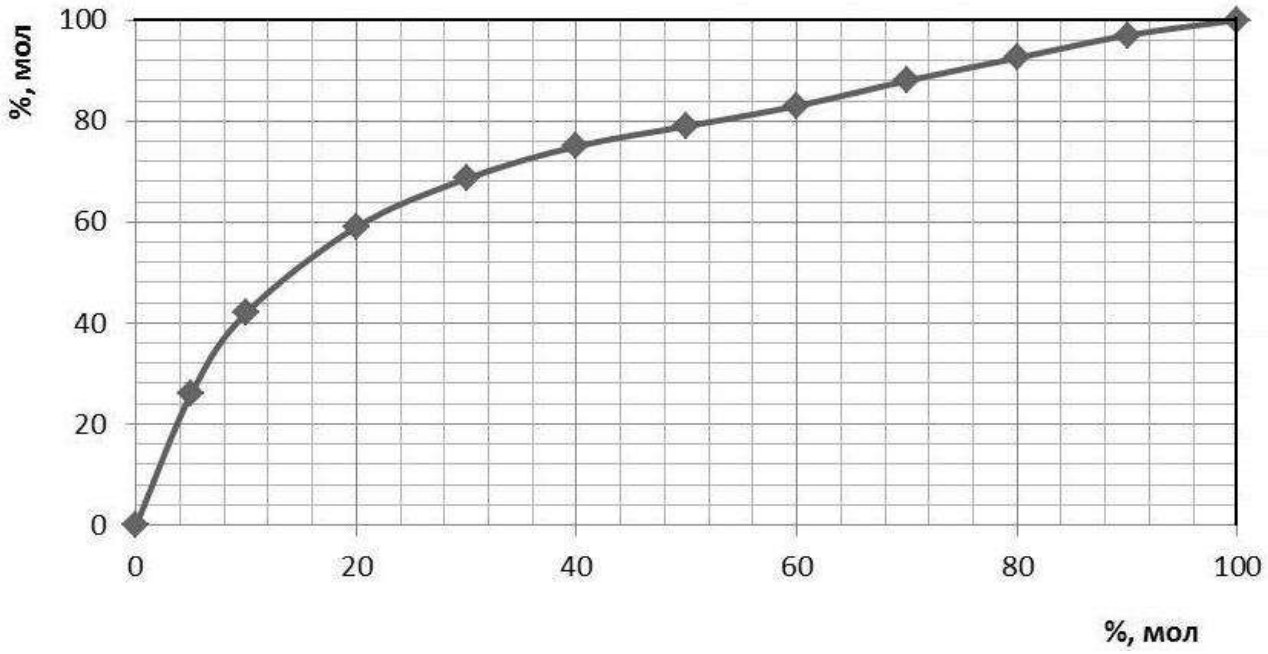


Рисунок 3 – Діаграма у-х суміші бензол – оцтова кислота

Визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням [2]:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}\ ; \qquad (2.9)$$

де y_f^* – склад пари, що перебуває в рівновазі з вихідної сумішшю;

y_f^*=0,65 – визначається за кривою рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,94 - 0,65}{0,65 - 0,25} = 0,73.$$

Визначаємо оптимальне флегмове число R, β = 1,84 [6]:

$$R = \beta \cdot R_{\min} = 1,84 \cdot 0,73 = 1,34. \qquad (2.10)$$

Значення оптимального флегмового числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати стікаючої по колоні флегми і піднімаючихся парів [7]:

$$G_R = R \cdot G_D; \qquad (2.11)$$

$$G_V = (R+1) \cdot G_D; \qquad (2.12)$$

$$G_R = 1,34 \cdot 1319,2 = 1767,7 \text{ кг/год.}$$

$$G_V = (1,34+1) \cdot 1319,2 = 3086,9 \text{ кг/год.}$$

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями [6]:

– для верхньої частини колони:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \qquad (2.13)$$

– для нижньої частини колони:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \qquad (2.14)$$

де F – число живлення, яке визначається за формулою:

$$F = \frac{G_f}{G_d} \cdot \frac{M_d}{M_f}; \qquad (2.15)$$

$$F = \frac{4500}{1319,2} \cdot \frac{77,03}{64,57} = 4,07.$$

Ордината точки А (додаток А), в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.13) і (2.14) підстановкою в них замість x значення x_f:

$$y_f^{'} = \frac{1,34}{1,34+1} \cdot 0,25 + \frac{0,94}{1,34+1} = 0,545$$

$$y_f^{//} = \frac{4,07+1,34}{1,34+1} \cdot 0,25 - \frac{4,07-1}{1,34+1} \cdot 0,025 = 0,545$$

Рівність значень $y_f^{/} = y_f^{//}$ засвідчує про відсутність помилок у виконаних розрахунках.

Середні молярні концентрації рідини визначаються за середньоарифметичними залежностями [6]:

– у верхній частині колони:

$$x_{cp}^{/} = \frac{\left(x_f + x_D\right)}{2}; \qquad (2.16)$$

– у нижній частині колони:

$$x_{cp}^{//} = \frac{\left(x_f + x_W\right)}{2}; \qquad (2.17)$$

$$x_{cp}^{/} = \frac{\left(0,25+0,94\right)}{2} = 0,595$$

$$x_{cp}^{//} = \frac{\left(0,25+0,025\right)}{2} = 0,138$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній [6]:

– у верхній частині колони:

$$y_{cp}^{/} = \frac{R}{R+1} \cdot x_{cp}^{/} + \frac{x_D}{R+1}; \qquad (2.18)$$

– у нижній частині колони:

$$y_{cp}^{//} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x_{cp}^{//} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \qquad (2.19)$$

$$y_{cp}^{/} = \frac{1,34}{1,34+1} \cdot 0,595 + \frac{0,94}{1,34+1} = 0,742$$

$$y_{cp}^{//} = \frac{4,07+1,34}{1,34+1} \cdot 0,138 - \frac{4,07-1}{1,34+1} \cdot 0,025 = 0,286$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [6]:

– у верхній частині колони:

$$M_{ср}^{/} = y_{ср}^{/} \cdot M_{ллк} + \left(1 - y_{ср}^{/}\right) \cdot M_{тлк}; \qquad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$M_{ср}^{//} = y_{ср}^{//} \cdot M_{ллк} + \left(1 - y_{ср}^{//}\right) \cdot M_{тлк}; \qquad (2.21)$$

$$M_{ср}^{/} = 0,742 \cdot 78,11 + (1 - 0,742) \cdot 60,05 = 73,45 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{ср}^{//} = 0,286 \cdot 78,11 + (1 - 0,286) \cdot 60,05 = 65,22 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [6]:

$$\rho_{y}^{/} = \frac{M_{ср}^{/} \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + t_{y}^{/}\right)}; \qquad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_{y}^{//} = \frac{M_{ср}^{//} \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + t_{y}^{//}\right)}; \qquad (2.23)$$

