

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет

Шосткинський інститут

Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Віта СЕРЕДА

(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 20__р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 133 _____ Галузеве машинобудування _____,
(код та назва)

освітньо-професійної програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

на тему: «Виробництво метанолу. Розробити ректифікаційну колону для розділення суміші метанол-вода потужністю 3400 кг/годину.»

Здобувача _____ ХМ-01ш _____ Хворостина Д.В.
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Дмитро ХВОРОСТИНА
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ к.т.н. Роман ЗАКУСИЛО _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Співкерівник _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Реферат

Пояснювальна записка: 61 с, 10 рисунків, 4 таблиці, 14 літературних джерел. Графічні матеріали: складальне креслення апарата, технологічна схема, креслення складальних одиниць листів 4 формату А1.

Тема роботи: Виробництво метанолу. Розробити ректифікаційну колону для розділення суміші метанол-вода потужністю 3400 кг/годину.

Розроблена технологічна схема виробництва. Описані теоретичні основи процесу ректифікації. Описаний принцип дії та конструкція ректифікаційної колони. Вибраний та обґрунтований матеріал апарату.

Проведені технологічні розрахунки апарату це розрахунки матеріального та теплового балансів, конструктивні розрахунки, визначений опір апарату, вибране та розраховане допоміжне обладнання.

Зроблені конструктивні розрахунки товщин стінок апарату, розрахунки, які підтверджують надійність апарату.

Описаний монтаж і ремонт апарату та охорона праці.

Ключові слова: АПАРАТ, КОРПУС, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, МЕТАНОЛ.

Зміст

Вступ.....	4
1 Технологічна частина.....	5
1.1 Опис технологічної схеми виробництва	5
1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації	7
1.3 Опис конструкції колони і вибір матеріалів	10
2 Технологічні розрахунки процесу та апарату.....	16
2.1 Матеріальний баланс процесу.....	17
2.2 Технологічні розрахунки	18
2.3 Конструктивні розрахунки	21
2.4 Гідравлічний опір колони.....	24
2.5 Тепловий баланс установки.....	26
2.6 Вибір допоміжного устаткування	29
3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність	36
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу.....	36
3.2 Розрахунок товщини еліптичного днища	37
3.3 Розрахунок герметичності фланцевого з'єднання	37
3.4 Розрахунок опори	44
4 Будівельно-монтажна частина.....	46
4.1 Опис розміщення обладнання	46
4.2 Монтаж і ремонт апарата	47
5 Охорона праці	51
5.1 Аналіз потенційних небезпек, що виникають під час експлуатації обладнання	51
5.2 Розрахунок вентиляції операторської.....	59
Висновок.....	61
Література.....	62

Вступ

Метанол - один із найбільш значущих продуктів хімічної промисловості

Метанол - CH_4O або CH_3OH - найпростіший спирт із найнижчим вмістом вуглецю та найвищим вмістом водню серед усього рідкого палива. Є рідиною з температурою плавлення -97°C та температурою кипіння $+64,7^\circ\text{C}$ при нормальному атмосферному тиску.

Область застосування метанолу розширюється з кожним роком. Метилловий спирт (метанол) широко застосовується в хімічній фармацевтичній промисловості і для метилування, як розчинник складі політур, для денатурування етилового спирту, отримання формальдегіду, формаліну, формальдегідних смол, барвників, для вилучення речовин, як незамерзаючої рідини для радіаторів, добавки для рідкого пального. Останнім часом метанол знаходить застосування у паливних елементах, велику кількість антифризу виготовляють на основі цього спирту. В основному метанол отримують з природного газу та вугілля, а також біомаси - біорозкладної рослинної та тваринної маси та продуктів її метаболізму. Крім того, його синтезують із чорного лугу - побічного продукту паперової промисловості - і безпосередньо з CO_2 , що уловлюється на електростанціях. Метанол класифікується за "вуглецевим слідом" на коричневий, сірий, блакитний або зелений. [1]

Залежність від імпорту моторного палива нафтового походження вносить значний дисбаланс у всі сфери економіки. Водночас, Україна має всі можливості для поступового переведення транспорту на альтернативні енергоносії, серед яких слід виділити насамперед спирти, зокрема метанол. Перевагою спиртових палив є їхня близькість за основними моторними та експлуатаційними властивостями до бензину. Спирти можуть вироблятися з великої кількості органічних речовин, таких, як вугілля, деревина, природний газ, міські та сільськогосподарські відходи, а також з викидів металургійних та хімічних виробництв, що спалюються нині у факелах. [1]

Істотною перевагою застосування спиртових палив є покращення екологічної обстановки в зонах підвищеної концентрації автотранспорту. Так, при роботі двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) на метанолі значно знижуються викиди основних токсичних компонентів (оксид вуглецю, вуглеводні, що не згоріли, і оксиди азоту) при деякому збільшенні викидів альдегідів. [1]

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Ректифікаційна установка призначена для проведення масообмінних процесів в хімічній, нафтохімічній та багатьох інших галузях промисловості. [2]

Найважливішим апаратом в ректифікаційній установці є колона. Колона ректифікації в цанговому (на фланцях) виконанні корпусу витримує тиск до 1,6 Мпа, для роботи під великим тиском (до 4,0 МПа) використовуються колони з суцільнозварним корпусом. Принципова схема ректифікаційної установки представлена на рисунку 1

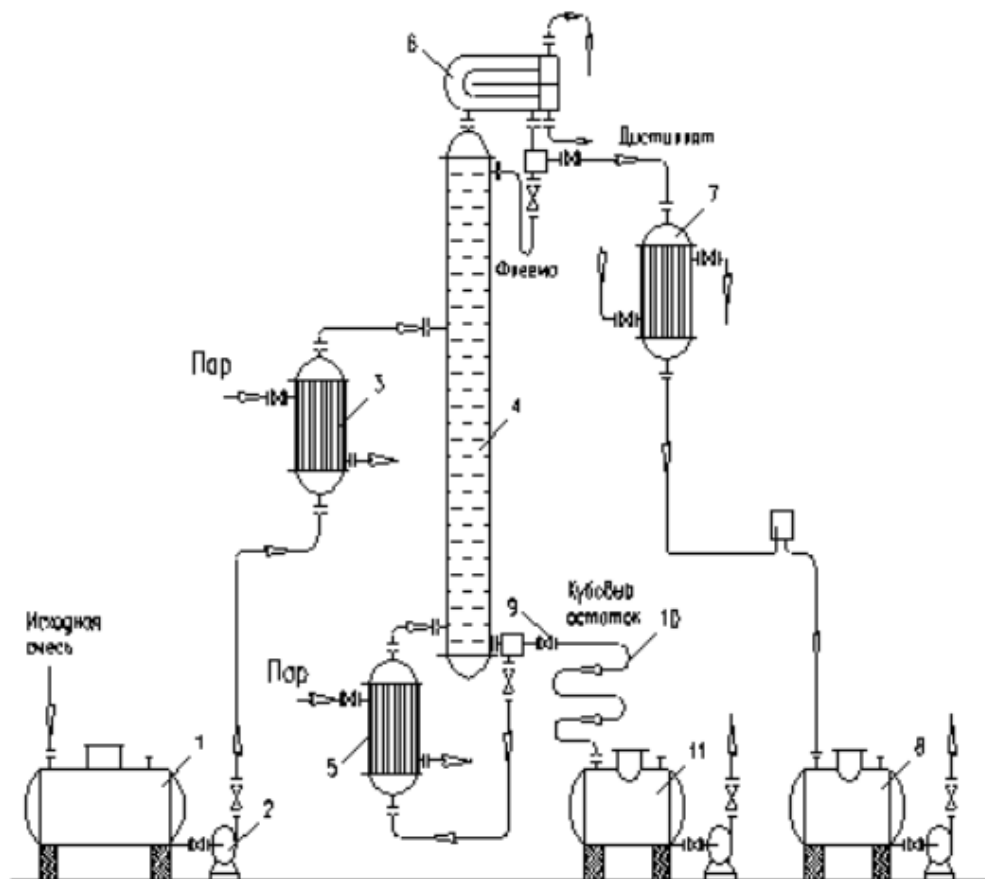


Рисунок 1 - Технологічна схема виробництва з ректифікаційною установкою

1, 8, 11 - ємності, 2 - насос відцентровий, 3 – теплообмінник початковий, 4 - ректифікації колона, 5 - випарник кубовий, 6 -

дефлегматор,

7 – теплообмінник вихідний, 9 - насос, 10 – теплообмінник кубовий.

Процес ректифікації бінарної складної суміші за наступною схемою. З емності поз. (1) відцентровим насосом поз. (2) в теплообмінник поз. (3) подається вихідна суміш складу XF. В теплообміннику поз. (3) суміш підігривається до температури кипіння та подається в колону поз. (4) на ту тарілку, на якій кипить суміш того ж складу, тобто на верхню тарілку нижньої вичерпної частини колони. Верхню частину колони ректифікації називають зміцнюючою по легколетучого компоненту (рисунок 2). [2]

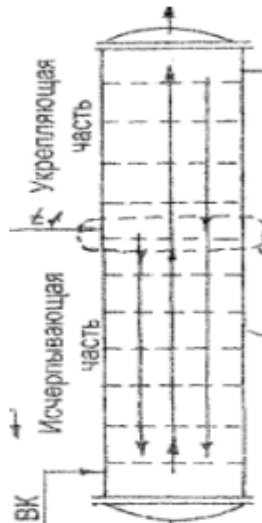


Рисунок 2 - Схема колони з позначенням вичерпної та зміцнюючої частини в середині колони (4) розташовуються контактні пристрої які мають вигляд тарілок (в даній роботі розглядається тарілкова колона). Знизу вгору по ректифікаційній колоні рухається надходить з кип'ятильника (5) (виносного куба-випарника) пар. На кожній тарілці частково пар важколетучем компонента конденсується а легколетучий компонент частково випаровується за рахунок конденсації. Склад початковий пара десь приблизно відповідає складу кубового залишку x_w , тобто пар обіднений легколетучим компонентом. Отже, виходить з куба-випарника (5) пар, представляє собою практично чистий важколетучий компонент, по міру свого руху до верху колони поступово збагачується легколетучим компонентом складита залишає колону у вигляді практично чистого пара легколетучего компонента.

Для найбільш повного збагачення верхня частина колони відповідно до заданого флегмового числа зрошується компонентаю (флегмою) складу x_r , отриманої конденсацією виходить з колони (4) пара. Конденсація пара охолоджується в охолоджуваному водою дефлегматоре (6). деяка частина конденсату у вигляді продукту готового поділу (дистиляту) виводиться з

апарату дефлегматора та охолоджується в теплообміннику (7), після чого направляється в ємність (8).

Флегма під дією сили тяжіння стікає по колоні (4), взаємодіє з парою, в наслідок чого збагачується важколетучем компонентом. Нижній продукт або кубовий залишок, збагачений важколетучем компонентом, з вичерпної частини колони насосом (9) безперервно відводиться в теплообмінник (10), де охолоджується, після чого охолоджений важколетучем компонент прямує в ємність (11). Для отримання найбільш чистих продуктів проводиться багаторазова ректифікація отриманих речовин.

Як вище сказано при ректифікації спирту головним чином застосовують сітчасті тарілки [5].

1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації [3]

Розглядаючи взаємодію пара і рідини в ректифікаційній колоні, зробимо такі припущення:

а) молярний теплоти випаровування компонентів однакові, тому кожен кілограм-моль пара при конденсації випаровує відповідно кілограм-моль рідини і, отже, молярний потік пара, що рухається в апараті від низу до верху, однаковий в будь-якому перетині апарату;

б) при конденсації пари в конденсуючому пристрої агрегату не відбувається зміни складу пара і, отже, склад пара, що виходить з ректифікаційної колони, дорівнює складу дистилляту $y_p = x_p$;

в) при випаровуванні рідини в нижній частині випарника не відбувається зміни її складу, отже, склад пари, що утворюється у випарнику, дорівнює складу залишку $y_w = x_w$;

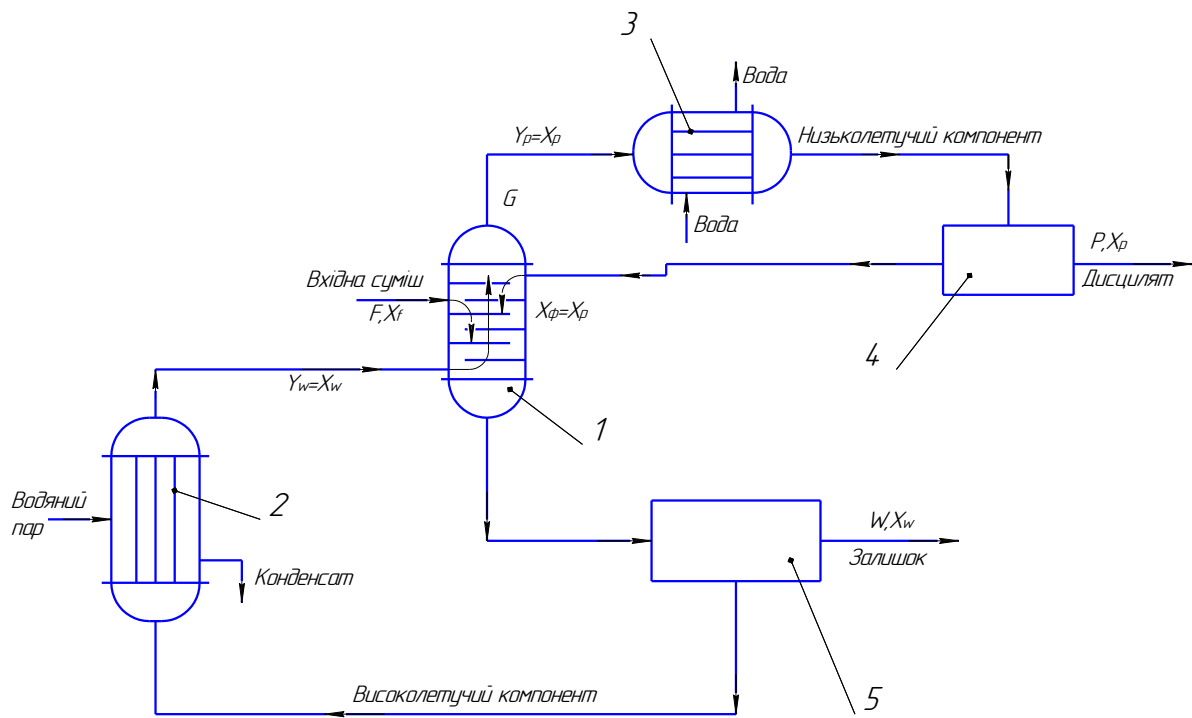


Рис. 3 Схеми роботи ректифікаційної колони

- 1 - Ректифікаційна колони, 2 – кип'ятильник, 3 – конденсатор,
4 – холодильник дистиляту, 5 – холодильник кубової рідини.

Кількість дистиляту, отриманого в конденсаторі, дорівнює кількості пара, що направляється в цей пристрій. Отриманий в конденсаторі дистилят ділиться на дві частини - одна частина направляється назад в колону (флегма), інша відбираються продуктом (дистилят).

Нехай для отримання 1 кмоль дистиляту необхідні випаровування D кмоль рідини і повернення в апарат шляхом конденсації для взаємодії з паровим потоком R кмоль. Останню величину назвемо флегмовим числом; вона являє собою відношення кількості повернутого в колону дистиляту (флегми) до кількості відібраного дистиляту у вигляді продукту.

Кількість пара, отриманого в нижній частині ректифікаційної колони, що проходить по колоні і переходить в конденсатор, званий дефлегматором, дорівнює

$$D \cdot G_p = G_p \cdot R + G_p$$

чи

$$D = R + 1$$

де G_p - кількість дистиляту в паровій фазі; R – флегмове число.

Отримане рівність доводить, що поділ суміші при ректифікації можливо в результаті взаємодії потоків парів і рідин в ректифікаційної апараті при кратності випару $(R + 1)$ і кратності конденсації R .

Для визначення флегмового числа і виведення рівнянь ліній робочих концентрацій необхідно розглянути матеріальний баланс ректифікації.

Рівняння робочої лінії. Матеріальний баланс ректифікації по летких компонентах може бути виражений загальною для всіх масообмінних процесів рівністю

$$G \cdot dy = L \cdot (-dx)$$

де G – кількість пару що підіймається; L – кількість рідини.

Нехай кількість взаємодіючих парів складе G кмоль, а рідини L кмоль. Тоді, згідно з прийнятим позначенням, $G = (R + 1) \cdot G_p$, а $L = R \cdot G_p$ – для верхньої частини ректифікаційної колони і $L = (R + F) \cdot G_p$ – для нижньої частини апарату. Таким чином, для верхньої і нижньої частин апарату рівняння матеріального балансу запишуться у вигляді

$$(R + 1)dy = R(-dx);$$

$$(R + 1)dy = (R + F)(-dx).$$

Для довільного перетину верхньої частини апарату, де робочі концентрації x і y , і верху, де концентрації x_p і y_p , отримаємо

$$(R + 1) \cdot (y_p - y) = (R + 1) \cdot (x_p - x) = R \cdot (x_p - x)$$

чи

$$y = \frac{R}{R + 1} \cdot x + \frac{x_p}{R + 1} = A \cdot x + B.$$

Для довільного перетину нижньої частини апарату, де робочі концентрації x і y , і низу, де концентрації рідини і пара x_w і y_w , отримаємо

$$(R + 1) \cdot (y - y_w) = (R + 1) \cdot (y - x_w) = (F + R) \cdot (x - x_w)$$

чи

$$y = \frac{R + F}{R + 1} \cdot x - \frac{F - 1}{R + 1} \cdot x_w = A' \cdot x + B',$$

Де F – кількість вхідної суміші.

Отримані вище рівняння є рівняннями ліній робочих концентрацій для верхньої і нижньої частини ректифікаційної колони.