де $t_{y}^{/}$=88°С – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації $y_{ср}^{/}$ (визначається по діаграмі) [5];

$t_{y}^{//}$=112°С середня температура пари в нижній частині колони в залежності від концентрації $y_{ср}^{//}$ (визначається по діаграмі) [5].

$$\rho_{y}^{/} = \frac{73,45 \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + 88\right)} = 2,48 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{y}^{//} = \frac{65,22 \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + 112\right)} = 2,06 \text{ кг/м}^3$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho_{x}^{/} = x_{ср}^{/} \cdot \rho_{ллк}^{/} + \left(1 - x_{ср}^{/}\right) \cdot \rho_{тлк}^{/}; \qquad (2.24)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_x^{//} = x_{ср}^{//} \cdot \rho_{ллк}^{//} + \left(1 - x_{ср}^{//}\right) \cdot \rho_{тлк}^{//}; \qquad (2.25)$$

де $\rho_{ллк}^{/}$, $\rho_{ллк}^{//}$, $\rho_{тлк}^{/}$, $\rho_{тлк}^{//}$ *– густини рідини легколеткого і важколеткого компонентів при температурах* $t_x^{/}$, $t_x^{//}$;

$\rho_{ллк}^{/} = 808$ *кг/м*^{3}; $\rho_{тлк}^{/} = 974$ *кг/м*^{3} *при температурі* $t_x^{/} = 86$*˚С [13];*

$t_x^{/} = 86$*˚С - середня температура рідини у верхній частині колони в залежності від концентрації* $x_{ср}^{/}$;

$\rho_{ллк}^{//} = 782$ *кг/м*^{3}; $\rho_{тлк}^{//} = 942$ *кг/м*^{3} *при температурі* $t_x^{//} = 109$*˚С [13];*

$t_x^{//} = 109$*˚С – середня температура рідини в нижній частині колони в залежності від концентрації* $x_{ср}^{//}$.

$$\rho_x^{/} = 0{,}595 \cdot 808 + (1 - 0{,}595) \cdot 974 = 875 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_x^{//} = 0{,}138 \cdot 782 + (1 - 0{,}138) \cdot 942 = 920 \text{ кг/м}^3$$

Середні в'язкості рідини обчислюються за формулами:

– у верхній частині колони:

$$\lg \mu_x^{/} = x_{ср}^{/} \cdot \lg \mu_{ллк}^{/} + \left(1 - x_{ср}^{/}\right) \cdot \lg \mu_{тлк}^{/}; \qquad (2.26)$$

– у нижній частині колони:

$$\lg \mu_x^{//} = x_{ср}^{//} \cdot \lg \mu_{ллк}^{//} + \left(1 - x_{ср}^{//}\right) \cdot \lg \mu_{тлк}^{//}; \qquad (2.27)$$

де $\mu_{ллк}^{/}$, $\mu_{ллк}^{//}$, $\mu_{тлк}^{/}$, $\mu_{тлк}^{//}$ *– в'язкості рідких легколеткого і тяжколеткого компонентів при температурах* $t_x^{/}$ *и* $t_x^{//}$.

$\mu_{ллк}^{/} = 0{,}313 \cdot 10^{-3}$ *Па·с,* $\mu_{тлк}^{/} = 0{,}53 \cdot 10^{-3}$ *Па·с;*

$\mu_{ллк}^{//} = 0{,}26 \cdot 10^{-3}$ *Па·с,* $\mu_{тлк}^{//} = 0{,}46 \cdot 10^{-3}$ *Па·с;*

$\mu_x^{/} = 0{,}0005005$ *Па·с,* $\mu_x^{//} = 0{,}0005591$ *Па·с.*

2.2 Конструктивні розрахунки

Граничну і робочу швидкості парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулами [14]:

$$\omega^{/} = \left(0,75 \div 0,9\right) \cdot \omega_{пр}; \qquad (2.28)$$

де $\omega_{пр}$ – швидкість пари, що відповідає точці захльобування.

$$\omega_{пр} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_р - \rho_п}{\rho_п}}; \qquad (2.29)$$

де с=0,036 при відстані між тарілками Н=400 мм – коефіцієнт, який обирається в залежності від конструкції тарілок і відстані між ними [14].

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega^{/}_{пр} = 0,036 \cdot \sqrt{\frac{875 - 2,48}{2,48}} = 0,675 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega^{//}_{пр} = 0,036 \cdot \sqrt{\frac{920 - 2,06}{2,06}} = 0,76 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega^{/} = 0,825 \cdot 0,675 = 0,56 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega^{//} = 0,825 \cdot 0,76 = 0,63 \text{ м/с}$$

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [5]:

– у верхній частині колони

$$\left(\frac{L}{G}\right)^{/} = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \qquad (2.30)$$

– у нижній частині колони

$$\left(\frac{L}{G}\right)^{//} = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R+F}{R+1}; \qquad (2.31)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)^{/} = \frac{1,34}{1,34+1} = 0,573$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)^{//} = \frac{1,34+4,07}{1,34+1} = 2,312$$

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V^{/} = \frac{G_V}{\rho_y^{/}}; \qquad (2.32)$$

– у нижній частині колони

$$V^{//} = \frac{G_V}{\rho_y^{//}}; \qquad (2.33)$$

$$V^{/} = \frac{3086{,}9}{3600 \cdot 2{,}48} = 0{,}346 \ м^3/с$$

$$V^{//} = \frac{3086{,}9}{3600 \cdot 2{,}06} = 0{,}416 \ м^3/с$$

Діаметр колони розраховується за формулою [5]:

$$D = \sqrt{\frac{G_v}{\rho_y 0{,}785 \cdot \omega}}; \qquad (2.34)$$

– для верхньої частини колони

$$D^{/} = \sqrt{\frac{0{,}346}{0{,}785 \cdot 0{,}56}} = 0{,}89 \ м$$

– для нижньої частини колони

$$D^{//} = \sqrt{\frac{0{,}416}{0{,}785 \cdot 0{,}63}} = 0{,}92 \ м$$

Приймаємо стандартизований діаметр колони $D_к$=1000 мм.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні становлять:

$$w_в = 0{,}675 \cdot \left(\frac{0{,}89}{1}\right)^2 = 0{,}53 \ м/с$$

$$w_н = 0{,}76 \cdot \left(\frac{0{,}92}{1}\right)^2 = 0{,}64 \ м/с$$

Визначення висоти колони.

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою і рівноважною лініями (див. додаток А) число теоретичних тарілок дорівнює $N_m^{/} = 6 \ шт.$, $N_m^{//} = 3 \ шт.$

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою, так званого, середнього ККД тарілки [14]:

$$N_д = N_т / \eta \,, \qquad (2.35)$$

де η – ККД тарілки.