Крім того, з рівняння для перетину апарату, відповідного введення вихідної суміші (x_f, y_f), і верху колони (x_p, y_p) маємо

$$(R + 1) \cdot (x_p - y_f) = R \cdot (x_p - x_f),$$

звідси

$$R = (x_p - y_f) / (y_f - x_f).$$

Де x_f, y_f – концентрація компонента у вхідній суміші; x_p, y_p – концентрація компонента у верхній частині колони. [3]

1.3 Опис конструкції колони і вибір матеріалів [2]

В основному поширені тарілчасті колони, але конструкції та типи тарілок у них найрізноманітніші і часто досить складні. Переважно використання тарілчастих колон у процесах перегонки пояснюється їх значно більшою продуктивністю порівняно з насадковими. Так, дослідні дані показують, що продуктивність насадкової колони діаметром 1,5 м дорівнює продуктивності тарілчастої, має діаметр 1 м, причому цю різницю діаметрів не компенсує навіть те, що висота тарілчастої колони при цьому збільшується [2].

При виборі типу колони ректифікації для проектованого поділу слід мати на увазі, що тарілчасті колони дуже малого діаметра значно дорожче відповідних насадочних колон, проте в міру збільшення діаметра вартість насадкових колон зростає набагато швидше; для приблизної грубої оцінки вважатимуться, що вартість насадкової колони зростає пропорційно квадрату діаметра, а ковпачкової — діаметру у першому ступені. Отже, за межами деякого граничного значення діаметра використання тарілчастих колон має бути більш економічним.

Тривалий досвід промислової експлуатації насадкових колон показав доцільність їх використання при діаметрах не більше 0,8 м. При подальшому збільшенні діаметра насадкової колони погіршується рівномірний розподіл флегми по насадці, утворюються канали, якими переважно спрямовується флегма, і ефективність колони різко знижується. Насадкові колони мають недостатню гнучкість у роботі, що виражається в необхідності порівняно великих флегмових чисел; крім того, у них важко підтримувати стабільний режим роботи.

Явище барботажа в колоні полягає у контактуванні парів і флегми шляхом пропускання висхідного парового потоку через шар рідини, що рухається тарілкою.

Найбільш поширені в практиці ковпачкові тарілчасті колони, хоча останнім часом отримали перевагу ситчасті, клапанні, лускаті та інші ефективніші види барботажних пристроїв, головним призначенням яких є максимальний розвиток поверхні міжфазового контакту, що сприяє інтенсифікації масообміну між парами та флегмою. Крім цього, вибір типу контактної пристрою визначається і такими факторами, як економія матеріалу, вартість, легкість виготовлення, чищення та ремонту, стійкість до корозії, мале падіння напору при проходженні пари, широта діапазону сталої тарілки.

У нашому випадку найбільш підходить колона з сітчастими тарілками. Вона є вертикальний циліндричний корпус з горизонтальними тарілками, у яких рівномірно по всій поверхні просвердлено значне число отворів діаметром 1-5 мм. Для зливу рідини та регулювання її рівня на тарілці служать переливні трубки, нижні кінці яких занурені у склянки.

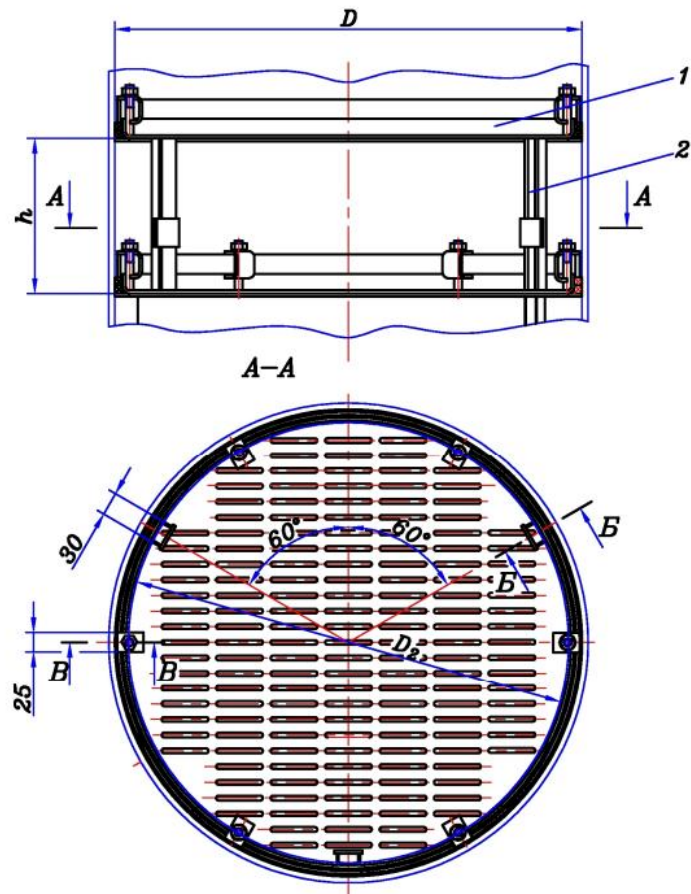
Газ проходить крізь отвори тарілки та розподіляється у рідині у вигляді дрібних струмочків та бульбашок. При занадто малій швидкості газу рідина може просочуватися (або «провальюватися») через отвори тарілки на нижчерозташовану, що повинно призвести до істотного зниження інтенсивності масопередачі. Тому газ повинен рухатися з певною швидкістю та мати тиск, достатній для того, щоб подолати тиск шару рідини на тарілці та запобігти стіканню рідини через отвори тарілки. Сітчасті тарілки відрізняються простотою пристрою, легкістю монтажу, огляду та ремонту. Гідравлічний опір цих тарілок невеликий. Сітчасті тарілки стійко працюють у досить широкому інтервалі швидкостей газу, причому в певному діапазоні навантажень по газу і рідині ці тарілки мають високу ефективність. Водночас сітчасті тарілки чутливі до забруднення та опадів, які забивають отвори тарілок. У разі раптового припинення надходження газу або значного зниження його тиску з сітчастих тарілок зливається вся рідина, і для відновлення процесу потрібно знову запускати колону.

Незважаючи на ці недоліки сітчасті тарілки більшою мірою підходять для поділу заданої суміші.

Сітчасті пристрої відносяться до тарілок без переливних пристроїв, які відрізняються тим, що злив коїпоненту здійснюється через ті ж відверстія в корпусі тарілки, через які також проходять пара або газ. На ректифікаційній тарілці одночасно із взаємодією компонента та газу або пари шляхом барботажу здійснюється перетікання компонента та на нижче розташовану тарілку – «провальювання». Тарілки такого типу називають провальними. Відсутність на ній зливних пристроїв значно спрощує конструкцію тарілки та більш повно використовується вся площа тарілки, Тарілки не мають ухилу, на них здійснюється принцип протитечії пари та компонента. Проте ректифікаційні провальні тарілки характеризуються нестабільністю роботи при більш значних коливаннях витрат компонентів та пари. [3]

Різні типи провальних тарілок лише решітчасті стандартизовані. Їх рекомендується використовувати в процесах зі стабільними завантаженнями за компонентаю та парою при переробленні компонента, суспензій, схильних до виділення осадів, а також компонента, які полімеризуються. Тарілка ректифікаційна складається із основи позиція 1 у вигляді

відбортованого плоского дна, дистанційних стрижнів позиція 2, опорного кільця позиція 3, скоб позиція 4, натискної втулки позиція 5, сальникової набивки позиція 6, стропових планок позиція 7, спеціальних шпильок М10 позиція 8, гайок позиція 9 та шайб позиція 10. Основа решітчастої ректифікаційної тарілки царгового колонного апарата приведена на рисунку. 4. [3]



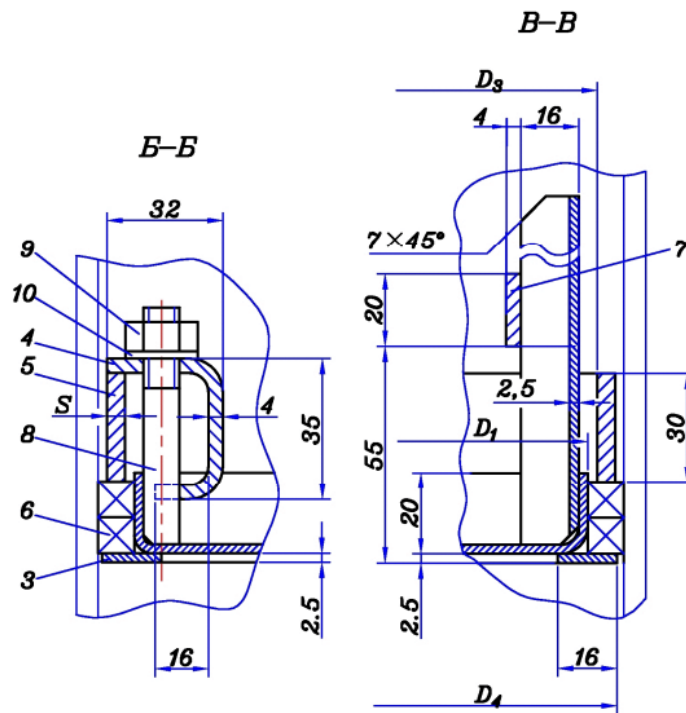


Рисунок 4 – Провальна тарілка

Розміщення та фіксація тарілок в царзі приведено на рисунку 5. Царга, яка складається з циліндричної обичайки позиція 1, фланців позиція 2, стандартних масообмінних тарілок позиція 4, тарілки позиція 5 (без опорних стійок). Нижня тарілка спирається на кронштейни позиція 3, що приварюються до внутрішньої поверхні царги. Фіксація тарілок в царзі здійснюється розкріплювального кільця позиція 6, яке фіксується в царзі болтами позиція 7 та контргайок позиція 8. До розкріплювального кільця позиція 6 приварюються упори позиція 9.

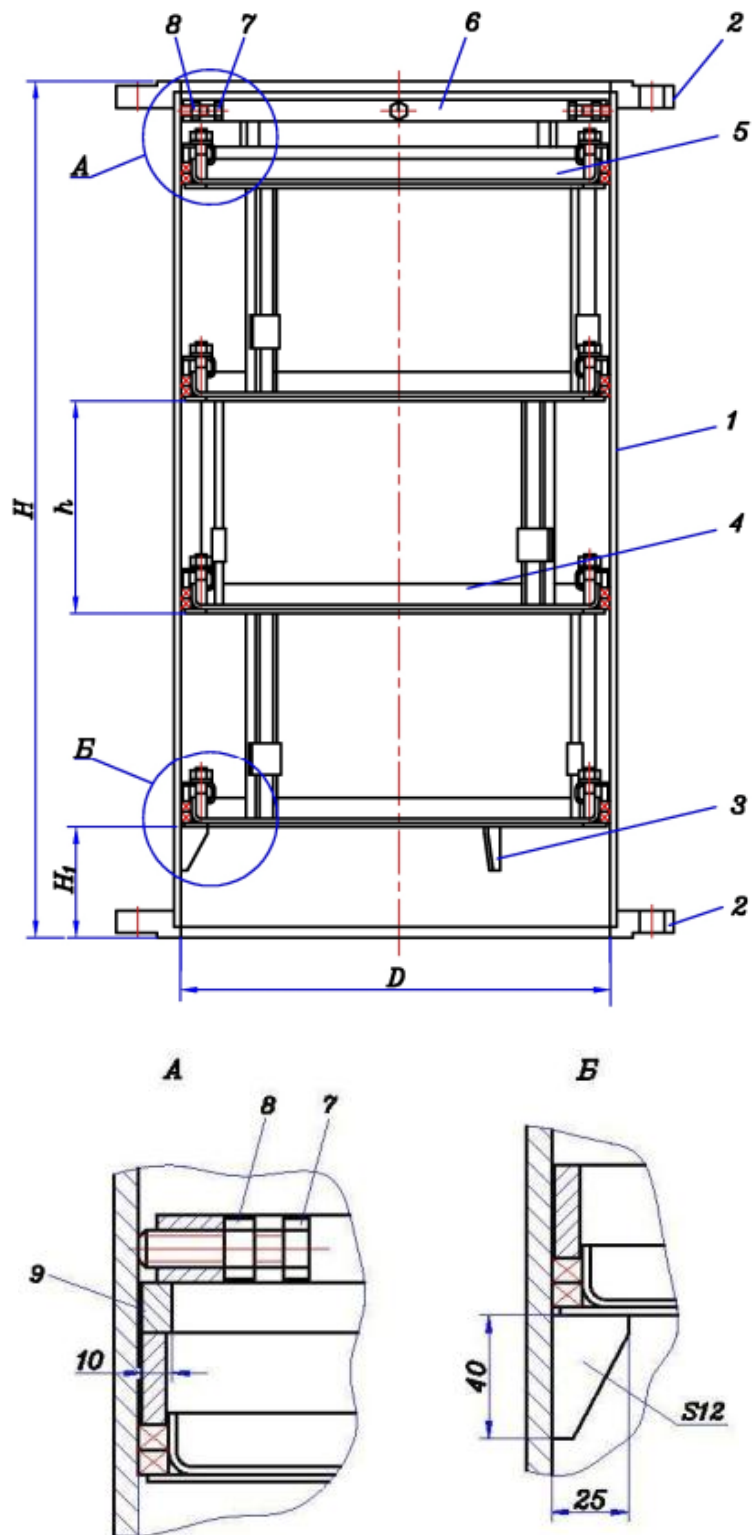


Рисунок 5 - Кріплення та розташування тарілок в царзі

По конструкції корпусів розрізняють в основному три типи колон:

- 1) корпус зібраний з окремих царг, що з'єднуються між собою фланцями на прокладці. Кришку і днище кріплять таким же способом. У такому корпусі не влаштовують люків-лазів;

2) корпус суцільнозварний; кришку кріплять за допомогою фланцевого з'єднання. Для огляду в корпусі передбачають оглядові люки;

3) корпус суцільнозварний, до нього приварюють кришку і днище. Для монтажу і демонтажу внутрішньої оснастки його обов'язково постачають люками-лазами.

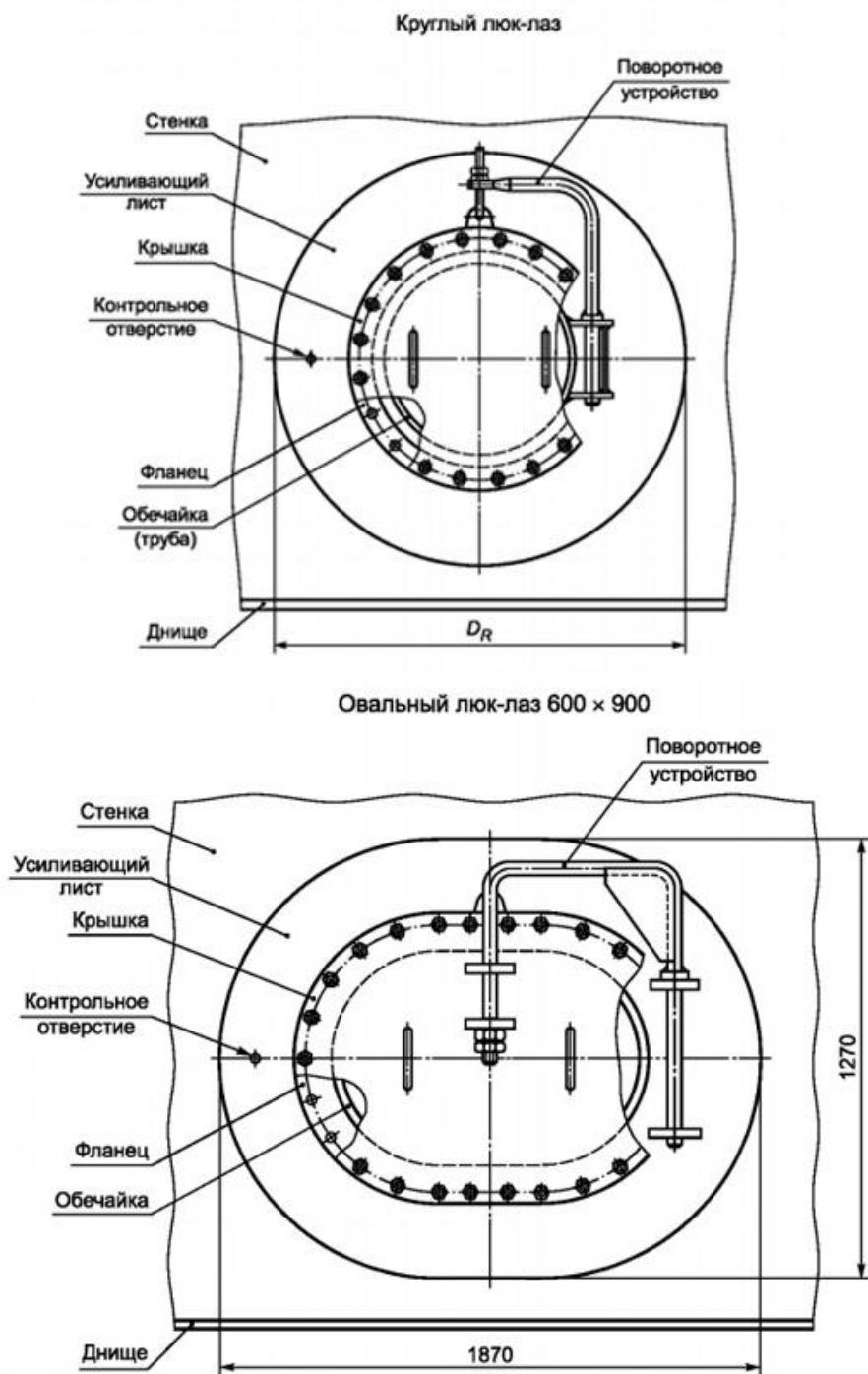


Рис.6 - Люки-лази в стінках колон

У конструкціях опор колонних апаратів необхідно передбачати лази або вікна для огляду зварних швів і полегшення обслуговування. Для колон діаметром 800 мм і більше лази повинні бути діаметром не менше 500 мм.