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

$$\alpha = P_{ллк} / P_{тлк} \,, \qquad (2.36)$$

де $P_{ллк}$, $P_{тлк}$ – тиск насиченої пари НК і ВК компонентів при середній температурі в колоні;

$P_{ллк}' = 400$ *мм.рт.ст;* $P_{ллк}'' = 550$ *мм.рт.ст;* $P_{тлк}' = 85$ *мм.рт.ст;* $P_{тлк}'' = 150$ *мм.рт.ст.*

$$\alpha' = 400/85 = 4{,}706$$

$$\alpha'' = 550/150 = 3{,}667$$

$$\mu_x^{/} = 0{,}0005005 \text{ Па с}, \quad \mu_x^{//} = 0{,}0005591 \text{ Па с};$$

$$\alpha' \cdot \mu_x' = 2{,}36; \quad \alpha'' \cdot \mu_x'' = 2{,}05$$

За графіком [14] знаходимо $\eta'=0{,}39$, $\eta''=0{,}39$.

Число тарілок:

– у верхній частині колони

$$N_д = 6/0{,}39 = 15{,}4 \approx 16 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колони

$$N_д = 3/0{,}39 = 7{,}7 \approx 8 \text{ шт.}$$

Висота тарільчастої частини колони залежить від числа дійсних тарілок $N_д$ і прийнятої відстані між ними:

$$H_T = \left(N_Д - 1\right) \cdot H \,, \qquad (2.37)$$

де $N_д=24$ – загальне число тарілок;

$H=400$мм – відстань між тарілками.

$$H_T = (24\text{-}1) \cdot 400 = 9200 \text{ мм.}$$

Визначення діаметра патрубків.

Діаметр патрубка визначається за формулою [14:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}; \qquad (2.38)$$

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

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

Діаметр патрубка для входу парової суміші дорівнює:

$$d_{см} = \sqrt{\frac{0{,}857}{2{,}67 \cdot 0{,}785 \cdot 15}} = 0{,}165 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка $d_{см}$=200 мм.

Діаметр патрубка для виходу парів з верху колони:

$$d_V = \sqrt{\frac{0{,}857}{2{,}06 \cdot 0{,}785 \cdot 15}} = 0{,}188 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_V=200 мм.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{0{,}491}{875 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}5}} = 0{,}038 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_R=50 мм.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{4500}{3600 \cdot 920 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}5}} = 0{,}059 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_f=60 мм.

Діаметр патрубка для виходу кубового залишку:

$$d_W = \sqrt{\frac{0{,}884}{880 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}5}} = 0{,}051 \text{м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_W=60 мм.

2.3 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [14].

Обчислимо гідравлічний опір ситчастої тарілки у верхній і нижній частинах колони:

$$\Delta p_{общ} = \Delta p_{сух} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{пж}, \text{ Па} \qquad (2.39)$$

де $\Delta p_{сух}$ *– гідравлічний опір сухої тарілки, Па;*

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

$\Delta p_{пж}$ *– опір парорідинного шару, Па.*

Гідравлічний опір сухої тарілки [4]:

$$\Delta p_{сух} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot \omega_{отв}^2}{2}; \qquad (2.40)$$

де ξ *– коефіцієнт опору незрошуваних ситчастих тарілок з вільним перетином 5–10 %,* ξ *=1,82;*

$\omega_{отв}$ *– швидкість пари в отворах тарілки.*

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{w}{F}, \qquad (2.41)$$

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

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

Опір, обумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma}{d_0}, \qquad (2.42)$$

де $\sigma=20,5 \cdot 10^{-3}$ *Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі в верхній частині колони,* $\sigma=18,5 \cdot 10^{-3}$ *Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі в нижній частині колони;*

d_0 *=0,004 м – діаметр отворів тарілки.*

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{пж} = 1,3 \cdot h_{пж} \cdot \rho_{пж} \cdot g \cdot k, \text{ Па} \qquad (2.43)$$

де $h_{пж}$ *– висота пароріднинного шару, м.*

$$h_{пж} = h_п + \Delta h, \text{ м} \qquad (2.44)$$

де $h_п$ *– висота зливної перегородки, м;*

Δh *– висота шару над зливною перегородкою, м.*

$$\Delta h = \left(\frac{V_ж}{1{,}85 \cdot П \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}}, \text{ м} \qquad (2.45)$$

де $V_ж$ *– об'ємна витрата рідини,* $м^3/с$,

П – периметр зливної перегородки, м;

$k = \rho_{пж} / \rho_ж$ *– відношення густини пароріднинного шару (піни) до густини рідини;*

$k \approx 0{,}5$.

Об'ємна витрата рідини:

$$V_ж = \frac{G_D \cdot R \cdot M_{ср}}{M_D \cdot \rho_ж}, \ \frac{м^3}{с} \qquad (2.46)$$

де R – флегмове число;

$M_{ср}$ *– середня мольна маса рідини, кг/кмоль.*

Периметр зливної перегородки П знаходимо, вирішуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} \left(\frac{П}{2} \right)^2 + (R - b)^2 = R^2 \\ 0{,}1 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{2}{3} \cdot П \cdot b \end{cases} \qquad (2.47)$$

де R=0,5 м – радіус тарілки;

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

Умова нормальної роботи тарілок:

$$H_т > 1{,}8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_ж \cdot g} \qquad (2.48)$$

де H – міжтарілчаста відстань, м.

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

$$w_{o\ мин} = 0{,}67 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_{ж} \cdot h_{пж}}{\xi \cdot \rho_{п}}},\ \frac{м}{с} \qquad (2.49)$$

Верхня частина колони.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{0{,}58}{0{,}0514} = 11{,}28\ м/с.$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = 1{,}82 \cdot \frac{2{,}48 \cdot 11{,}28^2}{2} = 287\ Па.$$

Опір, обумовлений силами поверхневого натягу:

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

Середня мольна маса рідини:

$$M_{ср} = 0{,}595 \cdot 78{,}11 + 0{,}405 \cdot 60{,}05 = 70{,}8\ кг/кмоль.$$

Об'ємна витрата рідини:

$$V_{ж} = \frac{1319{,}2 \cdot 1{,}34 \cdot 70{,}8}{3600 \cdot 77{,}03 \cdot 875} = 0{,}000516\ \frac{м^3}{с}.$$

Вирішивши рівняння, отримуємо: П=0,73 м, b=0,161 м.