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості, що переробляється продукту та інше.), Слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (вироби).[1]

У цьому проекті здійснюється технологічний процес із застосуванням продукту з підвищеним вимогою до його якості в частині відсутності домішок, то для забезпечення умов роботи апарату прийнята корозійностійка сталь аустенітного класу 12X18H10T ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256 ° С до + 525 ° С для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному і гарячому стані, добре обробляється всіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1

Таблиця 1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 12X18H10T

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

До недоліків цієї сталі слід віднести те, через велику в'язкість вона гірше піддається механічній обробці. Однак, з огляду на, те що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику зварюваних елементів конструкції, то цей фактор не має істотного впливу в цілому на вартість виготовлення апарату.

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів та інші., що не мають контакту і переробляється середовищем, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 20

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E·10 ⁵ МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,23- 0,3	0,5- 0,8	0,05- 0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

Спроекувати тарільчатую колону ректифікації безперервної дії для розділення рідин бінарної суміші метанол-вода. Продуктивність по початковій суміші F 3400 кг/год. Вміст легко летучого компоненту в початковій суміші x_f 28% (мол.), в дистиляті x_p 95% (мол.), кубовому залишку x_w 3% (мол.). Початкова суміш перед подачею в колону підігривається до температури кипіння.

Розрахункова схема ректифікаційної установки

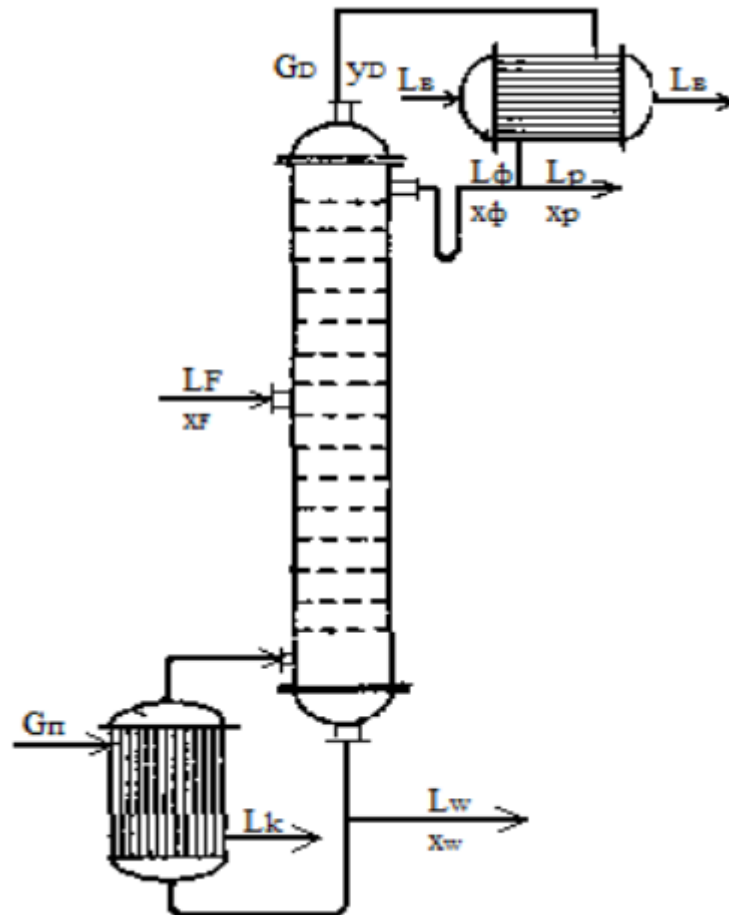


Схема 7 – Схема ректифікаційної колони

2.1 Матеріальний баланс процесу

Для складання матеріального балансу виразимо концентрації вихідної суміші, дистиляту та кубового залишку в масових долях.

Вихідна суміш:

$$\bar{X}_F = \frac{M_M x}{M_{гм}} = \frac{32 \cdot 0,28}{21,92} = 0,41 \quad (2.1)$$

$M_{см} = M_M x + M_B (1 - x) = 32 \cdot 0,28 + 18 \cdot (1 - 0,28) = 21,92$ кг/кмоль,
де $M_{см}$ – мольна маса вихідної суміші,

$M_M = 32$ кг/кмоль – мольна маса метанолу,

$M_B = 18$ кг/кмоль – мольна маса води.

Дистилят:

$$\bar{x}_p = \frac{32 \cdot 0,95}{31,3} = 0,97 \quad (2.2)$$

$$M_{cm} = 32 \cdot 0,95 + 18(1 - 0,95) = 31,3 \text{ кг/кмоль},$$

де M_{cm} – мольна маса дистиляту.

Кубовий залишок:

$$\bar{x}_w = \frac{32 \cdot 0,03}{18,4} = 0,052 \quad (2.3)$$

$$M_{cm} = 32 \cdot 0,03 + 18(1 - 0,03) = 18,4 \text{ кг/кмоль};$$

де M_{cm} – мольна маса кубового залишку.

Складання матеріального балансу. Визначення кількості дистиляту та кубового залишку.

$$L_p + L_w = L_F;$$

$$x_p L_p + x_w L_w = x_F L_F;$$

$$L_p + L_w = 3400;$$

$$0,97L_p + 0,052L_w = 0,41 \cdot 3400;$$

$$L_w = 3400 - L_p;$$

$$0,97L_p + 0,052(3400 - L_p) = 0,41 \cdot 3400;$$

$$0,970L_p - 0,052L_p + 176,8 = 1394$$

$$0,918L_p = 1217,2$$

$$L_p = \frac{1217,2}{0,918} = 1326 \text{ кг/год} - \text{продуктивність по дистиляту} \quad (2.4)$$

$$L_w = 3400 - 1326 = 2074 \text{ кг/год} \quad (2.5)$$

– продуктивність по кубовому залишку

2.2 Технологічні розрахунки

Побудова кривої рівноваги

Для побудови кривих рівноваги в діаграмі $t - x, y$ та $y - x$ використані наступні дані [1]

x	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y	0	26,8	41,8	57,9	66,5	72,9	77,9	82,5	87,0	91,5	95,8	100
t	100	92,3	87,7	81,7	78,0	75,3	73,1	71,2	69,3	67,6	66,0	64,5

Таблиця 2.1 – температури кипіння метанолу і води t-x,y

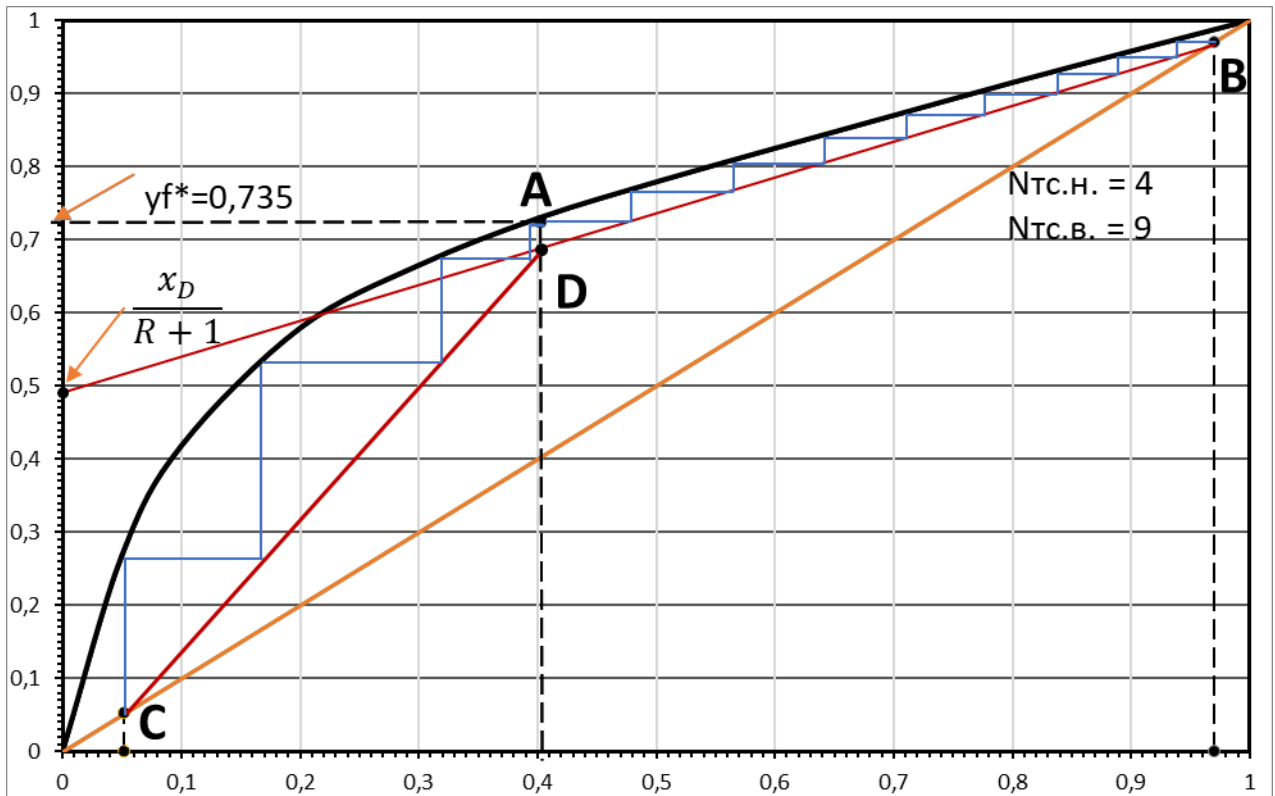


Рисунок 8 – Графічне визначення числа теоретичних тарілок
Будова робочих ліній.

Відносний мольний розхід постачання.

$$F = \frac{x_P - x_W}{x_F - x_W} = \frac{0,97 - 0,052}{0,41 - 0,052} = 2,56 \quad (2.6)$$

Мінімальне флегмове число.

$$R_{min} = \frac{x_F - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0,97 - 0,735}{0,735 - 0,41} = 0,723 \quad (2.7)$$

де $y_F^* = 0,735$ – мольна доля метанолу в паровій фазі, яка знаходиться в рівновазі з рідиною постачання, визначається по діаграмі y - x .

Робоче флегмове число.

$$R = \beta \cdot R_{min} + 0,3 = 1,3 \cdot 0,723 + 0,3 = 1,24 \quad (2.8)$$

де $\beta = 1,3$ – коефіцієнт надлишку флегми, визначається на основі дослідних даних, звичайно $\beta = 1,04 \div 1,5$.

Рівняння робочої лінії верхньої (укріплювальної) частини колони

$$y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_P}{R+1} = \frac{1,24}{1,24+1} x + \frac{0,97}{1,24+1} = 0,554x + 0,433. \quad (2.9)$$

Рівняння робочої лінії нижньої (вичерпної) частини колони.

$$y = \frac{R+F}{R+1} x - \frac{F-1}{R+1} x_W = \frac{1,24+2,56}{1,24+1} x - \frac{2,56-1}{1,24+1} \cdot 0,052 = 1,7x - 0,036. \quad (2.10)$$

Визначення середніх характеристик фаз

Середня концентрація метанолу в рідині.

У верхній частині колони:

$$x_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{x_{\text{F}} + x_{\text{P}}}{2} = \frac{0,41 + 0,97}{2} = 0,69; \quad (2.11)$$

у нижній частині колони:

$$x_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{x_{\text{F}} + x_{\text{W}}}{2} = \frac{0,41 + 0,052}{2} = 0,231. \quad (2.11)$$

Середня концентрація метанолу в паровій фазі.

Користуючись рівнянням робочих ліній, відповідно:

для верхньої частини колони

$$y_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,554x + 0,433 = 0,554 \cdot 0,69 + 0,433 = 0,815; \quad (2.12)$$

для нижньої частини колони

$$y_{\text{ср}}^{\text{н}} = 1,7x - 0,051 = 1,7 \cdot 0,231 - 0,036 = 0,3567. \quad (2.13)$$

Середні температури пару визначаємо з таблиці 2.1 (див. вище) методом інтерполяції:

При $y_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,815$; $t_{\text{ср}}^{\text{в}} = 87,7^{\circ}\text{C}$.

при $y_{\text{ср}}^{\text{н}} = 0,3567$; $t_{\text{ср}}^{\text{н}} = 100,5^{\circ}\text{C}$.

Середня температура пару в колоні

$$t_{\text{ср}} = \frac{87,7 + 100,5}{2} = 94,1^{\circ}\text{C} \quad (2.14)$$

Середні мольні маси парової фази.

Для верхньої частини колони

$$M_{\text{ср}}^{\text{в}} = y_{\text{ср}}^{\text{в}} M_{\text{M}} + (1 - y_{\text{ср}}^{\text{в}}) \cdot M_{\text{B}} \\ M_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,815 \cdot 32 + (1 - 0,815) \cdot 18 = 29,41 \text{ кг/кмоль}. \quad (2.15)$$

Для нижньої частини колони

$$M_{\text{ср}}^{\text{н}} = y_{\text{ср}}^{\text{н}} M_{\text{M}} + (1 - y_{\text{ср}}^{\text{н}}) \cdot M_{\text{B}} \\ M_{\text{ср}}^{\text{н}} = 0,3567 \cdot 32 + (1 - 0,3567) \cdot 18 = 23 \text{ кг/кмоль}. \quad (2.16)$$

Середні густини пару

Для верхньої частини колони

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{M_{\text{ср}}^{\text{в}} T_0}{22,4T} = \frac{29,41 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 87,7)} = 0,994 \text{ кг/м}^3. \quad (2.17)$$

Для нижньої частини колони

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{M_{\text{ср}}^{\text{н}} T_0}{22,4T} = \frac{23 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 100,5)} = 0,75 \text{ кг/м}^3. \quad (2.18)$$

Середня густина пару по колоні

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{(\rho_{\text{ср}}^{\text{в}} + \rho_{\text{ср}}^{\text{н}})}{2} = \frac{0,994 + 0,75}{2} = 0,872 \text{ кг/м}^3. \quad (2.19)$$

Температура рідкої фази.

на виході з колони при $x_{\text{P}} = 0,95$; $t_{\text{ж}} = 82,2^{\circ}\text{C}$;

у кубі випарювача при $x_{\text{W}} = 0,03$; $t_{\text{ж}} = 97^{\circ}\text{C}$;

середня температура рідини в колоні

$$t_{\text{рср}} = \frac{82,2 + 97}{2} = 89,6^{\circ}\text{C} \quad (2.20)$$

Середня густина рідкої фази.

Густина метанолу при $t=82,2^{\circ}\text{C}$; $\rho_{\text{м}} = 733,6 \text{ кг/м}^3$;

густина води при $t=97^{\circ}\text{C}$; $\rho_{\text{в}} = 965,1 \text{ кг/м}^3$;

Середня густина рідкої фази у колоні:

$$\rho_{\text{р}} = \frac{\rho_{\text{м}} + \rho_{\text{в}}}{2} = \frac{733,6 + 965,1}{2} = 849,3 \text{ кг/м}^3. \quad (2.21)$$

Визначення швидкості пару в колоні:

$$\omega_{\text{ср}} = c \sqrt{\frac{\rho_{\text{р}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}} \quad (2.22)$$

Приймаємо відстань між тарілками $h=400\text{мм}$. Для цієї відстані коефіцієнт $C=0,044$. Тоді

Швидкість пари верхньої частини колоні:

$$\omega_{\text{в}} = 0,044 \sqrt{\frac{733,6 - 0,872}{0,872}} = 1,275 \text{ м/с} \quad (2.23)$$

Швидкість пари нижньої частини колоні:

$$\omega_{\text{н}} = 0,044 \sqrt{\frac{965,1 - 0,872}{0,872}} = 1,463 \text{ м/с} \quad (2.24)$$

$$\omega_{\text{ср}} = 0,044 \sqrt{\frac{849,3 - 0,872}{0,872}} = 1,372 \text{ м/с}$$

2.3 Конструктивні розрахунки

Визначення діаметру апарата.

Масовий розхід пару

$$G_D = L_p(R + 1) = 1\,326 \cdot (1,24 + 1) = 2970,24 \text{ кг/год} \quad (2.25)$$

Мольна маса дистилляту

$$M_{\text{р}} = x_{\text{р}}M_{\text{м}} + (1 - x_{\text{р}})M_{\text{в}} = 0,95 \cdot 32 + (1 - 0,95) \cdot 18 = 31,3. \quad (2.26)$$

Об'ємний розхід пару через колону

$$V_D = \frac{G_D \cdot 22,4\text{T}}{3600M_{\text{р}}T_0} = \frac{2970,24 \cdot 22,4 \cdot (273 + 94,1)}{3600 \cdot 31,3 \cdot 273} = 0,815 \text{ м/с}. \quad (2.27)$$

Діаметр верхньої частини колоні

$$D_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4V_D}{\pi\omega_{\text{в}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,815}{3,14 \cdot 1,275}} = 0,9 \text{ м} \quad (2.28)$$

Діаметр нижньої частини колоні

$$D_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4V_D}{\pi\omega_{\text{н}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,815}{3,14 \cdot 1,463}} = 0,84 \text{ м} \quad (2.29)$$

Середній діаметр

$$D = \sqrt{\frac{4V_D}{\pi\omega_{\text{ср}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,815}{3,14 \cdot 1,372}} = 0,87 \text{ м} \quad (2.30)$$

Розрахований діаметр апарату округляється до найближчого з рядів нормалізованих значень та уточнюється швидкість пари в апараті – в даному випадку $D=1\text{м}$; тоді дійсні робочі швидкості пари в колоні:

$$\omega_{\text{в}} = 1,275 * \left(\frac{0,9}{1}\right)^2 = 1,032 \text{ м/с} \quad (2.31)$$

$$\omega_{\text{н}} = 1,463 * \left(\frac{0,84}{1}\right)^2 = 1,032 \text{ м/с.} \quad (2.32)$$

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{4V_D}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0,815}{3,14 \cdot 1} = 1,0377 \text{ м/с.} \quad (2.33)$$

Визначення діаметрів вхідних та вихідних штуцерів.

Діаметри штуцерів для пари.

Приймаються наступні швидкості: швидкість пари на вході і виході – $\omega_{\text{шт.п}} = 25 \text{ м/с}$, швидкість флегми і кубового залишку в вихідній суміші самопливом – $\omega_{\text{шт.ф}} = 0,4 \text{ м/с}$.

Приймаємо, що діаметри вхідного і вихідного штуцерів для пари однакові:

$$d_D = \sqrt{\frac{4V_D}{\pi \omega_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,815}{3,14 \cdot 25}} = 0,204 \text{ м.} \quad (2.34)$$

Приймаємо $d_D = 250 \text{ мм}$.

Діаметр штуцера вводу флегми.

Густину флегми приймаємо по метанолу

$\rho_{\text{м}} = 733,6 \text{ кг/м}^3$ (див. 2.21).

Масові витрати флегми

$$V_{\text{ф}} = \frac{G_D}{3600 \cdot \rho_{\text{м}}} = \frac{2970,24}{3600 \cdot 733,6} = 0,0011 \text{ кг/м}^3 \quad (2.35)$$

Діаметр штуцера

$$d_{\text{ф}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{ф}}}{3,14 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0011}{3,14 \cdot 0,4}} = 0,059 \text{ м.} \quad (2.36)$$

Приймаємо $d_{\text{ф}} = 65 \text{ мм}$.

Діаметр штуцера виводу кубового залишку.

Густину кубового залишку приймаємо по воді

$\rho_{\text{в}} = 965,1 \text{ кг/м}^3$ (див. 2.21).

Об'ємна витрата кубового залишку:

$$V_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{2074}{3600 \cdot 965,1} = 0,000597 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.37)$$

Діаметр штуцера виводу кубового залишку:

$$d_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{в}}}{3,14 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000597}{3,14 \cdot 0,4}} = 0,043 \text{ м.} \quad (2.38)$$

Приймаємо $d_{\text{в}} = 50 \text{ мм}$

Діаметр штуцера вводу вихідної суміші.

Густину вихідної суміші приблизно оцінюємо як

$\rho_F = \bar{x}_F \rho_M + (1 - \bar{x}_F) \cdot \rho_B = 0,41 \cdot 733,6 + (1 - 0,41) \cdot 965,1 = 870,1 \text{ кг/м}^3$
де $\rho_M = 733,6 \text{ кг/м}^3$, $\rho_B = 965,1 \text{ кг/м}^3$ – відповідно, густина метанолу та води при $t = 89,6^\circ\text{C}$

Об'ємні витрати вихідної суміші

$$V_F = \frac{3400}{3600 \cdot 870,1} = 0,0011 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.39)$$

Діаметр штуцера

$$d_F = \sqrt{\frac{4V_F}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0011}{3,14 \cdot 0,4}} = 0,059 \text{ м}. \quad (2.40)$$

Приймаємо $d_F = 65 \text{ мм}$.

Вибір конструкції тарілки.

Оскільки переробляються чисті рідини, що не утворюють осад, обираємо сітчасту тарілку. Для колони діаметром 1000 мм по каталогу-довіднику приймаємо одно-поточну сітчасту тарілку типу ТС за ОСТ 26-805-73 маючу наступні характеристики:

Діаметр отвору d_o -5мм;

Крок між отворами t -12мм;

Відносний вільний перетин F_c -11.2%;

Робочий перетин тарілки S_T -0,713м²;

Периметр зливу Π – 0,8м.

Визначення числа теоретичних тарілок.

За графіком (2.1) верхня частина колони $p_T^B = 9$, у нижній $p_T^H = 4$.

Визначення середнього КПД тарілок.

В'язкість рідкої фази при середній температурі в колоні $t=89,6^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \ell g \mu_{cm} &= x_F \ell g \mu_M + (1 - x_F) \cdot \ell g \mu_B = 0,28 \cdot \ell g 0,240 + (1 - 0,28) \cdot \ell g 0,315; \\ \ell g \mu_{cm} &= -0,53; \mu_{cm} = 0,273 \text{ мПа} \cdot \text{с} \end{aligned} \quad (2.41)$$

Мольний об'єм дифузної речовини (метанолу).

Визначається, як сума атомних об'ємів елементів з урахуванням структурної постійної

$$v = N_c V_c + N_H V_H + N_O V_O = 1 * 5,31 + 4 * 22,4 + 1 * 11,2 - 5,1 = 101 \quad (2.42)$$

де N_c – число атомів вуглецю;

V_c – атомний об'єм вуглецю;

N_O – число атомів кисню

V_O - атомний об'єм кисню

N_H – число атомів водню;

V_H – атомний об'єм водню

Коефіцієнт дифузії метанолу в рідкій фазі:

$$D_p = 7,4 \cdot 10^{-12} \frac{(\beta M_F)^{0,5T}}{\mu_{cm} v^{0,6}} = \frac{7,4 \cdot 10^{-12} (1,22)^{0,5(273+89,6)}}{0,273 \cdot 101^{0,6}} = 2,8937 \cdot 10^{-10} \quad (2.43)$$

M_F – мольна маса вихідної рідини.

Безрозмірний комплекс K_1

$$K_1 = \frac{\omega h_{\text{пер}} \rho_{\Pi}}{F_c \rho_p D_p} = \frac{1,038 \cdot 0,044 \cdot 0,872}{0,112 \cdot 849,3 \cdot 2,8937 \cdot 10^{-10}} = 14,46 \cdot 10^5. \quad (2.44)$$

Коефіцієнт поверхневого натягнення вихідної суміші.

Коефіцієнт поверхневого натягнення приблизно оцінюємо як

$$\sigma = 0,8\sigma_m + (1 - 0,28)\sigma_B = 0,28 \cdot 16,6 \cdot 10^{-3} + 0,72 \cdot 14,6 \cdot 10^{-3} = 15,2 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}, \quad (2.45)$$

де ($\sigma_m = 16,6 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}$; $\sigma_B = 14,6 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}$)

Безрозмірний комплекс K_2

$$K_2 = \frac{\sigma}{\omega \rho_p D_p} = \frac{15,2 \cdot 10^{-3}}{1,038 \cdot 849,3 \cdot 2,8937 \cdot 10^{-10}} = 5,96 \cdot 10^4. \quad (2.46)$$

Середній к.к.д. тарілки

$$\eta = 0,068 \cdot K_1^{0,1} \cdot K_2^{0,125} = 0,068 \cdot (1\,446\,000)^{0,1} (59\,600)^{0,125} = 1,11. \quad (2.47)$$

Число дійсних тарілок .

У верхній частині колони:

$$n^B = \frac{n_T^B}{1,11} = \frac{9}{1,11} = 8,11 \approx 8. \quad (2.48)$$

У нижній частині колони:

$$n^H = \frac{n_T^H}{1,11} = \frac{4}{1,11} = 3,6 \approx 4. \quad (2.49)$$

Загальне число тарілок $n = n^B + n^H = 8 + 4 = 12$.

З запасом приймаємо $n = 14$; $n^B = 9$; $n^H = 5$.

Визначення висоти колони.

Висота робочої (тарільчатої) частини колони:

$$H_T = (n - 1) \cdot h = (14 - 1) \cdot 0,4 = 5,2 \text{ м}. \quad (2.50)$$

Загальна висота колони:

$$H = H_T + Z_c + Z_k = 5,2 + 0,75 + 1,25 = 7,2 \text{ м}. \quad (2.51)$$

Де $Z_c = 0,75D = 0,75 \text{ м}$; та $Z_k = 1,25D = 1,25 \text{ м}$ - відповідно висоти

сепараційного простора під верхньою тарілкою та відстань між нижньою тарілкою та днищем колони згідно з рекомендаціями.

2.4 Гідравлічний опір колони.

Гідравлічний опір тарілки верхньої частини колони.

Швидкість пару в отворах тарілки:

$$w_o = \frac{w}{F_c} = \frac{1,04}{0,112} = 9,3 \text{ м/с}, \quad (2.52)$$

Опір сухої тарілки:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \xi \frac{w_o^2 \rho_{\text{сп}}^B}{2} = 1,82 \frac{9,3^2 \cdot 1}{2} = 78,7 \text{ м/с}, \quad (2.53)$$

де $\xi = 1,82$ – коефіцієнт опору незрошуваної сітчастої тарілки з обраними параметрами

Опір, обумовлений силами поверхневого натягнення:

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d_n} = \frac{4 \cdot 17,4 \cdot 10^{-3}}{0,005} = 13,9 \text{ м/с}, \quad (2.54)$$

де $\sigma = 17,4 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}$ – коефіцієнт поверхневого на тяжіння рідкої фази, (по метанолу) при $t=82,2^{\circ}\text{C}$.

Опір парорідинного шару на тарілці.

Середня мольна маса рідини в верхній частині колони:

$$\begin{aligned} M_{\text{ср}}^{\text{в}} &= x_{\text{ср}}^{\text{в}} M_{\text{м}} + (1 - x_{\text{ср}}^{\text{в}}) M_{\text{в}} = \\ &= 0,615 \cdot 32 + (1 - 0,615) \cdot 18 = 26,6 \text{ кг/кмоль}. \end{aligned} \quad (2.55)$$

Об'ємна витрата рідини в верхній частині колони:

$$V_{\text{р}}^{\text{в}} = \frac{G_{\text{D}} M_{\text{ср}}^{\text{в}}}{M_{\text{р}} P_{\text{р}}} = \frac{2970,24 \cdot 26,6}{3600 \cdot 31,3 \cdot 849,3} = 0,000826 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.56)$$

де $G_{\text{D}} = 2970,24$; $M_{\text{р}} = 31,3$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{V_{\text{р}}^{\text{в}}}{1,8\Pi k} \right)^{2/3} = \left(\frac{0,000826}{1,8 \cdot 0,8 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 0,011 \text{ м}, \quad (2.57)$$

де $\Pi = 0,8 \text{ м}$ - периметр зливу

k - відношення густини парорідинного шару та густини рідини, приймається 0,5.

Висота парорідинного шару:

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{пер}} + \Delta h = 0,044 + 0,011 = 0,055 \text{ м}. \quad (2.58)$$

Опір парорідинного шару:

$$\Delta p_{\text{пр}} = 1,3 h_{\text{пр}} k \rho_{\text{р}} g = 1,3 \cdot 0,055 \cdot 0,5 \cdot 849,3 \cdot 9,81 = 297,9 \text{ н/м}^2. \quad (2.59)$$

Загальний опір тарілки:

$$\Delta p^{\text{в}} = \Delta p_{\text{сух}} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{\text{пр}} = 78,7 + 13,9 + 297,9 = 390,5 \text{ н/м}^2 \quad (2.60)$$

Гідравлічний опір тарілки в нижній частині колони.

Опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{\text{сух}} = \xi \frac{w_0^2 \rho_{\text{ср}}^{\text{H}}}{2} = 1,82 \frac{9,3^2 \cdot 0,75}{2} = 59 \text{ н/м}^2. \quad (2.61)$$

Опір, обумовлений силами поверхневого натягнення.

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d_n} = \frac{4 \cdot 58 \cdot 10^{-3}}{0,005} = 46,4 \text{ н/м}^2, \quad (2.62)$$

де $\sigma = 58 \cdot 10^{-3} \text{ н/м}^2$ коефіцієнт поверхневого натягнення рідкої фази (по воді) при $t=97^{\circ}\text{C}$.

Опір парорідинного шару на тарілці.

Середня мольна маса рідини в нижній частині колони:

$$M_{cp} = x_{cp}^H M_M + (1 - x_{cp}^H) \cdot M_B =$$

$$= 0,155 \cdot 32 + (1 - 0,155) \cdot 18 = 20,2 \text{ кг/кмоль}. \quad (2.63)$$

Об'ємна витрата рідини в нижній частині колони:

$$V_P^H = \frac{G_D M_{cp}^H}{M_p P_p} = \frac{2970,24 \cdot 20,2}{3600 \cdot 31,3 \cdot 849,3} = 0,00626 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.64)$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{V_P^H}{1,8 \text{ Пк}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0,00626}{1,8 \cdot 0,8 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 0,042 \text{ м}. \quad (2.65)$$

Висота парорідинного шару:

$$h_{пп} = h_{пер} + \Delta h = 0,044 + 0,042 = 0,086 \text{ м}. \quad (2.66)$$

Опір парорідинного шару:

$$\Delta p_{пп} = 1,3 h_{пп} k \rho_p g = 1,3 \cdot 0,086 \cdot 0,5 \cdot 849,3 \cdot 9,81 = 465,7 \text{ н/м}^2. \quad (2.67)$$

Загальний опір тарілки:

$$\Delta p^H = \Delta p_{сух} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{пп} = 59 + 46,4 + 465,7 = 571,1 \text{ н/м}^2 \quad (2.68)$$

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta P_r = \Delta p^B n_B + \Delta p^H n_H = 390,5 \cdot 9 + 571,1 \cdot 5 = 6370 \text{ н/м}^2 \quad (2.69)$$

2.5 Тепловий баланс установки

Витрата теплоти, що віддається охолоджувальній воді в дефлегматорі

$$Q_d = G_D \cdot (1 + R) \cdot r_D, \quad (2.70)$$

$$Q_d = 1,55 \cdot (1 + 3,7) \cdot 532 = 752 \text{ кВт},$$

Тут

$$r_D = \bar{x}_D \cdot r_m + (1 - \bar{x}_D) \cdot r_w, \quad (2.71)$$

$$r_D = 0,96 \cdot 515 + 0,04 \cdot 876 = 532 \text{ кДж/кг},$$

питомі теплоти конденсації метанолу та води при 66°C.

Витрата теплоти, що отримується в кубі-випарнику від пари, що гріє

$$Q_k = Q_d + G_D \cdot C_D \cdot t_D + G_W \cdot C_W \cdot t_W - G_F \cdot C_F \cdot t_F + Q_{пот} \quad (2.72)$$

$$Q_k = 1,03 \cdot (752 + 1,55 \cdot 2,129 \cdot 66 + 1,78 \cdot 3,222 \cdot 97 - 3,3 \cdot 2,776 \cdot 75) = 803 \text{ кВт}.$$

Тут теплові втрати $Q_{пот}$ прийняті в розмірі 3% від корисно витрачається теплоти; питомі теплоємності взяті відповідно при $t_D = 66^\circ \text{C}$, $t_W = 97^\circ \text{C}$ і $t_F = 75^\circ \text{C}$; температура кипіння визначена по таблиці 2.1.

Витрата теплоти в паровому підігрівачі вихідної суміші:

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot C_F \cdot (t_F - t_H), \quad (2.73)$$

$$Q = 1,05 \cdot 3,3 \cdot 2,585 \cdot (75 - 20) = 163 \text{ кВт.}$$

Тут теплові втрати прийняті в розмірі 5%, питома теплоємність вихідної суміші

$$C_F = \bar{x}_F \cdot C_m + (1 - \bar{x}_F) \cdot C_g, \quad (2.74)$$

$$C_F = 0,49 \cdot 2,242 + 0,514 \cdot 2,715 = 2,585 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К},$$

Обрана при температурі

$$t_{cp} = \frac{t_F + t_H}{2} = \frac{75 + 20}{2} = 47,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючої воді у водяному холодильнику дистилляту

$$Q = G_D \cdot C_D \cdot (t_D - t_K), \quad (2.75)$$

$$Q = 1,55 \cdot 2,242 \cdot (66 - 25) = 25 \text{ кВт},$$

де питома теплоємність дистилляту $C_D = 1,802 \text{ кДж / кг} \times \text{К}$ взята при середній температурі

$$t_{cp} = \frac{66 + 25}{2} = 45,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючої воді у водяному холодильнику кубового залишку:

$$Q = G_W \cdot C_W \cdot (t_W - t_K), \quad (2.76)$$

$$Q = 1,78 \cdot 2,032 \cdot (97 - 25) = 131 \text{ кВт},$$

де питома теплоємність кубового залишку $C_W = 2,032 \text{ кДж / кг} \times \text{К}$ взята при середній температурі

$$t_{cp} = \frac{97 + 25}{2} = 61,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Витрата що гріє пара, що має тиск рабс = 4 ат і вологість 5%:

а) в кубі-випарнику

$$G_{гп} = \frac{Q_K}{r_{гп} \cdot x}, \quad (2.77)$$

$$G_{гп} = \frac{803}{2141 \cdot 0,95} = 0,39 \text{ кг/с},$$

де гп = 2141 кДж / кг - питома теплота конденсації пари, що гріє;

б) в підігрівачі вихідної суміші

$$G_{гп} = \frac{Q_F}{r_{гп} \cdot x} = \frac{163}{2141 \cdot 0,95} = 0,08 \text{ кг/с}.$$

Всього

$$G_{гп} = 0,39 + 0,08 = 0,47 \text{ кг/с}.$$

Витрата охолоджуючої води при нагріванні її на ° С:

а) в дефлегматоре

$$V_B = \frac{Q_d}{c_B \cdot \Delta t \cdot \rho_B}; \quad (2.78)$$

$$V_B = \frac{752}{4,19 \cdot 20 \cdot 1000} = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

б) у водяному холодильнику дистилляту

$$V_B = \frac{Q}{c_B \cdot \Delta t \cdot \rho_B} = \frac{25}{4,19 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

в) у водяному холодильнику кубового залишку

$$V_B = \frac{131}{4,19 \cdot 20 \cdot 1000} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Всього

$$V_B = (9,0 + 0,3 + 1,6) \cdot 10^{-3} = 10,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

2.6 Вибір допоміжного устаткування

Розрахунок кубового окропу

Температурні умови процесу:

Кубовий залишок кипить при 98°C за рахунок теплоти конденсації пари. Відповідно до завдання тиск пари $P = 3 \text{ кг/см}^2$, отже температура конденсації $t_k = 142,9^{\circ}\text{C}$ та середня різниця температур

$$\Delta t_{\text{ср}} = 142,9 - 98 = 44,9^{\circ}\text{C}$$

Теплове навантаження окропу $Q_k = 270 \text{ кВт}$

Приймаємо для розрахунку виносний куб із труб $d = 25 \times 2 \text{ мм}$ довжиною

$$l = 2000 \text{ мм.}$$

Визначення коефіцієнта теплопередачі.