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{0{,}000516}{1{,}85 \cdot 0{,}73 \cdot 0{,}5}\right)^{\frac{2}{3}} = 0{,}008\ м.$$

Висота пароріднинного шару:

$$h_{пж} = 0{,}04 + 0{,}008 = 0{,}048 м.$$

Опір пароріднинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{пж} = 1{,}3 \cdot 0{,}048 \cdot 875 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}5 = 268 Па.$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p'_{общ} = 287 + 20{,}5 + 268 = 576 Па.$$

Загальний гідравлічний опір у верхній частині колони дорівнює:

$$\Delta p' = \Delta p'_{общ} \cdot n,\ Па \qquad (2.50)$$

де n = 16 – число тарілок у верхній частині колони.

$$\Delta p' = 576 \cdot 16 = 9216 Па.$$

Нижня частина колони.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{0,68}{0,0514} = 13,23 \ м/с.$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = 1,82 \cdot \frac{2,06 \cdot 13,23^2}{2} = 328 \ Па.$$

Опір, обумовлений силами поверхневого натягу:

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

Об'ємна витрата рідини:

$$V_{ж} = \left(\frac{G_D \cdot R}{M_D} + \frac{G_F}{M_F} \right) \cdot \frac{M_{ср}}{\rho_{ж}}, \ \frac{м^3}{с} \qquad (2.51)$$

Середня мольна маса рідини:

$$M_{ср} = 0,138 \cdot 78,11 + 0,862 \cdot 60,05 = 62,5 \ кг/кмоль.$$

$$M_F = 0,302 \cdot 78,11 + 0,698 \cdot 60,05 = 65,5 \ кг/кмоль.$$

$$V_{ж} = \left(\frac{1319,2 \cdot 1,34}{77,03} + \frac{4500}{65,5} \right) \cdot \frac{62,5}{3600 \cdot 920} = 0,0017 \ \frac{м^3}{с}.$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{0,0017}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,019 \ м.$$

Висота пароріднинного шару:

$$h_{пж} = 0,04 + 0,019 = 0,059 \ м.$$

Опір пароріднинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{пж} = 1,3 \cdot 0,059 \cdot 920 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 346 \ Па.$$

Загальний гідравлічний опір тарілки в нижній частині колони:

$$\Delta p''_{общ} = 328 + 18,5 + 346 = 693 \ Па.$$

Загальний гідравлічний опір в нижній частині колони дорівнює:

$$\Delta p'' = \Delta p''_{общ} \cdot n,\ Па \qquad (2.52)$$

де n = 8 – число тарілок в нижній частині колони.

$$\Delta p'' = 693 \cdot 8 = 5544\ Па.$$

Перевіримо умову нормальної роботи тарілки нижній частині колони, у якій гідравлічний опір більше, ніж у тарілки верхньої частини:

$$1{,}8 \cdot \frac{\Delta p''}{\rho_{ж} \cdot g} = 1{,}8 \cdot \frac{693}{920 \cdot 9{,}81} = 0{,}14$$

Це підтверджує правильність прийнятої раніше відстані між тарілками H_m = 400 мм: 0,4>0,14.

Перевіримо рівномірність роботи тарілок:

$$w_{о\ мин} = 0{,}67 \cdot \sqrt{\frac{9{,}81 \cdot 920 \cdot 0{,}059}{1{,}82 \cdot 2{,}06}} = 7{,}98\ \frac{м}{с}$$

13,23 м/с>7,98 м/с – отже, тарілки працюватимуть усіма отворами.

Загальний гідравлічний опір колони становить:

$$\Delta p = \Delta p' + \Delta p'',\ Па \qquad (2.53)$$

$$\Delta p = 9216 + 5544 = 14760\ Па.$$

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і підбір насосу для подачі вихідної суміші [8].

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

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0{,}785 \cdot w}}, \qquad (2.54)$$

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

$$V = \frac{4500}{3600 \cdot 900} = 1{,}39 \cdot 10^{-3} \ \frac{м^3}{с};$$

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

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\mathrm{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \qquad (2.55)$$

$$\mathrm{Re} = \frac{2 \cdot 0{,}032 \cdot 900}{3{,}5 \cdot 10^{-4}} = 164571,$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0{,}032} = 0{,}00625;$$

$$\frac{1}{e} = 160; \ 560 \cdot \frac{1}{e} = 89600; \ 10 \cdot \frac{1}{e} = 1600;$$

$$\mathrm{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re*:*

$$\lambda = 0{,}11 \cdot e^{0{,}25}, \qquad (2.56)$$

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

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

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1 = 0{,}5$ *;*

2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1{,}1 = 2{,}2$.

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

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

Для напірної лінії:

1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0,65$;

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

3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3,05$;

4) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

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

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

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma\xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \qquad (2.57)$$

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

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

Втрата напору в напірній лінії:

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

Загальні втрати напору:

$$h_П = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \qquad (2.58)$$

$$h_П = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ м}.$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{ж} \cdot g} + H_{Г} + h_{П}, \qquad (2.59)$$

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

$H_{Г}$ *– геометрична висота піднімання рідини.*

$$H = 5 + 4{,}1 = 9{,}1 \text{ м}.$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{П} = \rho_{р} \cdot g \cdot V \cdot H, \qquad (2.60)$$

$$N_{П} = 900 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}39 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}1 = 112 \text{ Вт}.$$

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

$$N = \frac{N_{П}}{\eta_{пер} \cdot \eta_{н}}, \qquad (2.61)$$

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

$$N = \frac{112}{1 \cdot 0{,}6} = 186{,}7 \text{ Вт}.$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-8,5/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 8,5 м^3/год.; напір насосу 25 м; потужність, яку потребляє насосом 7,5 кВт; частота обертів 1450 об/хв.

Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [8]. *Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву*

робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8...0,85$. *Приймаємо* $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \qquad (2.62)$$

$$V_{EP} = \frac{4500 \cdot 7}{0,82 \cdot 900} = 42,7 \ м^3.$$

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

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}, \qquad (2.63)$$

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

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Основні розрахункові параметри:

Робоча температура середовища t=100°C. Робоча температура стінки t=100°C.

За вихідними даними проектована колона працює під атмосферним тиском. Таким чином, робочий тиск в апараті P = 0,1 МПа.

Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском, представлена на рис. 4.

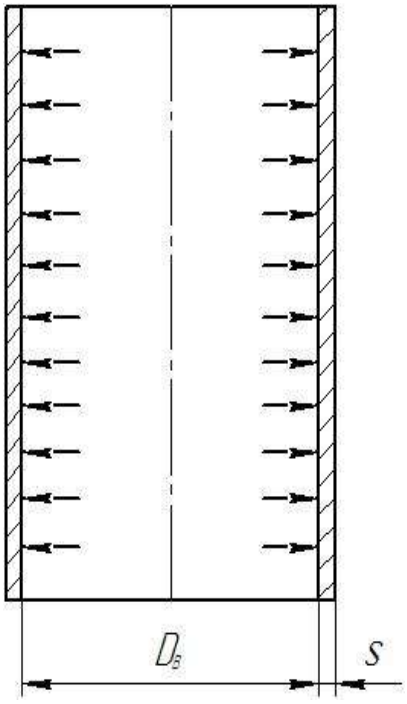


Рисунок 4 – Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском P>0,07 МПа відповідно до рекомендацій наведених у [15] складе:

$$P_p=1,1p=1,1\cdot0,1=0,11 \text{ МПа}. \quad (3.1)$$

Приймаємо стандартне значення 0,25 МПа.

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [15] складе:

$$P_{пр} = \max\begin{Bmatrix} 1{,}5Pp[\sigma]_{20}/[\sigma] \\ Pp + 0{,}3 \end{Bmatrix}, \qquad (3.2)$$

де $[\sigma]_{20}, [\sigma]$ *– допустиме напруження для матеріалу корпусу при розрахунковій температурі і температурі* 20^oC*, згідно [15]:*

$$[\sigma]_{20} = 160\ МПа,\ [\sigma] = 152 МПа.$$

$$P_{пр} = \max\begin{Bmatrix} 1{,}5 \cdot 0{,}25 \cdot 140/132 \\ 0{,}25 + 0{,}3 \end{Bmatrix} = \max\begin{Bmatrix} 0{,}43 \\ 0{,}55 \end{Bmatrix} = 0{,}55\ МПа.$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу, згідно [15]:

$$E_{20} = 2 \cdot 10^5\ МПа,\ E = 2 \cdot 10^5\ МПа.$$

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [15], складе: $\varphi = 0{,}9$.

Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу.

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_к = \frac{P_{пр} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_р - P_{пр}}, \qquad (3.3)$$

$$S_к = \frac{0{,}55 \cdot 1}{2 \cdot 152 \cdot 0{,}9 - 0{,}55} = 0{,}002\ м.$$

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_K + C, \qquad (3.4)$$

де C – загальне значення прибавки, яка складається зі складових:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \qquad (3.5)$$

де C_1 *– прибавка на корозію і ерозію, при проникності П = 0,4 мм/рік та терміні служби колони* $\tau = 10$ *років складе*

$$C_1 = П \cdot \tau = 0{,}4 \cdot 10 = 4\ мм;$$

C_2 *– прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;*

C_3 – технологічна прибавка, яка враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

Прибавки C_2 и C_3 враховуються лише в тому випадку, коли сума їх перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

$$C = 4 + 0 + 0 = 4 \text{ мм.}$$

$$S = 0{,}002 + 0{,}004 = 0{,}006 \text{ м.}$$

Приймаємо S=0,008м = 8 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}, \qquad (3.6)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0{,}9 \cdot (0{,}008 - 0{,}004)}{1 + (0{,}008 - 0{,}004)} = 1{,}09 \quad МПа$$

Умова міцності має вигляд:

$$P < [P]: 0{,}55 \text{ МПа} < 1{,}09 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища.

Розрахункова схема еліптичного днища представлена на рис. 5.

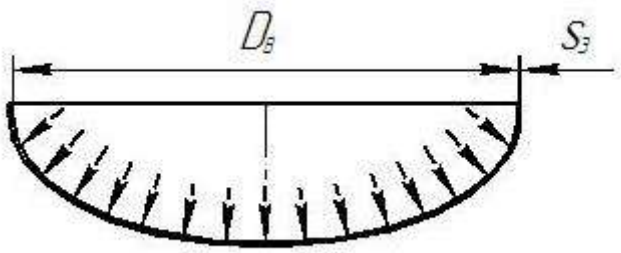


Рисунок 5 – Розрахункова схема днища апарату, навантаженого внутрішнім тиском

Номінальна товщина стінки днища (кришки), навантажених внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_R = \frac{P_p R}{2[\sigma]\cdot\varphi - 0{,}5P_p}, \qquad (3.7)$$

де R – радіус кривизни в вершині днища; для еліптичних днищ R = D.

$$S_R = \frac{0{,}55\cdot 1}{2\cdot 152\cdot 0{,}9 - 0{,}5\cdot 0{,}55} = 0{,}002 \text{ м.}$$

Загальне значення прибавки до товщини стінки днища (кришки) складе:

$$C = 4 + 0 + 0 = 4 \text{ мм.}$$

$$S = 0{,}002 + 0{,}004 = 0{,}006 \text{ м.}$$

Приймаємо S=0,008 м = 8 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2(S-C)\varphi[\sigma]}{D + 0{,}5(S-C)}, \qquad (3.8)$$

$$[p] = \frac{2\cdot(0{,}008-0{,}004)\cdot 0{,}9\cdot 152}{1+0{,}5\cdot(0{,}008-0{,}004)} = 1{,}09 \quad \text{МПа},$$

що більше пробного, а отже, умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

$$Q_{ап} = M_{ап}\cdot g; \qquad (3.9)$$

де $M_{ап}$ – маса порожнього апарату;

$$M_{ап} = M_к + M_{дн} + M_{кр} + M_т + M_{фл}, \qquad (3.10)$$

де $M_к$, $M_{дн}$, $M_{кр}$, $M_т$, $M_{фл}$ – відповідно маси корпусу, днища, кришки, тарілок, фланців і арматури

$$M_к = H\cdot\pi\cdot D\cdot s\cdot\rho, \qquad (3.11)$$

де ρ – щільність матеріалу корпусу ρ=7900 кг/м^3;

$$M_к = 14{,}1\cdot 3{,}14\cdot 1\cdot 0{,}008\cdot 7900 = 2798 \text{ кг}$$

$$M_{дн} = M_{кр} = F\cdot s\cdot\rho, \qquad (3.12)$$

де F – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища (кришки) F=1,16м²;

$$M_{дн} = M_{кр} = 1{,}16 \cdot 0{,}008 \cdot 7900 = 73{,}3 \text{ кг.}$$

Маса тарілок:

$$M_m = N \cdot m_m, \qquad (3.13)$$

де m_m=41,5 кг – маса однієї тарілки.

$$M_m = 24 \cdot 41{,}5 = 996 \text{ кг.}$$

Масу фланців і арматури приймемо рівною $M_{фл}$=1000 кг.

Маса порожнього апарату:

$$M_{ап} = 2798 + 2 \cdot 73{,}3 + 996 + 1000 = 4940 \text{ кг}$$

$$Q_{ап} = 4940 \cdot 9{,}81 = 48461 \text{ Н}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q^{и}_{ап} = (M_{ап} + M_{в}) \cdot g, \qquad (3.14)$$

де $M_в$ – маса залитої в апарат води.

$$M_{в} = V \cdot \rho_{в}, \qquad (3.15)$$

де V – об'єм апарату $V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3.14 \cdot 1^2}{4} \cdot 14{,}1 = 11{,}07 \text{ м}^3$

$$M_{в} = 11{,}07 \cdot 1000 = 11070 \text{ кг.}$$

$$Q^{и}_{ап} = (4940 + 11070) \cdot 9{,}81 = 157058{,}1 \text{ Н.}$$

Виходячи з $Q_{max}=Q_{ап}$ і $Q_{min}=Q_{ап}$, за таблицями [10] вибираємо циліндричну опору 3-1000-25-12,5-350.