Приймаємо теплову провідність забруднень з боку пари, що конденсує

$$\frac{1}{r_{\text{загр1}}} = 5000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}},$$

а з боку кубового залишку (майже чистої води)

$$\frac{1}{r_{\text{загр2}}} = 4000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \quad [3, \text{ с } \quad]$$

Теплопровідність сталі $\lambda = 46,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$

Таким чином

$$\Sigma r_{\text{ст}} = r_{\text{загр1}} + r_{\text{загр2}} + r_{\text{ст}} \quad (2.79)$$

$$\Sigma r_{\text{ст}} = \frac{1}{500} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{4000} = 5 \times 10^{-4} \frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку конденсації пари визначаємо за формулою [8, с 22]

$$\alpha_{\text{конд}} = 2,04 \times A \times \left(\frac{r}{H \times \Delta t_1} \right)^{0,25}, \quad (2.80)$$

де:

A для води береться за температури плівки конденсату ($t_{\text{пл}}$)

$$t_{\text{пл}} = \frac{t_{\text{нас}} + t_{\text{ст}}}{2}$$

r - теплота конденсації (при $t_{\text{нас}} = 142,9^{\circ}\text{C}$ $r = 2141 \times 10^3 \text{ Дж/кг}$)

$$\Delta t_1 = t_{\text{нас}} - t_{\text{ст}}$$

H - висота труб, м.

При $H = 2 \text{ м}$

$$\alpha_{\text{кюю}} = 2,04 \times A \times \left(\frac{2141 \times 10^3}{2 \times \Delta t_1} \right)^{0,25} = 66 \times A \times \Delta t_1^{0,25} \left(\frac{Вт}{м^2 \times К} \right) \quad (2.81)$$

87] Коефіцієнт тепловіддачі з боку киплячого кубового залишку [8, с.

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \times \varphi \times P^{0,4} \times q^{0,7} \quad (2.82)$$

Для води $\varphi=1$.
При $P \approx 1 \text{ кг/см}^2$

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \times q^{0,7} \frac{Вт}{м^2 \times К} \quad (2.83)$$

При процесі теплообміну, що встановився.

$$q_{\text{конд}} = q_{\text{ст}} = q_{\text{кип}}$$

$$q_{\text{конд}} = \alpha_{\text{конд}} (t_{\text{конд}} - t_{\text{ст1}}) \quad (2.84)$$

$$q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{ст1}} - t_{\text{ст2}}}{\sum r_{\text{ст}}} \quad (2.85)$$

$$q_{\text{кип}} = \alpha_{\text{кип}} (t_{\text{ст2}} - t_{\text{кип}}) \quad (2.86)$$

В даному випадку $\alpha_{\text{конд}} = f(t_{\text{ст1}})$, а $\alpha_{\text{кип}} = f(q)$

Так як $t_{\text{ст1}}$ і q заздалегідь невідомі, далі вважаємо методом послідовних наближень, тобто. за різними значеннями $t_{\text{ст}}$ знаходимо залежність $(t_{\text{ст}} - q)$. Величина $t_{\text{ст}}$ знаходиться в межах $142,9 - 98 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розрахунок ведемо за таблицею

Будуємо графіки залежності $q_{\text{конд}}$ і $q_{\text{кип}}$ от $t_{\text{ст}}$ (рисунок 2.13) за даними таблиці 5.

Точки перетину прямих для $(q_{\text{конд}})$ і $(q_{\text{кип}})$ дають:

$$t_{\text{ст1}} = 136^\circ\text{C}; \quad q_{\text{ср1}} = 54000 \text{ Вт/м}^2$$

Перевірочний розрахунок за тієї ж температури дає:

$$q_{\text{ср2}} = \frac{q_{\text{конд3}} + q_{\text{кип3}}}{2} = \frac{54510 + 57780}{2} = 56145 \frac{Вт}{м^2}$$

$$q_{\text{ср}} = \frac{q_{\text{ср1}} + q_{\text{ср2}}}{2}$$

$$q_{\text{ср}} = \frac{54000 + 56145}{2} = 55072 \frac{Вт}{м^2}$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{q_{\text{ср}}}{\Delta t_{\text{ср}}} \quad (2.87)$$

$$k = \frac{55072}{44,9} = 1227 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Необхідна поверхня теплообміну (F)

$$F = \frac{Q_{\kappa}}{\kappa \times \Delta t_{cp}} = \frac{Q_{\kappa}}{q_{cp}} \quad (2.88)$$

$$F = \frac{270000}{55072} = 4,9 \text{ м}^2$$

За таблицею П.3 [2, с 78] вибираємо кожухотрубний теплообмінник з параметрами:

поверхні теплообміну $F = 6 \text{ м}^2$

діаметр кожуха $D = 273 \text{ мм}$

діаметр труб $d_{\tau} = 25 \times 2$

кількість ходів $z = 1$

загальна кількість труб $n = 37$

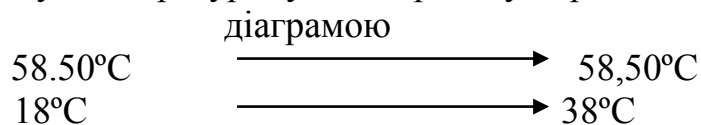
довжина труб, м $l = 2,0$

2.6.2 Розрахунок дефлегматора

У дефлегматорі конденсується $G_{\text{д}} = 0,37 \text{ кг/с}$ парів ацетону за рахунок нагрівання води на 20°C .

Приймаємо, що вода, що охолоджує, нагрівається в дефлегматорі від 18 до 38°C .

У цьому випадку температурні умови процесу виражаються наступною



$$\Delta t_{\text{н}} = 40,5^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{к}} = 20,5^{\circ}\text{C}$$

Ставлення

$$\frac{\Delta t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{к}}} = \frac{40,5}{20,5} = 1,97 < 2$$

Отже

$$\Delta t_{cp} = \frac{40,5 + 20,5}{2} = 30,5^{\circ}\text{C}$$

Середня температура води

$$t_{cp} = \frac{38 + 18}{2} = 28^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{д}} = 194 \text{ кВт}$$

Розраховуємо, скільки труб розміром $25 \times 2 \text{ мм}$ знадобиться на один хід у трубному просторі при турбулентному режимі руху води.

Приймаємо критерій $Re = 20000$.
З виразів [3, с 22]

$$Re = \frac{\omega \times d \times \rho}{\mu} \quad (2.89)$$

$$(2.90) \quad \omega = \frac{G_6}{3600 \times 0,785 \times d^2 \times n \times \rho}$$

Визначаємо кількість труб (n)

$$n = \frac{G_6}{3600 \times Re \times 0,785 \times \mu \times d},$$

де:

$G_6 = 8334$ кг/ година береться із попередніх розрахунків
 $\mu = 0,853 \times 10^{-3}$ Н·с/м² – в'язкість води при 28°C

$$n = \frac{8334}{3600 \times 20000 \times 0,785 \times 0,853 \times 10^{-3} \times 0,021} = 8$$

Вибираємо для розрахунку теплообмінник кожухотрубний.
Знаходимо величину критерію

$$\text{Рейнольдса } Re = \frac{\omega \times d \times \rho}{\mu} = \frac{G_6}{3600 \times 0,785 \times \mu \times d \times n};$$

$$Re = \frac{8334}{3600 \times 0,785 \times 0,853 \times 0,021 \times 10^{-3} \times 8} = 20600$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі з боку води, що охолоджує, при турбулентному режимі [3, з 252]

$$Nu = 0,021 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,43} \times \left(\frac{Pr}{Pr_{2cm}} \right)^{0,25} \quad (2.91)$$

$$\text{звідки} \quad \alpha_6 = \frac{\lambda}{d} \times Re^{0,8} \times Pr^{0,43} \times \left(\frac{Pr}{Pr_{2cm}} \right)^{0,25} \times 0,021 \quad (2.92)$$

$$\alpha_6 = \frac{0,615}{0,021} \times 20600^{0,8} \times 5,8^{0,43} \times 0,021 = 3700 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$$

де:

$\lambda = 0,615$ Вт/м·гр - теплопровідність води при $t_{cp} = 28^\circ\text{C}$ [3, с 62]

Pr - критерій Прандтля для води за тієї ж температури.

Значення $\left(\frac{Pr}{Pr_{2cm}} \right)^{0,25}$ не враховуємо.

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі з боку пари, що конденсує (дистиляту) [8, с. 91]

$$\alpha_{\text{конд}} = E_{\text{ср}} \times \alpha, \quad (2.93)$$

де:

α - коефіцієнт тепловіддачі для одиночної горизонтальної труби

$E_{\text{ср}}$ - середній коефіцієнт для пучка труб

Для одиночної горизонтальної труби

$$\alpha = 2,02 \times \lambda \times \sqrt[3]{\frac{\rho^2 \times l}{\mu \times G_{\text{д}}}}, \quad (2.94)$$

де:

λ - теплопровідність конденсату,

ρ - Щільність конденсату, $\rho_{\text{x}} = 750 \text{ кг/м}^3$,

μ - в'язкість конденсату,

l - довжина горизонтальної труби, м

Приймаємо $l = 1,5 \text{ м}$

$G_{\text{д}}$ - витрата конденсуючого дистилляту

$$G_{\text{д}} = 0,17 \text{ кг/с}$$

Значення λ , ρ , μ треба брати за температури плівки конденсату

$$t_{\text{пл}} = \frac{t_{\text{конд}} + t_{\text{см1}}}{2},$$

де:

$t_{\text{ст1}}$ - температура стінки з боку пари, що конденсує.

В

цьому

випадку

$$\alpha = 2,02 \times \lambda \times \sqrt[3]{\frac{750^2 \times 1,5}{\mu \times 0,37}} = 266 \sqrt[3]{\frac{\lambda^3}{\mu}} \text{ Вт/м}^2 \times \text{К} \quad (2.95)$$

Опір стінки та забруднень [3, с]

$$\sum r_{\text{см}} = r_{\text{загр}} + \frac{\delta_{\text{см}}}{\lambda_{\text{см}}} + r_{\text{загр2}}, \quad (2.96)$$

де:

$\delta_{\text{ст}}$ - товщина стінки труби, рівна 0,004 м

$\lambda_{\text{ст}}$ - теплопровідність сталеві стінки, рівна 46,5 Вт/м·К [3, с]

$r_{\text{загр1}}$ і $r_{\text{загр2}}$ - прийняті опори забруднень з боку пари та води

$$\sum r_{\text{см}} = \frac{1}{10000} + \frac{0,004}{46,5} + \frac{1}{2000} = 6,86 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$$

Визначення питомого теплового навантаження [8, с]

При тепловому потоці, що встановився

$$Q = q_{\text{конд}} = q_{\text{ст}} = q_{\text{в}}, \quad (2.97)$$

тобто

$$\alpha_{\text{конд}} \times (t_{\text{конд}} - t_{\text{см}}) = \sum r_{\text{см}} \times (t_{\text{см1}} - t_{\text{см2}}) = \alpha_{\text{в}} \times (t_{\text{см2}} - t_{\text{в}}), \quad (2.98)$$

де:

$t_{\text{ст1}}$ - температура стінки з боку пари,

$t_{ст2}$ - температура стінки з боку води.

Так як $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$ заздалегідь невідомі, то задаючи $t_{ст1}$ або $t_{ст2}$ визначаємо (q) методом послідовних наближень.

Перший розрахунок проводимо за

$$t_{cm1} = 0,5 \times \left(\frac{t_{н1} + t_{к1}}{2} + \frac{t_{н2} + t_{к2}}{2} \right), \quad (2.99)$$

де:

$t_{н1}, t_{н2}$ - початкові температури теплоносіїв,

$t_{к1}, t_{к2}$ - кінцеві температури теплоносія.

$$t_{cm1} = 0,5 \times \left(\frac{18 + 38}{2} + \frac{58,5 + 58,5}{2} \right) = 43^\circ\text{C}$$

$$t_{пл} = 0,5 \times (t_{конд} + t_{ст1}) = 0,5 \times (58,5 + 43) = 51^\circ\text{C}$$

При цій температурі ($t_{пл} = 51^\circ\text{C}$)

$$\alpha_{конд} = 266 \sqrt[3]{\frac{\lambda^3}{\mu}} = 266 \sqrt[3]{\frac{0,163^3}{0,25 \times 10^{-3}}} = 688 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К},$$

де:

μ - за монограмою ([3, с. 596] малюнок V) при $t = 51^\circ\text{C}$, ($\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$);

λ - за монограмою ([3, с. 601] малюнок X) для ацетону

$$0,14 \times 1,163 = 0,163 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_1 = t_{конд} - t_{ст1} = 58,5 - 43 = 15,5 \text{ К}$$

$$q_{конд} = \alpha_{конд} \times \Delta t_1 = 688 \times 15,5 = 10670 \text{ Вт/м}^2$$

$$\Delta t_{ст} = q_{конд} \times \sum r_{ст} = 10670 \times 6,86 \times 10^{-4} = 7,3^\circ\text{C}$$

$$t_{ст2} = t_{ст1} - \Delta t_{ст} = 43 - 7,5 = 35,7^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{в} = 3700 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_2 = t_{ст2} - t_{в\text{ ср}} = 35,7 - 28 = 7,7 \text{ К}$$

$$q_{в} = \alpha_{в} \times \Delta t_2 = 3700 \times 7,7 = 28490 \text{ Вт/м}^2$$

Так як $q_{конд}$ менше $q_{в}$, другий розрахунок проводимо при $t_{ст1} < 43^\circ\text{C}$

Приймаємо $t_{ст1} = 40^\circ\text{C}$

Подальший розрахунок наведено в таблиці (див. лист)

Відповідно до другого розрахунку $q_{конд} = 13000 \text{ Вт/м}^2$, $q_{в} = 11470 \text{ Вт/м}^2$

Отже

$$q_{ср} = \frac{13000 + 11470}{2} = 12235 \text{ Вт/м}^2$$

Необхідна поверхня теплообміну

$$F = \frac{Q_{\text{Д}}}{q_{\text{ср}}} \quad (2.100)$$

$$F = \frac{194000}{12235} = 15,8 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$\kappa = \frac{q_{\text{ср}}}{\Delta t_{\text{ср}}} \quad (2.101)$$

$$\kappa = \frac{12235}{30,5} = 401 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$$

За таблицею П.3 [2, с. 25] вибираємо кожухотрубний холодильник з наступною характеристикою:

Діаметр теплообмінних труб, мм	– 25 x 2
Число ходів	– 1
Діаметр кожуха, мм	– 400
Число труб в апараті	– 111
Поверхня теплообміну, м ²	– 17

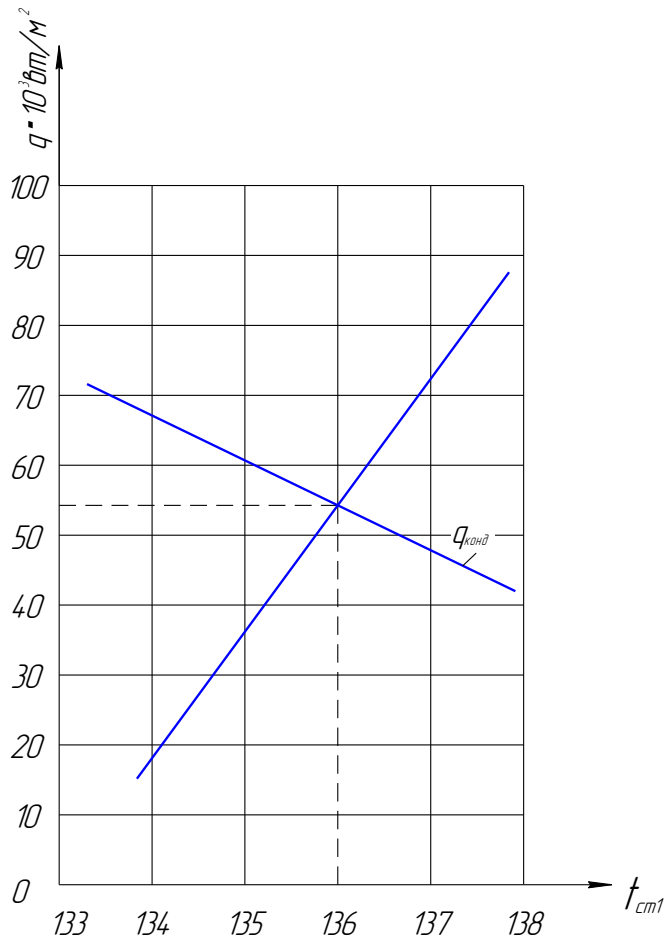


Рисунок 9 – Визначення $t_{\text{ср}}$ і $q_{\text{ср}}$.

3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність

3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу

Товщина стінки обичайки обчислюється за формулою:

$$S \geq \max \left\{ \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p}, \frac{p_{\text{в}} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_{\text{в}}] - p_{\text{в}}} \right\} + c \quad (3.1)$$

Де p – розрахунковий тиск, який враховує робочий тиск і гідравлічний опір:

$$p = [p] + \Delta P_r = 0,1 + (7,2 \cdot 849,3 \cdot 9,81) \cdot 10^{-6} = 0,16 \text{ МПа}$$

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання). Напруга для сталі 08X18H10T при $t = 20$ та робочої $t = 100$ °С:

$$\sigma_{20} = 168 \text{ МПа}; \sigma = 156 \text{ МПа.}$$

Розрахункове максимальне напруження для сталі 08X18H10T

$$\sigma_{\text{пл}} = 252 \text{ МПа.}$$

Надбавка до розрахункової товщини:

$$c = \Pi \cdot \tau = 0,02 \cdot 30 = 0,6 \text{ мм}$$

де Π – проникність корозії, мм/рік ; τ – термін служби апарату

Максимально допустиме напруження:

$$[\sigma]_{\text{в}} = \frac{\sigma_{\text{пл}}}{1,1} = \frac{252}{1,1} = 229 \text{ МПа} \quad (3.2)$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях:

$$p_{\text{в}} = \max \left\{ 1,5 \cdot p \cdot \frac{\sigma_{20}}{[\sigma]}, 0,2 \right\}$$

де p – атмосферний тиск

$$p_{\text{в}} = \max \left\{ 1,5 \cdot 0,16 \cdot \frac{168}{156}, 0,2 \right\} = \left\{ 0,26, 0,2 \right\} = 0,26 \text{ МПа} \quad (3.3)$$

$$S \geq \max \left\{ \frac{0,16 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 156 - 0,16}, \frac{0,26 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 229 - 0,26} \right\} + 0,06 = \left\{ 0,57, 0,63 \right\} + 0,06 \text{ мм} = 0,69 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки $s = 10$ мм мінімальну для діаметру $D = 1000$ мм

$$\frac{10-0,06}{1000} = 0,01 < 0,1 - \text{умова виконується} \quad (3.4)$$

3.2 Розрахунок товщини еліптичного днища

Товщина еліптичного днища і кришки визначаємо за формулою:

$$S \geq \max \left\{ \frac{p * D}{2 * \varphi * [\sigma] - 0,5p} - \frac{p_B * D}{2 * \varphi * [\sigma]_B - 0,5p_B} \right\} + c$$

$$S \geq \max \left\{ \frac{p * D}{2 * \varphi * [\sigma] - 0,5p} - \frac{p_B * D}{2 * \varphi * [\sigma] - 0,5p_B} \right\} + c = \max \left\{ \frac{0,16 * 1000}{2 * 0,9 * 156 - 0,5 * 0,16} - \frac{0,26 * 1000}{2 * 0,9 * 229 - 0,5 * 0,26} \right\} + 0,06$$

$$S \geq \max \left\{ \begin{matrix} 0,57 \\ 0,631 \end{matrix} \right\} + 0,06 = 0,69 \text{ мм} \quad (3.5)$$

Приймаємо товщину кришки рівній товщині обичайки $s = 10 \text{ мм}$

3.3 Розрахунок герметичності фланцевого з'єднання

Приймаємо стандартній плоский приварний фланець типу виступ-западина зі сталі 12Х18Н10Т з наступними параметрами:

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку фланцевого з'єднання

	Найменування параметру	Од. вим.	Умовн. позн.	Значення
1.	Умови експлуатації:			
	Температура фланців	°С	t_f	100
	Температура болтів	°С	t_b	97
	Внутрішній тиск	МПа	p	1,6
2.	Геометричні параметри фланця:			
	Внутрішній діаметр	м	D	1,020
	Зовнішній діаметр	м	D_f	1,255
	Діаметр болтової окружності	м	D_b	1,170
	Товщина фланців	м	h_f	0,058
	Товщина стінки апарату	м	S_0	0,012
3.	Параметри прокладки:			
	Матеріал прокладки	-		паронит
	Зовнішній діаметр прокладки	м	D_3	1,232
	Ширина прокладки	м	b	0,015
	Товщина прокладки	м	h	0,005

	Коефіцієнт	-	m	2,5
	Мінімальний тиск обтискання	МПа	q	20
	Допустимий тиск на прокладку	МПа	[q]	130
	Модуль повздовжньої пружності	МПа	E_n	2000
4.	Матеріал фланців:	-	-	12X18H10T
	Допустиме напруження при $t=20^\circ\text{C}$	МПа	$[\sigma_{\phi 1}]^{20} =$ $[\sigma_{\phi 2}]^{20}$	184
	Допустиме напруження при $t=100^\circ\text{C}$	МПа	$[\sigma_{\phi 1}]^t =$ $[\sigma_{\phi 2}]^t$	174
	Модуль повздовжньої пружності при $t = 20$	МПа	$E_{\phi 1}^{20} =$ $E_{\phi 2}^{20}$	$2 \cdot 10^5$
	Модуль повздовжньої пружності при $t = 100$	МПа	$E_{\phi 1}^t =$ $E_{\phi 2}^t$	$2 \cdot 10^5$
	Коефіцієнт лінійного розширення при температурі t	K^{-1}	$\alpha_{\phi 1}^t = \alpha_{\phi 2}^t$	$16,6 \cdot 10^{-6}$
5.	Допустимі напруги для матеріалу фланця в перетині S_0	МПа	$[\sigma_{\phi 1}^{100}] =$ $[\sigma_{\phi 2}^{100}]$	633
6.	Кількість болтів	шт.	n_B	24
	Зовнішній діаметр різьби болта	м	d_B	0,042
	Внутрішній діаметр різьби болта	м	d_0	0,044
	Матеріал болтів			35X
	Напруга, що допускається для матеріалу болтів при $t = 20^\circ\text{C}$	МПа	$[\sigma_B]^{20}$	230
	Напруга, що допускається для матеріалу болтів при $t = 97^\circ\text{C}$	МПа	$[\sigma_B]^t$	230
	Модуль повздовжньої пружності болта при температурі $t = 97^\circ\text{C}$	МПа	E_B^t	$2,15 \cdot 10^5$
	Коефіцієнт лінійного розширення	K^{-1}	α_B^t	$11,9 \cdot 10^{-6}$
7.	Добавка до розрахункової товщини	М	c	0,006
8.	Коефіцієнт міцності зварних швів	-	φ	0,9
9.	Коефіцієнт тертя	-	f_1	0,1

Товщина втулки фланця:

$$s \leq S_0 \leq 1,35 \quad (3.1)$$

$$10 \leq S_0 \leq 13$$

Приймаємо $S_0 = 12 \text{ мм}$

Товщина біля основи втулки:

$$S_1 = \beta_1 S_0 \quad (3.2)$$

де β_1 – допоміжний коефіцієнт, приймаємо 2,5

$$S_1 = 2,5 * 0,012 = 0,03 \text{ м}$$

Висота втулки фланця:

$$h_B \geq \frac{1}{i} * (s_1 - s_0) \quad (3.3)$$

$$h_B \geq \frac{1}{1/3} * (0,03 - 0,012) = 0,054 \text{ м} \quad (3.4)$$

Діаметр болтової окружності:

$$D_B \geq D + 2 * (s_1 + d_B + u) \quad (3.5)$$

де d_B – рекомендований діаметр болтів, приймаємо $d_B = 42 \text{ мм}$

u – нормативний зазор між гайкою та втулкою, приймаємо $u = 4 \text{ мм}$

$$D_B \geq 1 + 2 * (0,03 + 0,042 + 0,005) = 1,152 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_3 = D_B + a \quad (3.6)$$

де a – конструктивна надбавка, приймаємо $a = 80 \text{ мм}$

$$D_3 = 1,152 + 0,08 = 1232 \text{ мм}$$

Зовнішній діаметр прокладки, m :

$$D_{з.п.} = D_3 - e \quad (3.7)$$

де $e = 55 \text{ мм}$ – нормативний параметр, що залежить від типу прокладки

$$D_{з.п.} = 1,152 - 0,055 = 1,097 \text{ м}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{с.п.} = D_{з.п.} - b \quad (3.8)$$

b – ширина прокладки, приймаємо для плоскої неметалевої прокладки
= 15 мм

$$D_{с.п.} = 1,097 - 0,015 = 1,082 \text{ м}$$

Кількість болтів, яка необхідна для забезпечення герметичності з'єднання:

$$n_B = \frac{\pi * D_B}{t_k} \quad (3.9)$$

де t_k – рекомендований крок розташування болтів, m ; $t_k = (3 \dots 3,8) * d_B$

де d_B – діаметр болтів

$$t_k = 3,8 * 0,042 = 0,16 \text{ м} \quad (3.10)$$

$$n_B = \frac{3,14 * 1,152}{0,16} = 22,6$$

Приймаємо $n_B > 22,6$ кратне 4-ом, $n_B = 24 \text{ шт.}$

Висота (товщина) фланця орієнтовно:

$$h_\phi = \lambda_\phi * \sqrt{D * S_{екв}} \quad (3.11)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,32$ – допоміжний коефіцієнт

D – діаметр апарату

$S_{\text{екв}}$ – еквівалентна товщина втулки

$$S_{\text{екв}} = S_0 * \left(1 + \frac{h_{\text{в}} * (\beta_1 - 1)}{h_{\text{в}} + 0,25 * (\beta_1 + 1) * \sqrt{D * S_0}} \right) \quad (3.12)$$
$$S_{\text{екв}} = 12 * \left(1 + \frac{0,054 * (2,5 - 1)}{0,054 + 0,25 * (2,5 + 1) * \sqrt{1 * 0,012}} \right) = 18,5 \text{ мм}$$

Приймаємо $S_{\text{екв}} = 19 \text{ мм}$

$$h_{\phi} = 0,32 * \sqrt{1 * 0,019} = 0,044 \text{ м}$$

Приймаємо $h_{\phi} = 45 \text{ мм}$

Мінімально необхідна довжина болтів:

$$L_{\text{Б}} = 2 * (h_{\phi} + h_{\text{п}}) + 0,28 * d_{\text{Б}} \quad (3.13)$$

де $h_{\text{п}} = 0,005 \text{ м}$ висота стандартної прокладки

$$L_{\text{Б}} = 2 * (0,045 + 0,005) + 0,28 * 0,042 = 0,11176 \text{ м}$$

Приймаємо $L_{\text{Б}} = 130 \text{ мм}$, тоді обираємо наступний болт: Болт М42 DIN931

Ефективна ширина прокладки при $b \leq 15 \text{ мм}$:

$$b_{\text{Е}} = 0,5 * b = 0,5 * 15 = 7,5 \text{ мм} \quad (3.14)$$

Далі розрахуємо два фланці, враховуючи, що вони однакові

Конструктивний коефіцієнт для фланця

$$K_{\phi} = D_3 / D = 1152 / 1000 = 1,152 \quad (3.14)$$

Поправочний коефіцієнт 1:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 * \lg K_{\phi} = 1,28 * \lg 1,152 = 0,0787 \quad (3.15)$$

Поправочний коефіцієнт 2:

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{1,152 + 1}{1,152 - 1} = 14,2 \quad (3.16)$$

Поправочний коефіцієнт для прорізу S_0 для плоских приварних фланців

$$\psi_{3\phi} = 1,00 \quad (3.17)$$

Геометричні параметри фланців

$$j_{\phi 1} = j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 1}}{S_n} = \frac{0,045}{0,012} = 3,75 \quad (3.18)$$

Безрозмірний параметр фланців

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 (1 + 8,55 * \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 K_{\phi}^2) (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,152^2 (1 + 8,55 * \lg 1,152) - 1}{(1,05 + 1,945 * 1,152^2) (1,152 - 1)} = 1,86 \quad (3.19)$$

Безрозмірний параметр:

$$\omega_{\phi 1} = \omega_{\phi 2} = [1 + 0,9 \lambda_{\phi 1} (1 + \psi_{1\phi} * j_{\phi 1}^2)]^{-1}$$
$$\omega_{\phi 1} = \omega_{\phi 2} = [1 + 0,9 * 0,32 (1 + 0,0787 * 3,75^2)]^{-1} = 0,62 \quad (3.20)$$

Кутова податливість фланців

$$y_{\phi 1} = y_{\phi 2} = \frac{[1 - \omega_{\phi 1}(1 + 0,9\lambda_{\phi 1})\psi_{\phi 2}]}{h_{\phi 1}^3 * E_{\phi 1}}$$

$$y_{\phi} = \frac{[1 - 0,62(1 + 0,9 * 0,32)]14,2}{0,045^3 * 2 * 10^5} = 0,157 \text{ М/МН} \quad (3.21)$$

Лінійна податливість прокладки

$$y_{\Pi} = \frac{2h_{\Pi}}{\pi D_{c.п.} b E_{\Pi}} = \frac{2 * 0,005}{3,14 * 1,082 * 0,015 * 2000} = 9,806 * 10^{-5} \text{ М/МН} \quad (3.22)$$

Площа поперечного перетину болта

$$f_{\text{Б}} = 10,9 * 10^{-4} \text{ М}^2 \quad (3.23)$$

Лінійна податливість болтів

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} f_{\text{Б}} z_{\text{Б}}} = \frac{0,130}{2 * 10^5 * 10,9 * 10^{-4} * 24} = 2,48 * 10^{-5} \text{ М/МН} \quad (3.24)$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\phi} = [y_{\Pi} + y_{\text{Б}} + 0,25(y_{\phi 1} + y_{\phi 2})(D_{\text{Б}} - D_{c.п.})^2]^{-1} = \quad (3.25)$$

$$A_{\phi} = [9,806 * 10^{-5} + 2,48 * 10^{-5} + 0,25 * (0,157 + 0,157)(1,082 - 1,152)^2]^{-1} = 1970$$

Параметр жорсткості фланців:

$$B_{\phi} = y_{\phi}(D_{\text{Б}} - D - S_{\text{екв}}) = 0,157(1,152 - 1 - 0,019) = 0,0209 \text{ І/МН} \quad (3.26)$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання

$$\gamma = A_{\phi} y_{\text{Б}} = 1970 * 2,48 * 10^{-5} = 0,049 \quad (3.27)$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} [y_{\text{Б}} + 0,25 * 2 * B_{\phi} * (D_{\text{Б}} - D_{c.п.})] \quad (3.28)$$

$$\alpha_{\phi} = 1970 * [2,48 * 10^{-5} + 0,25 * 2 * 0,0209 * (1,152 - 1,082)] = 1,49$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску

$$Q_{\text{д}} = 0,785 * D_{c.п.}^2 * p = 0,785 * 1,082^2 * 0,16 = 0,147 \text{ МПа} \quad (3.29)$$

Реакція прокладок в робочих умовах

$$R_{\Pi} = 2\pi D_{c.п.} b_E t p = 2 * 3,14 * 1,082 * 0,0075 * 2,5 * 0,16 = 0,0204 \text{ МН} \quad (3.30)$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій фланцевого з'єднання

$$Q_{t\phi} = \gamma E_{\text{Б}} f_{\text{Б}} n_{\text{Б}} (\alpha_{\phi}^t * t_{\phi} - \alpha_{\text{Б}}^t * t_{\text{Б}}) \quad (3.31)$$

$$Q_{t\phi} = 0,049 * 2 * 10^5 * 10,9 * 10^{-4} * 24(16,6 * 10^{-6} * 100 - 11,9 * 10^{-6} * 97) = 0,130$$

МН

Монтажне болтове зусилля фланцевого з'єднання за різних умов:

$$P_{\phi 1}'' = \pi D_{c.п.} b_E q = 3,14 * 1,082 * 0,0075 * 20 = 0,51 \text{ МН} \quad (3.32)$$

$$P_{\text{Б}1}'' = \alpha_{\phi} (Q_{\text{д}} \pm P) + R_{\Pi} + 4M/D_{c.п.} \quad (3.33)$$

$$P_{\phi 1}'' = 1,49(0,147 + 0) + 0,0204 + 0 = 0,24 \text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження:

$$P_{B1} = \max\{P_{B1}'; P_{B1}''\} = \max\{0,51\text{МН}; 0,24\text{МН}\} = 0,51\text{ МН} \quad (3.34)$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{B1}}{\pi D_{c.п.} b} \leq [q] \quad (3.35)$$

$$\frac{0,51}{3,14 \cdot 1,082 \cdot 0,015} = 10\text{ МПа} < 130\text{ МПа} - \text{умова виконується.}$$

Болтове навантаження в робочих умовах:

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha_{\phi})(Q_d + P) + Q_{t\phi} + 4M/D_{c.п.} \quad (3.36)$$

$$P_{B2} = 0,51 + (1 - 1,49)(0,147 + 0) + 0,130 + 0 = 0,568\text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження:

$$P_{B\phi} = \max\{P_{B1}; P_{B2}\} = \max\{0,51\text{МН}; 0,568\text{МН}\} = 0,568\text{ МН} \quad (3.37)$$

Напруження розтягування болтів у робочих умовах і умовах монтажу:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{B2}}{n_B f_B} = \frac{0,568}{24 \cdot 10,9 \cdot 10^{-4}} = 21,7\text{ МПа} \quad (3.38)$$

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{B1}}{n_B f_B} = \frac{0,51}{24 \cdot 10,9 \cdot 10^{-4}} = 19,5\text{ Мпа} \quad (3.39)$$

Крутний момент при затягуванні гайок:

$$M_{скр} = f_1 \frac{P_{B\phi}}{n_B} d_B = 0,1 \frac{0,568}{24} 0,042 = 9,94 \cdot 10^{-6}\text{ МН*м} \quad (3.40)$$

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_B = \frac{M_{скр}}{0,2 d_n^2} = \frac{9,94 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 0,044^2} = 0,583\text{ Мпа} \quad (3.41)$$

Еквівалентне напруження у болтах

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3\tau^2} = \sqrt{19,5^2 + 3 \cdot 0,583^2} = 19,52\text{ Мпа} \quad (3.42)$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3\tau^2} = \sqrt{21,7^2 + 3 \cdot 0,583^2} = 21,72\text{ Мпа} \quad (3.43)$$

Умова міцності болтів:

$$\sigma_{BF}^{20} \leq [\sigma_B]^{20}; 19,52\text{ МПа} < 230\text{ МПа} \quad (3.44)$$