3.3 Розрахунок на вітрове навантаження

Ректифікаційну колону розраховують як консольну балку, навантажену рівномірно розподіленим вітровим навантаженням, що діє на корпус колони, і зосередженими силами, які є рівнодійними сил вітрового натиску на окремі елементи конструкції (сходинки, площадки, теплообмінники тощо).

Момент від розподіленого навантаження обчислюється як рівнодіюча, прикладена до середини апарату:

$$M = \beta \cdot c \cdot q \cdot D \cdot H\,, \qquad (3.16)$$

де β – коефіцієнт збільшення швидкісного напору вітру за рахунок динамічного впливу, викликаного поривами вітру;

c – аеродинамічний коефіцієнт обтікання (для циліндричних апаратів c = 0,6);

q – значення вітрового напору на висоті, що відповідає середині розрахункової ділянки, Н/м^2 [15];

D – зовнішній діаметр колони, м;

H – висота розрахункової ділянки (у нашому випадку висота апарату), м.

Коефіцієнт збільшення швидкісного напору вітру визначається за формулою:

$$\beta = 1 + \zeta \cdot m\,, \qquad (3.17)$$

де ζ – коефіцієнт динамічності, який знаходять за графіком залежно від періоду власних коливань апарату [15];

m – коефіцієнт пульсації швидкісного напору вітру; приймають за графіком залежно від висоти колони H [15].

$$\beta = 1 + 1{,}5 \cdot 0{,}9 = 2{,}35.$$

$$M = 2{,}35 \cdot 0{,}6 \cdot 3{,}1 \cdot 1{,}016 \cdot 15{,}800 = 70{,}17\ МПа$$

Умова міцності на навітряній стороні апарату:

$$P \le [\sigma] \cdot \varphi;$$

$$70{,}17 \le 152 \cdot 1 = 152 МПа\,.$$

Умову виконано.

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [16]

При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається із блоків, а потім приварюється опора. Частини апарата, що стикуються, підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромок однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок (див. рис. 6), які після прихватки стику короткими звареними швами зрізають газокисневим різанням.

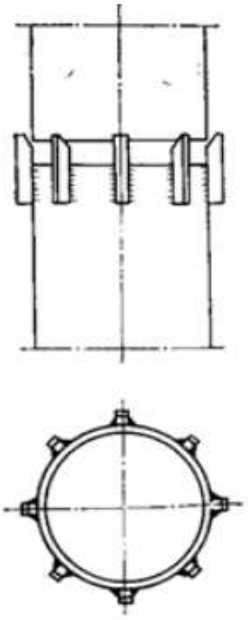


Рисунок 6 – Стиковка обичайок

Стиковку роблять за заводськими контрольними рисками, нанесеними на корпусах. Відхилення розмірів ділянок, що стикуються, повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромок в кільцевих швах не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарата, а у разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини шару.

У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне

зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

Тарілка – контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарата (рис. 7).

При горизонтальному положенні апарата тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°.

Значно легше забезпечити строго горизонтальне положення тарілок в уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі

апарата. У цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

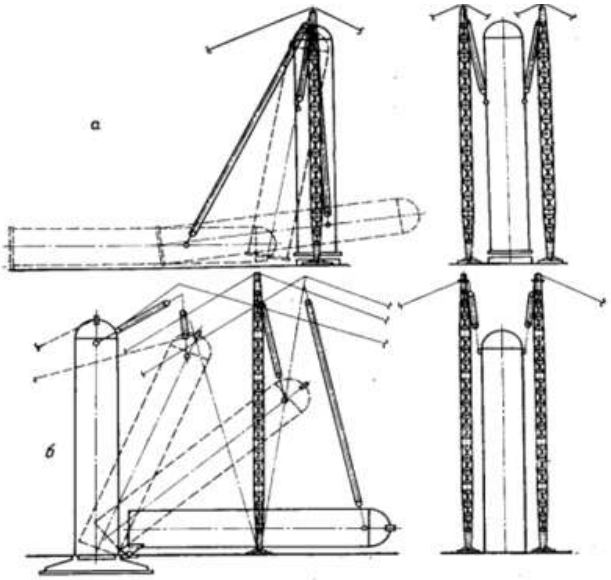


Рисунок 7 – Способи підйому колонного апарата:
а – способом ковзання опорної частини; б – поворотом навколо шарніра

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз'ємних деталей (карманів, зливів, дисків, глухих сегментів). Зварювання проводять у відповідності до технічних умов, і з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання. Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж. Для цього закриваються всі люки, розташовані нижче контрольованої тарілки, тарілка заливається водою, щоб надмірна кількість води зливалося через зливні пристрої. Злив по всьому периметру повинен бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Товщина шару води на всіх ділянках тарілки повинна бути також однаковою. Після заповнення гідро затворів за допомогою компресора нагнітається повітря. Рівномірність барботажа контролюється візуально.

4.2 Ремонт апарата [16, 17]

Перед початком ремонту працівники технологічного цеху (оператори) виконують підготовчі роботи. Потім до роботи приступає ремонтний персонал виконавця ремонтних робіт (слюсарі-ремонтники). Як правило, при ремонті колонних апаратів із внутрішніми пристроями тарільчатого типу передбачаються наступні роботи:

– приймання колони в ремонт за актом представником ремонтної організації (майстром ремонтно-механічної бригади).

– перед тим, як безпосередньо приступити до ремонту, необхідно отримати інструктаж з охорони праці, техніки безпеки, газобезпеки, пожежної безпеки і оформити наряд допуску на проведення газонебезпечних робіт всередині колонного апарата.

– керівник ремонтного підрозділу (майстер РМЦ) повинен ознайомитися з результатами підготовчих робіт до ремонту колони або в цілому установки, зазначених в наряді допуску.

– отримати дозвіл особи, відповідальної за організацію безпечного проведення газонебезпечних робіт в цеху (начальника або заступника начальника цеху) і приступити до виконання ремонтних робіт.

– відкриття люків-лазів проводять, починаючи із верхнього, а далі послідовно зверху вниз. Забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки-лази, щоб уникнути підсосу повітря в колону і займання пароповітряної суміші.

– працівниками технологічного цеху проводиться відбір проб повітря з усіх люків колони. Результати аналізів на вміст вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних речовин, і на вміст кисню записуються в наряді допуску.