Умова виконується

$$\sigma_{BE}^t \leq [\sigma_B]^t; 21,72\text{ МПа} < 230\text{ МПа} \quad (3.45)$$

Умова виконується

Зведений згинаючий момент у діаметральному перетині фланця в умовах монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 P_{B1} (D_B - D_{c.п.})$$

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot 0,51 (1,152 - 1,082) = 0,01785\text{ МН*м} \quad (3.46)$$

Зведений згинаючий у діаметральному перетині фланця в робочих умовах

$$M_{02\phi} = \frac{0,5 [P_{B2} (D_B - D_{c.п.}) + Q_d (D_{c.п.} - D - S_E)] [\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} \quad (3.47)$$

$$M_{02\phi} = \frac{0,5[0,568*(1,152-1,082)+0,147(1,082-1-0,019)]*230}{230} = 0,0245 \text{ MN}^* \text{ m}$$

Розрахунковий приведений момент у діаметральному перетині фланця
 $M_{0\phi} = \max\{0,01785 \text{ MN}^* \text{ m}; 0,0245 \text{ MN}^* \text{ m}\} = 0,0245 \text{ MN}^* \text{ m}$ (3.48)

Допоміжна величина:

$$\varepsilon = 20S_0 = 20 * 0,012 = 0,24$$
 (3.49)

Розрахунковий діаметр при $D \geq \varepsilon$ і $\psi_{3\phi} \geq 1D^*=D=1 \text{ m}$

$$(3.50)$$

Максимальні напруження в перетині S_1 фланців від згинаючого моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{1\phi1} = \sigma_{1\phi2} = \psi_{3\phi} \frac{T_{\phi} M_{0\phi} \omega_{\phi1}}{D^*(S_1 - c)^2} = 1 * \frac{1,86*0,0245*0,62}{1*(0,03-0,006)^2} = 49 \text{ МПа}$$
 (3.51)

Кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{0\phi}$

$$\sigma_{к\phi} = \frac{M_{0\phi}[1-\omega_{\phi1}(1+0,9\lambda_{\phi1})]\psi_{2\phi}}{D h_{\phi1}^2}$$
 (3.52)

$$\sigma_{к\phi} = \frac{0,0245[1-0,62(1+0,9*0,32)]14,2}{1*0,045^2} = 34,6 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження в перетині S_1 :

$$\sigma_{E\phi1}^{S_1} = \sigma_{E\phi2}^{S_1} = \sqrt{\sigma_{1\phi1}^2 + \sigma_{к\phi1}^2 - \sigma_{1\phi1} * \sigma_{к\phi1}};$$

$$\sigma_{E\phi1}^{S_1} = \sigma_{E\phi2}^{S_1} = \sqrt{49^2 + 34,6^2 - 49 * 34,6} = 43,62 \text{ МПа}$$
 (3.53)

Кільцеві та меридіональні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{x\phi1} = \sigma_{x\phi2} = \frac{pD}{2(S_n - c)} = \frac{0,16*1}{2(0,012-0,006)} = 13,33 \text{ МПа}$$
 (3.54)

$$\sigma_{y\phi1} = \sigma_{y\phi2} = \frac{pD}{4(S_n - c)} = \frac{0,16*1}{4(0,012-0,006)} = 6,66 \text{ МПа}$$
 (3.55)

Еквівалентні напруження в перетині S_0 :

$$\sigma_{E\phi0}^{S_0} = \sqrt{(\sigma_{0\phi0} + \sigma_{y\phi1})^2 + \sigma_{x\phi1}^2 - (\sigma_{0\phi1} + \sigma_{y\phi1}) * \sigma_{x\phi1}}$$

$$\sigma_{E\phi0}^{S_0} = \sqrt{(49 + 6,66)^2 + 13,33^2 - (49 + 6,66) * 13,33} = 50,33 \text{ МПа}$$
 (3.57)

Умови міцності:

$$\sigma_{E\phi1}^{S_1} \leq \sigma_{T\phi1}^t$$

$$\sigma_{E\phi1}^{S_0} \leq [\sigma_{\phi1}^{S_0}] \varphi$$

43,62 МПа < 633 * 0,9 = 569,7 МПа – умова міцності виконана;

50,33 МПа < 633 * 0,9 = 569,7 МПа – умова міцності виконана.

Умова герметичності фланцевого з'єднання

$$\frac{\sigma_{к\phi1} D}{E_{\phi1} h_{\phi1}} \leq \theta$$
 (3.57)

де $[\theta] = 0,009 \text{ рад}$ – допустимий кут повороту фланця при $D \leq 2 \text{ м}$.

$$\frac{\sigma_{\text{кф1}} D}{E_{\text{ф1}} h_{\text{ф1}}} = \frac{34,6 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,045} = 0,00384 \text{ рад};$$

$\theta = 0,00384 \text{ рад} < [\theta] = 0,009 \text{ рад}$ – умова герметичності виконана.

Остаточно приймаємо фланець 1-1000-16 Ст. 12X18H10T AISI 321.

3.4 Розрахунок опори

З таблиці маса тарілки:

$$m = 41,5 \text{ кг}$$

Тоді маса всіх тарілок:

$$m_1 = 41,5 \cdot 14 = 581 \text{ кг} \quad (3.58)$$

Маса обичайки з урахуванням сепарації простору:

$$m_2 = \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad (3.59)$$
$$m_2 = 3,14 \cdot (1 + 0,012) \cdot 0,012 \cdot 7,2 \cdot 7850 = 2156 \text{ кг}$$

Маса оснащення колони приймається в розмірі 20% від маси обичайки

$$m_3 = 0,2 m_2 \quad (3.60)$$
$$m_3 = 0,2 \cdot 2156 = 431 \text{ кг}$$

Об'єм колони $V = 5,65 \text{ м}^3$, тоді маса оди при гідравлічних випробуваннях:

$$m_4 = V \cdot \rho_{\text{в}} \quad (3.61)$$
$$m_4 = 5,65 \cdot 1000 = 5650 \text{ кг}$$

Загальне навантаження на опору:

$$Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g \quad (3.62)$$
$$Q = (581 + 2156 + 431 + 5650) \cdot 9,81 = 86,5 \cdot 10^3 = 86,5 \text{ кН}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot a_1} \leq \varphi_s \cdot [\sigma] \quad (3.63)$$

де $a_1 = 6 \text{ мм}$ – розрахункова товщина зварного шва; φ_s – коефіцієнт міцності зварного шва, зазвичай приймається $\varphi_s = 0,7$.

Тоді

$$\sigma = \frac{4 \cdot 86,5 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1000 \cdot 6} = 18,35 \text{ МПа} \leq 0,7 \cdot 168 = 117,6 \text{ МПа}.$$

Умова міцності зварного шва виконується.

Остаточно обираємо опору 3 – 1000 – 25 – 12,5 – 2000 по ДСТУ 3-17-193-2000 зі сталі 08X18H10T.

Діаметр колони – 1000 мм, навантаження $Q_{\text{max}} = 0,25 \text{ МН}$, $Q_{\text{min}} = 0,125 \text{ МН}$, висота опори $H_{\text{опор}} = 2000 \text{ мм}$, товщина стінки циліндричної опори $s = 6 \text{ мм}$.

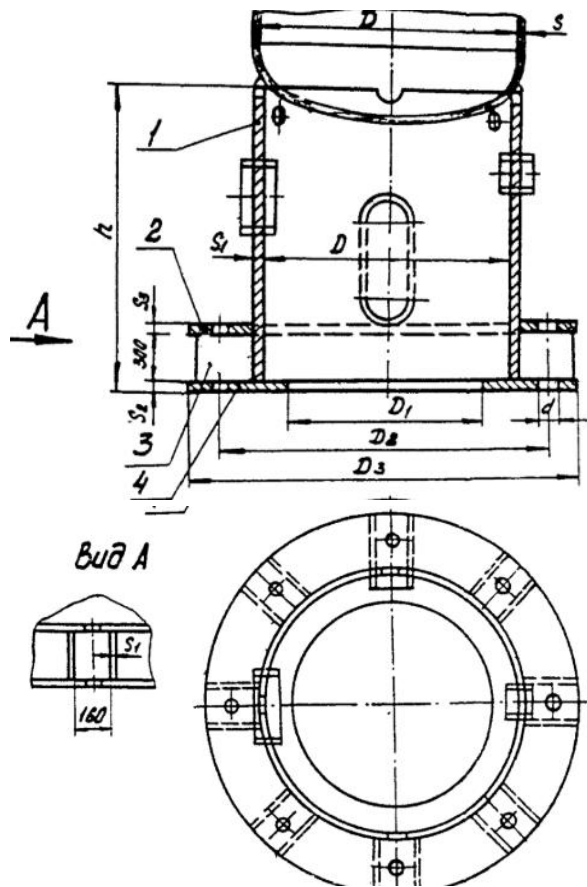


Рисунок 10 – Конструкція стандартної циліндричної опори типу 3 – з кільцевим опорним поясом.

1 – обичайка; 2 – планка; 3 – ребро; 4 – кільце нижнє.

4 Будівельно-монтажна частина

4.1 Опис розміщення обладнанням [7]

З метою забезпечення стабільних умов експлуатації обладнання, а також зручності його обслуговування, технологічне та допоміжне обладнання встановлюємо у будівлі. При цьому враховано, що будівля складається із залізобетонних елементів прямокутної форми у плані з використанням уніфікованих типових прольотів та по можливості однакової висоти.

Розміри прольотів, розташування розбивних осей (кроків колон) та висоти будівлі приймаємо за ГОСТ 23838-79 та ГОСТ 24336-80; розміри прольотів та кроки колон одноповерхових будівель - кратними 6 м.

Під час розміщення обладнання передбачені проходи, що забезпечують безпечне обслуговування обладнання, рух обслуговуючого персоналу та транспортних пристроїв, а також зручне очищення робочих поверхонь обладнання. Проходи у світлі (між більш виступаючими частинами устаткування, щитів, конструкцій) фронтом обслуговування беруться щонайменше 1,0 м. По фронті обслуговування насосів ширина проходу світла - щонайменше 1,5 м. Проходи, службовці для періодичного обслуговування устаткування й щитів управління повинні мати ширину не менше 0,8 м.

В цілому, компонування обладнання здійснено в процесі технологічного процесу з раціональним використанням виробничих площ, максимальним скороченням довжини трубопроводів, дотриманням необхідних умов для зручного та безпечного обслуговування ємностей та апаратів, їх монтажу та ремонту.

При розміщенні обладнання здійснювалася мета по спрощенню виробничого потоку, скорочуючи кількість насосів і використовуючи, по можливості, гравітаційні сили для переміщення компонентів на окремих ділянках технологічного процесу.

Грунтуючись на перерахованих вище умовах компонування обладнання, передбачається розміщення напірних ємностей, мірників на естакадах у верхній частині виробничого приміщення, а габаритне та масивне обладнання - на нульовій відмітці.

Для зручності обслуговування технологічного обладнання, огляду та ремонту, за місцем встановлені майданчики та сходи, які не повинні порушувати міцність та стійкість обладнання. Висота обслуговуючих майданчиків не менше ніж 2,0 м.

4.2 Монтаж і ремонт апарата [7]

Однією з вирішальних умов правильної організації монтажних робіт є комплектна постановка обладнання, що має високу заводську готовність.

Порядок встановлення обладнання визначено «основними технічними вимогами монтажних організацій до хімічного обладнання» ТУ 26-01-217-89.

Обладнання, що поставляється, повинно відповідати наступним основним вимогам, що визначають його якість і максимальну готовність:

- в опорній підставі повинні бути передбачені регульовальні гвинти, за допомогою яких обладнання вивіряють на фундаменті у горизонтальній та вертикальній площинах;

- У апаратів колонного типу для їх стропування при монтажі повинні бути передбачені монтажні штуцера ГОСТ 13716-86 або інші захватні пристрої;

- апарати із зовнішніми та внутрішніми теплоізоляційними захисними покриттями повинні поставлятися із привареними деталями для кріплення цих покриттів, а також із підготовленими захисними поверхнями;

- на апаратах і посудинах, що підлягають на місці монтажу гідравлічному випробуванню, повинні бути передбачені спеціальні штуцери для встановлення вентиля (повітряника), через який при заповненні апарату водою буде вироблятися випуск повітря, для приєднання манометра та повного зливу води;

- кожен штуцер на апараті або посудині повинен мати фланець у відповідь, робочу прокладку і кріпильні деталі;

- для вивіряння вертикальності встановленого апарату колонного типу, якщо він за проектом має зовнішню ізоляцію, повинні бути передбачені спеціальні боби з нарізкою для вкручування штирів. Бобишки розташовують у нижній та верхній частинах апарату по дві, під кутом 90 °С;

- відправлені заводом-виробником до місця монтажу апарат, посудина або транспортабельний вузол повинні мати вказівки місць стропування, зазначене на апараті або вузлі яскравою фарбою. На апараті або вузлі на видному місці також яскравою фарбою має бути вказана вага апарата або його вузлів. Якщо апарат поставляється окремими вузлами, то вони повинні мати складальне маркування на частинах, що спрягаються.

Складання апаратів, що складаються з окремих царг, що збираються на фланцях здійснюється безпосередньо на фундаменті. У цьому випадку до їх підйому слід перевірити горизонтальність поверхонь привалок кожної царги.

Відхилення має перевищувати 0,3 мм на 1 м діаметр апарату, але з більше 2 мм весь діаметр.

Складання фланцевих з'єднань повинно виконуватися без підгонних операцій; болти в отвори повинні входити вільно, без напруги. Затягування фланцевих з'єднань необхідно проводити одночасним загортанням гайок на діаметрально розташованих болтах або шпильках.

Остаточне затягування фланцевих з'єднань царг апаратів з прокладками зі шнурового азбесту слід проводити «на гаряче» при нагріванні всього апарату пором до 60°C.

Відповідно до чинного положення про планово-попереджувальний ремонт графіки та плани ремонту обладнання складаються у певній послідовності. Технічна адміністрація виробничого цеху подає до відділу головного механіка підприємства проект річного плану-графіка ремонту обладнання з урахуванням дати їхнього останнього ремонту. Відділ головного механіка виходячи з цехових проектів планів-графіків розробляють проект зведеного плану ремонту устаткування підприємству.

Підготовка ремонту включає:

- 1 Технічний огляд обладнання перед ремонтом;
- 2 Складання проектно-кошторисної документації для робіт, що підлягають виконанню;
- 3 Оформлення та видачі замовлень на проведення робіт;
- 4 Розробку графіка для проведення робіт;

Основним видом їхнього зносу колоною масообмінної апаратури є забиття колони відкладеннями та корозії її елементів. Царгові колони розбираються повністю. Вантажопідйомний механізм встановлений вище за колону, що дозволяє зняти всі царги по черзі. При неможливості встановлення вантажопідйомного механізму вище колони демонтаж починається з нижньої царги.

Підготовка колонного апарату до ремонту наступне: видалення робочого середовища з апарату, після чого проводять його пропарювання водяною парою, яка витісняє пари газів, що залишилися в колоні, після пропарювання колону промивають водою. Промивання колони водою також сприяє швидшому її остиганню, не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°C. Пропарену та промиту колону від'єднують від усіх апаратів та комунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях. Установку кожної заглушки та її зняття реєструють у спеціальному журналі.

Ремонт тарілок царгових колон здійснюється після їх демонтажу. Тарілки в царгах ущільнюються за допомогою азбесту або фторопластового шнурового ущільнюючого матеріалу, при демонтажі тарілок азбест і ФУМ витягується за допомогою гаків і зубила. Ремонт тарілок пов'язаний з їх чищенням та заміною зношених елементів. Після встановлення тарілок у царгу перевіряється рівномірність паророзподілу, допускається деяка негоризонтальність ковпачкових тарілок, оскільки основний вплив на роботу тарілки надає установка ковпачка.

Дуже відповідальна операція при складанні царгової колони є встановлення прокладок між дротяними поверхнями та кріплення царг болтами. Від сталості товщини прокладки по всій площі сполучення і від рівномірності затягування болтів фланцевих з'єднань залежить щільність з'єднань, вертикальне положення осі колони і горизонтальне положення тарілок.

Регулювання барботажних тарілок полягає в наступному: тарілку заливають водою так, щоб надмірна кількість води зливалася через зливальний пристрій. Злив по всьому периметру має бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Після заповнення гідрозатворів зливні кишені під тарілку, що перевіряється, компресором нагнітають повітря. Регулюючи ковпачки по висоті досягають однакового ступеня барботажу бульбашок повітря через шар води по всій поверхні.

Ремонт колони закінчують її випробуванням. При гідравлічному випробуванні колона заповнюється водою при відкритій повітрі, встановленій у верхній частині колони, поява води в повітрі свідчить про заповнення колони. Після закриття повітря тиск у колоні повільно підвищується до контрольованої величини, при цьому тиску апарат витримується 5 хвилин, потім тиск скидається до робочого значення, при якому приступають до огляду корпусу, одночасно обстукуючи зварні шви молотком масою 0,5-1,5 кг.

5 Охорона праці

5.1 Аналіз потенційних небезпек, що виникають під час експлуатації обладнання [14]

Відомості про вибухо-, пожежонебезпечність, електростатичні властивості, токсичність

Фізичні властивості метанолу

Метанол та етанол — леткі безбарвні рідини зі специфічним запахом, пекучі на смак. Вони легші за воду (густина метанолу — 0,792 г/см³, а етанолу — 0,789 г/см³), вони легко випаровуються (у метанолу $t_{пл.} = -97,6$ °С, $t_{кип.} = 64,7$ °С, а в етанолу $t_{пл.} = -114,2$ °С, $t_{кип.} = 78,4$ °С). Ці спирти необмежено розчиняються у воді, а також добре змішуються з іншими органічними речовинами (бенzenом, хлороформом, ацетоном тощо).