– перед початком ремонту перевіряють температуру повітряного середовища всередині колони, яка не повинна перевищувати 30°С. Під час

очистки і розбирання тарілок в колоні працює по двоє людей в кожному люку: один всередині колони у шланговому протигазі з рятувальним поясом і сигнально рятувальною мотузкою; другий спостерігаючий дублер: зовні, поруч із люком, зі шланговим протигазом.

Очищення стінок міжтарілчастого простору, опорних конструкцій тарілок, зливних карманів і стінок кубової частини колони роблять за допомогою металевих скребків і щіток, а також за допомогою механізованих пристосувань і інструментів. Відкладення і бруд видаляють з колони дерев'яними лопатами через люк-лаз і спускають їх в цеберку зі спеціальними жолобами.

Тарілки розбирають в кожному люку послідовно, починаючи з верхньої. Повне розбирання усіх тарілок роблять по секціях (сегментам). Спуск секцій тарілок проводиться за допомогою кран-укосини.

Чистку тарілок проводять на зовнішньому майданчику в захисних окулярах за допомогою металевих скребків і щіток.

Одночасно проводять продування секцій парою і відбраковування дефектних деталей тарілок шляхом легкого обстукування молотком вагою від 0,5 до 1 кг.

Після очищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляються заново і збираються. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, оскільки якщо ці деталі не будуть на одній осі – правильне встановлення ковпачка є неможливим. Співвісність деталей забезпечується спеціальною оправкою, яка дозволяє також змінювати висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки.

При ремонті корпусу колони керуються стандартами, відповідно до яких розробляється технологія усунення дефектів корпусу і його покриття. Ремонт опорних конструкцій тарілок, зливних карманів вогневими методами із використанням ручного дугового електрозварювання (РДЕЗ) і

газозварювання проводять після оформлення дозволу на проведення вогневих робіт усередині апарата, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і наряду-допуску на проведення робіт підвищеної небезпеки на кожну робочу зону, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони.

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце встановлюються нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Тип зварювання – встик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки її зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число та перетин стійок, розміри опорних лап розраховують, виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами.

Збірку тарілок проводять аналогічно розбиранню, у зворотному порядку, знизу-вгору. При складанні тарілок контролюють горизонтальність установки тарілок за шаблоном або за допомогою лінійки і рівня. Відхилення від горизонтальності має бути в допустимих межах, визначених індивідуально для кожного типу тарілок.

Після закінчення встановлення тарілок і ремонту колони, якість проведених ремонтних робіт перевіряє представник адміністрації цеху, відповідальний за проведення ремонту (старший механік цеху, заступник начальника цеху з ремонту). Після цього з колони прибирають сторонні предмети, матеріали, інструменти, пристосування і закривають люки-лази. Люки-лази закривають знизу-вгору, починаючи з нижнього.

5 Охорона праці

Причини забруднення і характер впливу повітря робочої зони на працівників.

Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечити не лише комфортні метеорологічні умови, а й необхідну чистоту повітря [18].

Чистим вважається повітря, не забруднене твердими, рідкими та газоподібними речовинами, які змінюють його природний склад.

Тверді, рідкі або газоподібні речовини, що потрапляють у повітря, змінюючи його природний склад, називаються емісіями. Емісії – це забруднення техногенного походження.

Забруднення повітря має місце в такому випадку, коли забруднююча повітря речовина або декілька речовин присутні в такій кількості і протягом такого часу, що спричиняють шкоду людям, тваринам, рослинам та майну.

За концентрації кисню не більше 9% (нормальний барометричний тиск) у людини настає кисневе голодування тканин організму (аноксемія), що може призвести до смерті.

Підвищений вмісту азоту у повітрі призводить до наркотичної дії, так за концентрації азоту 83% відчувається задуха, а за 93 % – настає смерть від нестачі кисню (зростання вмісту азоту означає зменшення вмісту кисню).

Допустима норма вуглекислого газу в приміщенні 0,1…0,2%, на робочих місцях – до 0,5%. Підвищений вміст вуглекислого газу призводить до зменшення вмісту кисню.

Важливо, щоб повітря мало певний йонний склад. В повітрі містяться негативні і позитивні йони, які, в свою чергу, бувають легкі, середні і важкі. Важкі йони утворюються в результат осадження легких йонів на різних частках: пилу, краплинах. В незабрудненому повітрі переважно знаходяться

легкі йони, в забрудненому – важкі. Нормується оптимальний вміст легких йонів у повітрі робочої зони.

В сучасній техніці застосовується безліч речовин, які можуть потрапляти в повітря і становити небезпеку здоров'ю людей. Для визначення небезпечності досліджується вплив цих речовин на організм людини і встановлюються безпечні для людини концентрації та дози.

На промислових підприємствах повітря робочої зони може забруднюватися шкідливими речовинами, які утворюються в результаті технологічного процесу, або містяться в сировині, продуктах чи напівпродуктах, у відходах виробництва. Ці речовини потрапляють у повітря у вигляді пилу, газів або пари і діють негативно на організм людини.

При роботі або ремонті копіювальних апаратів виділяються такі хімічні речовини, як озон, оксид азоту, аміак, стирол (вінілбензол), ацетон (пропан-2-он), селенистий водень (гідроселенід), епіхлоргідрин (хлорметилоксиран), кислоти, бензин, оксид етилену (оксиран) [19].

Досить поширеним небезпечним та шкідливим виробничим чинником є виробничий пил. Від пилу потерпають робітники гірничодобувної промисловості, машинобудування, металургії, текстильної промисловості, сільського господарства і т. ін. Залежно від походження пил може бути органічним (тваринний, рослинний, штучний), неорганічним (металевий, мінеральний) та змішаним [18].

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях.

Мікроклімат – це сукупність показників робочого місця, які впливають на тепловий обмін працівників з оточуючим середовищем. До них відносяться: температура повітря (°С), відносна вологість (%), швидкість руху повітря (м/с), інтенсивність теплового випромінювання (Вт/м²), барометричний тиск (мм рт. ст.). Згідно з системою стандартів безпеки праці (ГОСТ12.1.005-88) «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони», а також ДСН

3.3.6.042-99 «Санітарні норми виробничих приміщень» нормуються оптимальні й допустимі умови виробничого середовища.

Оптимальними (комфортними) називають такі параметри мікроклімату, які при тривалій і систематичній дії на людину забезпечують збереження нормального теплового стану організму без напруження механізмів терморегуляції [20].

Оптимальні норми мікроклімату застосовуються для приміщень, де праця людей не пов'язана з застосуванням обладнання, що потребує великих енергетичних витрат, або випромінюючих значні теплові потоки.

Оптимальні параметри мікроклімату повинні підтримуватися в приміщеннях, пов'язаних з виконанням нервово-емоційних робіт, що потребують підвищеної уваги (диспетчерські, приміщення, де працюють з комп'ютерами, кабінети діагностики, пульти управління технологічними процесами, хімічні лабораторії, бухгалтерії, конструкторські бюро та ін.) [21].

Оптимальна величина температури повітря залежно від пори року і важкості робіт може коливатися 16-25 ºС, допустима – 12-30 ºС.

Оптимальна відносна вологість – 40-60 %, допустима – до 75 %.

Оптимальна швидкість руху повітря – 0,2-0,5 м/с, а в приміщеннях із надлишком тепла збільшується до 1 м/с.

У навчальних приміщеннях є оптимальними такі метеоумови:

- *у холодний період року: температури повітря 22-24 ºС, відносна вологість – 40-60 %, швидкість руху повітря – 0,1 м/с;*
- *у теплий період року: температури повітря – 23-25 ºС, відносна вологість – 40-60 %, швидкість руху повітря – 0,1 м/с. [20].*

Допустимі – це такі параметри мікроклімату, які при тривалій і систематичній дії на людей можуть викликати перехідні, й такі, що швидко нормалізуються, зміни теплового стану організму, які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, але не виходять за межі фізіологічних пристосувань [20].

Допустимі величини мікрокліматичних умов встановлюються у випадках, коли на робочих місцях не можна забезпечити оптимальні величини мікроклімату за технологічними вимогами виробництва, технічною недосяжністю та економічно обґрунтованою недоцільністю.

Величини показників, які характеризують допустимі мікрокліматичні умови, встановлюються для постійних і непостійних робочих місць

Нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов здійснюється за допомогою комплексу заходів та способів, які включають: будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-технічні та ін. заходи колективного захисту. Для профілактики перегрівань та переохолоджень робітників використовуються засоби індивідуального захисту, медико-біологічні тощо.

Формовані параметри мікроклімату на робочих місцях повинні бути досягнені, в першу чергу, за рахунок раціонального планування виробничих приміщень і оптимального розміщення в них устаткування з тепло-, холодо- та вологовиділеннями. Для зменшення термічних навантажень на працюючих передбачається максимальна механізація, автоматизація та дистанційне управління технологічними процесами і устаткуванням.

У приміщеннях із значними площами засклених поверхонь передбачаються заходи щодо захисту від перегрівання при попаданні прямих сонячних променів в теплий період року (орієнтація віконних прорізів схід - захід, улаштування жалюзі та ін.), від радіаційного охолодження - в зимовий (екранування робочих місць). При температурі внутрішніх поверхонь огороджуючих конструкцій, засклення нижче або вище допустимих величин робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

У виробничих приміщеннях з надлишком (явного) тепла використовують природну вентиляцію (аерацію). Аераційні ліхтарі та шахти розташовують безпосередньо над основними джерелами тепла на одній осі. У разі

неможливості або неефективності аерації встановлюють механічну загальнообмінну вентиляцію.

При наявності одиничних джерел тепловиділень оснащують обладнання місцевою витяжною вентиляцією у вигляді локальних відсмоктувачів, витяжних зонтів та ін.

У замкнених і невеликих за об'ємом приміщеннях (кабіни кранів, пости та пульти керування, ізольовані бокси, кімнати відпочинку тощо) при виконанні операторських робіт використовують системи кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається.

При наявності джерел тепловипромінювання вживають комплекс заходів з теплоізоляції устаткування та нагрітих поверхонь за допомогою теплозахисного обладнання.

Людина постійно перебуває в процесі теплової взаємодії з навколишнім середовищем. Для того, щоб фізіологічні процеси в організмі людини відбувалися нормально, тепло, що виділяється організмом людини, повинне повністю відводитися у навколишнє середовище. Порушення теплового балансу може призвести до перегрівання або до переохолодження організму людини і, зрештою, до втрати працездатності, втрати свідомості та до теплової смерті. Величина тепловиділення організмом людини залежить від ступеня фізичного напруження за певних кліматичних умов і складає від 85 (у стані спокою) до 500 Дж/с (важка робота).Тому при зміні зовнішніх умов середовища терморегуляція в організмі людини відбувається за рахунок посилення або послаблення фізіологічних процесів, що обумовлюють теплоутворення в організмі, а також впливають на тепловіддачу тіла людини в навколишнє середовище. Тепло відводиться від тіла людини випромінюванням, конвекцією, кондукцією та випаровуванням вологи. Коли температура повітря нижча за температуру шкіри людини, втрати тепла організмом відбуваються, переважно, за рахунок конвекційного і радіаційного переносу тепла, Якщо температура поверхні тіла дорівнює температурі

навколишнього повітря або вища за неї, то тепловтрати тіла відбуваються лише за рахунок випаровування вологи.

Нормальне теплове самопочуття має місце, коли тепловиділення (Q) організму людини повністю сприймаються навколишнім середовищем, тобто коли має місце тепловий баланс:

$$Q = Qк + Qт + Qв + Qп + Qд, \qquad (5.1)$$

де Qк – конвекція внаслідок обтікання тіла повітрям;

Qт – теплопровідність через одяг;

Qв – випромінювання на оточуючі поверхні;

Qп – випаровування вологи потовими залозами;

Qд – дихання.

У цьому випадку температура внутрішніх органів залишається постійною на рівні 36,6 °С [21].

Список літератури

1. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему "Розрахунок ректифікаційної установки безперервної дії" проектування насадкової колони з курсу "Основні процеси та апарати хімічної технології" для студентів IV–V курсів усіх спеціальностей і форм навчання / Укл.: Т.П. Єльцова, Т.В. Гриднєва, П.В. Рябік. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 46 с.

2. Бензол. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Бензен.

3. Оцтова кислота. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Оцтова_кислота.

4. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.

5. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологи / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.

6. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия,1972. – 494 с.

7. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.

8. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.

9. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

10. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

11. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

12. *Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.*

13. *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.*

14. *Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.*

15. *Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов втузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.*

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

17. *Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.*

18. *Повітря робочої зони. Лекція з дисципліни «Основи охорони праці» [Електронний ресурс]. – Режим доступу:* http://ztec.com.ua/ztec/e-lib/Охорона%20праці/Тема%208%20Повітря%20робочої%20зони.pdf.

19. *Шкідливі речовини в повітрі робочої зони, їх класифікація та нормування [Електронний ресурс]. – Режим доступу:* https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/590.html.

20. *Чинники техногенного походження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://arm.naiau.kiev.ua/books/occupational_h_s/info/lec7.html.*

21. *Повітря робочої зони, мікроклімат виробничих приміщень [Електронний ресурс]. – Режим доступу:* https://studfile.net/preview/5176008/page:19/.