Загальні правила техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки

При роботі необхідно дотримуватись правил внутрішнього розпорядку підприємства. Забороняється курити, мати при собі приладдя для куріння, розпивати спиртні напої.

У всіх приміщеннях пожежонебезпечного виробництва має підтримуватись чистота та порядок. У кожній робочій зміні має проводитися ретельне прибирання робочих місць та приміщень, куди дозволено вхід обслуговуючого персоналу. У приміщеннях, куди вхід під час роботи обладнання заборонено, збирання проводять при непрацюючому обладнанні у строки, передбачені технологічною документацією.

Не допускаються накопичення пилу і конденсату продуктів на обладнанні, стінах і підлозі приміщень, вентиляційних трубах і на іншому основному і допоміжному обладнанні, особливо на частинах, що труться і судять, на обладнанні, що має нагріту поверхню (паропроводи та ін.).

Легкозаймистий пил і конденсат у процесі роботи повинні періодично видаляти шляхом мокрого прибирання. Терміни періодичного прибирання приміщень та очищення обладнання від пилу, конденсату, плівок та продуктів, що налипли, передбачені в інструкціях з охорони праці.

Речовини, випадково розсипані або пролиті під час роботи на підлогу або обладнання, повинні бути обережно зібрані за допомогою віника та совка з кольорового металу та поміщені в тару для змішування, а місце, на якому знаходилися просипані або пролиті речовини, має бути ретельно промито.

Забороняється використовувати у виробництві просипані чи розлиті речовини.

Тара для збору кмітливих та безповоротних відходів повинна мати чіткі відмітні ознаки, щоб її не можна було сплутати з тарою для основної продукції.

Відходи та кмітливість повинні вивозитися з приміщень у міру накопичення, але не рідше одного разу на зміну.

Кошториси повинні змочуватися водою і зберігатися у вологому стані.

Кількість пожежонебезпечних продуктів на робочих місцях та у приміщеннях не повинна перевищувати кількості, передбаченої нормами зберігання.

У кожному виробничому приміщенні мають бути відведені місця для зберігання сировини, напівфабрикатів та готового продукту у межах встановленої норми. Ці місця мають бути позначені лініями, нанесеними на підлозі приміщення, згідно з технологічними плануваннями.

У місцях зберігання забороняється виконання будь-яких технологічних операцій, крім прийому та видачі сировини, напівфабрикатів та готового продукту.

Приміщення, де знаходяться пожежонебезпечні матеріали, не повинні залишатися без нагляду або незачиненими.

Для кожного виробничого приміщення повинен бути складений, підписаний начальником цеху та вивішений перелік використовуваного інструменту, необхідного для виконання операцій у цьому приміщенні, із зазначенням його кількості та матеріалу, з якого він виготовлений. Застосовуваний інструмент повинен відповідати кресленням, мати відповідне маркування та зберігатися у спеціально відведених місцях.

Забороняється зберігати у виробничих приміщеннях предмети та матеріали, що не використовуються безпосередньо на цій операції, і особливо сторонні предмети та горючі матеріали.

Температура теплоносія (пар, повітря) у пожежонебезпечних виробничих приміщеннях повинна бути регламентована і не повинна перевищувати значень 80 °С – для повітря, 135 °С – для пари.

Забороняється класти будь-які предмети або матеріали та спецодяг на паропроводи, нагрівальні прилади, обладнання та комунікації.

Забороняється розпочинати та проводити роботу, якщо в приміщенні на робочому місці перебуває більше людей, ніж це передбачено інструкцією.

Працюючим у виробництві забороняється мати при собі годинник, ключі, авторучки, гаманець, брошки, кільця, гребінець, шпильки, значки тощо.

Забороняється працюючим заходити у виробничі приміщення, де вони не працюють.

Забороняється робітникам у спецодязі та спецвзутті, забруднених пожежонебезпечними матеріалами, заходити у приміщення, де ведеться робота з матеріалами, а також у машинні відділення та підсобні приміщення, де можливе іскроутворення чи наявність вогню.

Забороняється носіння технологічного та спеціального одягу, що не відповідає вимогам технологічної документації та інструкції з охорони праці.

Робочі столи для проведення робіт, пов'язаних з можливістю розсипання та розпилення пожежонебезпечних матеріалів, повинні бути гладкими, без щілин, мати борти, не мати цвяхів, що виступають, і повинні бути покриті струмопровідним заземленим матеріалом, що не дає іскри. Забороняється зафарбовувати або закривати будь-якими ізолюючими матеріалами струмопровідну поверхню столу.

Тара, призначена для міжопераційного транспортування пожежонебезпечних напівфабрикатів та готового продукту, має бути закріплена за окремими операціями та призначена лише для одного виду напівфабрикатів.

Забороняється користуватися тарою, що не передбачена технологічною документацією та інструкціями.

Матеріал для протирання обладнання, не використаний у виробництві, повинен зберігатися у металевих ємностях із кришками.

Протиральні матеріали, забруднені розчинником, збирають і зберігають у металевих ємностях з кришками і в міру накопичення, але не рідше одного разу на зміну, видаляють спеціально відведені майданчики або приміщення для зберігання використаної ганчірки.

Протиральні матеріали, забруднені виробничими речовинами, зберігають в окремих ємностях у зволоженому стані.

Протиральні матеріали, забруднені оліфою або олійними фарбами, збирають в окремі ємності з кришками та заливають водою.

Усі апарати, обладнання, вузли, деталі, інструменти та інші предмети, що прийшли в непридатність, що були в дотику до пожежонебезпечних матеріалів (прилади, лотки, труби, ящики, частини обладнання, запірні арматура та ін.), що підлягають будь-якому подальшому використанню або знищенню, перед здаванням у ремонт чи утилізацією повинні бути попередньо ретельно очищені від забруднень. Очищення повинна проводитись відповідно до інструкції з охорони праці під керівництвом ІТП (майстра або технолога). Обладнання, вузли, деталі, достатню очистку методом промивання та нейтралізації яких не можна гарантувати, перед здаванням їх у ремонт або утилізацію (після очищення від забруднень пожежонебезпечними матеріалами) повинні випалюватися.

Очищене та неочищене обладнання та інші предмети повинні зберігатись окремо на відведених майданчиках.

При багатозмінній роботі робітникам, майстрам змін забороняється йти з роботи доти, доки вони не здадуть свої робочі місця, дільниці та не оформлять задачу та прийом зміни з реєстрацією та розписами в журналі.

При однозмінній роботі робітники здають свої робочі місця майстру, який у свою чергу здає ділянку начальнику виробництва.

Після закінчення роботи приміщення закривають, опечатують, а ключі здають охороні в установленому порядку. Якщо у виробництві є ділянки із

цілодобовим чергуванням персоналу нетехнологічного призначення, допускається зберігання ключів від непрацюючих технологічних приміщень на цих ділянках.

Все обладнання виробництв, де ведуться роботи з пожежонебезпечними матеріалами, повинне відповідати вимогам проектно-конструкторської документації та повинно мати:

- технічні паспорти та технічні описи;
- Інструкції з експлуатації.

Забороняється експлуатація обладнання у разі його невідповідності паспорту заводу-виробника, вимогам проектної, конструкторської та нормативної документації.

Все виробниче обладнання повинне утримуватися у справності, чистоті, порядку. Відповідальність за правильну експлуатацію технологічного обладнання, пристроїв та оснащення несуть начальник, технолог виробництва та особа, яка безпосередньо експлуатує обладнання.

Ремонт та контроль за станом обладнання повинен здійснюватись у строки, передбачені графіком планово-попереджувального ремонту.

За наявність та справність огороджувальних пристроїв до обладнання несе відповідальність механік виробництва, а за правильність їх використання – майстер зміни.

Все обладнання має бути заземлене. За справністю та надійністю заземлення має бути встановлений постійний контроль службою енергетика виробництва.

Все обладнання та ємності повинні бути доступні для внутрішнього огляду та очищення від залишків пожежонебезпечних матеріалів.

Конструкція і стан апаратів і окремих вузлів обладнання повинні виключати потрапляння пожежонебезпечних речовин продуктів у зазори між металевими або іншими жорсткими частинами обладнання, що труться.

Поверхня апаратів і комунікацій має бути гладкою, легко очищається від продукції.

Для очищення та промивання обладнання використовують в основному воду.

Повсякденне спостереження за роботою контрольно-вимірювальної апаратури (КВП) веде виробничий майстер, а метрологічний нагляд - майстер КВП.

На шкалах контрольно-вимірювальних приладів або біля приладів повинні бути чітко позначені показники гранично допустимих значень заданих параметрів (червона риса, стрілка червона, цифрові показники і т.д.).

Всі транспортуючі пристрої повинні бути доступними та зручними для огляду та очищення від продукту. Звільнення засувок, вентилів, кранів має бути зручним і доступним з підлоги або зі спеціальних майданчиків.

Ремонт, розбирання та складання технологічних транспортуючих засобів можна проводити тільки після повного очищення їх від продукції зі складанням акта про проведені роботи.

Захисні пристрої та огороження призначені для захисту працюючих від механічних пошкоджень частинами, що рухаються. Знімати огороження у разі ремонту обладнання допускається після повної зупинки обладнання та лише з дозволу виробничого майстра. За наявність захисних огорож, їх утримання та експлуатацію несуть відповідальність майстер зміни та начальник виробництва.

Роботу вентиляційних установок (перевірку їх справності та відповідності проекту, перевірку ефективності дії з відбором проб для аналізу повітряного середовища, ефективності очищення повітря, що викидається в атмосферу, своєчасність очищення вентиляційної системи, чистоти поданого в припливну систему повітря та відповідності його заданому температурі) головного механіка (енергетика).

Ремонт вентиляційних систем не дозволяється проводити без попереднього очищення, промивання, продування та оформлення відповідного акта про очищення системи.

Усі роботи у пожежонебезпечному виробництві повинні проводитись під безпосереднім керівництвом майстра зміни.

Перед початком роботи повинні бути ретельно перевірені справність обладнання, комунікацій, пристроїв, контрольно-вимірювальних приладів, приладів автоматики дистанційного керування, мережі електричного освітлення, вентиляції, допоміжного обладнання, захисно-захисних та блокувальних пристроїв, засобів пожежогасіння та сигналізації, аварійних та запасних пристроїв пуску та зупинки обладнання, наявність інструменту, а також наявність електроенергії, пари, води, стисненого повітря та підготовленість сировини та матеріалів, про що має бути зроблений відповідний запис у журналі прийому та здавання змін.

Все обладнання має бути оглянуто та перевірено пуском на холостому ході.

Забороняється залишати без безпосереднього нагляду або контролю з пульта обладнання, що працює.

Забороняється вести роботу на несправному чи забрудненому обладнанні та з несправними приладами, некондиційними чи забрудненими матеріалами та невідповідним інструментом, а також при непрацюючій вентиляції, несправній системі пожежогасіння або за відсутності відповідних засобів пожежогасіння.

Для поточного обслуговування обладнання у розпорядження виробничого майстра виділяються спеціально навчені та проінструктовані слюсарі та електромонтери. Технічне керівництво ними здійснюють механік, енергетик та майстер КВП.

Всі види ремонту, що проводяться при поточному обслуговуванні обладнання, слюсар і електромонтер заносять в журнал прийому і здачі зміни.

Обладнання пожежонебезпечних виробництв під час підготовки до монтажних чи ремонтних робіт очищається від залишків продукції шляхом

промивання, протирання, випалу тощо. Підготовленість обладнання (або всього приміщення) перевіряють комісії, які призначаються розпорядженням начальника провадження.

Приміщення та обладнання при підготовці до монтажних та ремонтних робіт із застосуванням вогню (газоелектрозварювання та ін.) приймає комісія під головуванням начальника виробництва у складі начальника дільниці, механіка (енергетика), заступника начальника виробництва з охорони праці та техніки безпеки та представника пожежної охорони.

Приміщення та обладнання під час підготовки до монтажних та ремонтних робіт без застосування вогню приймає комісія у тому самому складі, але без участі представника пожежної охорони.

Комісія складає акт перевірки із висновком щодо можливості проведення ремонтно-монтажних робіт.

Забороняється проводити ремонт без зупинки решти обладнання на ділянках, де працююче обладнання може загрожувати особам, зайнятим ремонтними роботами.

Дрібні ремонтні роботи, проведення яких допускається (як виняток) без зупинки виробництва або без звільнення обладнання, повинні бути організовані так, щоб вони не могли стати причиною загоряння або вибуху устаткування, що ремонтується. Місце проведення ремонту має бути рясно змочене водою та підтримуватись у мокрому чи вологому стані. Інструмент має бути виготовлений з іскробезпечного матеріалу.

Виробничі стоки, канави, жолоби, люки та ін. повинні бути завжди закриті кришками або ґратами, виготовленими з матеріалу, що виключає накопичення продукції в непрозорій зоні і не дає іскор при зіткненні з матеріалом жолоба або стоку. Очищення стоків, канав, відстійників має проводитися за графіком, затвердженим головним інженером.

У тих випадках, коли необхідно залишити продукцію в робочому приміщенні при перервах у роботі (некруглодобова робота, вихідний день), приміщення прибирають, знеструмлюють електроустаткування, закривають вікна та двері і після перевірки стану приміщення майстер замикає та пломбує приміщення.

У тих випадках, коли в будівлі залишається черговий, він повинен знаходитися в приміщенні, забезпеченому телефонним зв'язком і, можливо, вільному від продукції.

У виробничих приміщеннях стіни, стелі та підлоги повинні бути в такому стані, щоб виключалося засмічення продукту будівельними матеріалами та щоб можна було легко зробити мокре прибирання приміщення.

У приміщеннях, де в процесі роботи виділяються пари, осідає пил пожежонебезпечних речовин, стіни і стелі повинні бути пофарбовані масляною фарбою або мати інше покриття, що легко промивається і знаходиться в справному стані. Не допускаються вибоїни та тріщини на підлозі, забруднення підлоги продуктами виробництва.

Не допускати попадання на матеріали прямих сонячних променів. Для запобігання попаданню прямих сонячних променів вікна приміщення повинні бути забарвлені білою олійною фарбою.

Тара для зберігання і транспортування ЛЗР і ГР повинна бути електропровідною, небиткою, з кришками, що щільно закриваються, і справною. Під кришками повинні бути прокладки (свинцеві, картонні або гумові) для запобігання іскроутворенню при ударі у разі необережного відкривання або закривання кришки.

Забороняється транспортування та зберігання ЛЗР та ГР у відкритій тарі. Тара може бути заповнена не більше ніж на 85% обсягу.

Зливно-наливні пристрої повинні бути заземлені, а перед початком роботи перевірені на надійність їхнього заземлення.

При переливанні ЛЗР та ГР не повинно бути розбризкування, розпилення або бурхливого перемішування. Переливання ЛЗР і ГР вільно падає струменем не допускається.

Забороняється проводити злив та налив ЛЗР під час грози.

При відкриванні та закриванні тари необхідно користуватися інструментом, що не дає іскор при ударі.

Порожні ємності повинні звільнятися від залишків і пар ЛЗР, промиватися і просушуватися.

У приміщеннях, де зберігаються ЛЗР та ГР або проводяться роботи з ними, забороняється курити, виконувати роботи, що супроводжуються іскрінням або пов'язані із застосуванням відкритого вогню.

Забороняється використовувати ЛЗР та ГР не за прямим призначенням (для миття підлог, прання та чищення одягу тощо).

Забороняється проведення робіт з ЛЗР та ГР в одязі (спецодязі) із синтетичних, вовняних та шовкових тканин та у взутті, що не забезпечують відведення електростатичних зарядів з людини, або забруднених маслами, окислювачами, кислотами.

Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити працюючих для підприємства справними засобами індивідуального захисту: спецодягом, спецвзуттям, засобами захисту органів дихання.

Спецодяг: нижня білизна бавовняна, костюм бавовняний, комбінезон бавовняний, халат бавовняний, косинка, бере бавовняні; фартух із прогумованої тканини, спецвзуття: тапочки (без металевих цвяхів, підковок тощо), галоші гумові, чоботи гумові.

Для захисту органів дихання працюючих на операціях з виділенням пилу – респіратор, для захисту рук від впливу розчинників та шкідливих речовин – рукавички гумові та бавовняні.

Періодичність зміни спецодягу (халатів, костюмів, білизни, комбінезонів) встановлюється залежно від операцій виробництва у міру забруднення, але не рідше одного разу на тиждень.

Для зберігання спецодягу та спецвзуття передбачають вбиральні. Промаслений спецодяг повинен зберігатися у розвішеному вигляді окремо від іншого спецодягу.

Забороняється носити та залишати в кишенях спецодягу продукти виробництва чи виробничі відходи, промаслену тканину.

Забороняється залишати після закінчення роботи та протягом робочої зміни спецодяг та спецвзуття у виробничих приміщеннях, на обладнанні, на робочих місцях, а також виносити спецодяг та взуття, забруднене пожежонебезпечними та шкідливими речовинами, за межі підприємства.

Зміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони під час виконання технологічних операцій має перевищувати встановлених гранично допустимих концентрацій.

У виробничих приміщеннях і на робочих місцях має бути забезпечене освітлення, що не засліплює.

У всіх виробничих приміщеннях у спеціально відведених місцях мають бути аптечки та інші засоби надання першої допомоги (ноші, джгути, перев'язувальний матеріал та ін.). Місця розташування коштів для надання першої допомоги повинні знати всі, хто працює.

Виробничі будівлі та споруди мають бути обладнані системами (установками) автоматичного пожежного захисту (АПЗ), а також автоматичної пожежної сигналізації.

Усі виробничі, допоміжні, складські та інші приміщення мають бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, пісок, кошма тощо).

Забороняється проводити роботи у пожежонебезпечних виробництвах за несправних або незабезпечених водою систем пожежогасіння (дренчерні, локальні АТП-П), при несправності водопровідної мережі, пожежних гідрантів, кранів, сповіщувачів. Перевірка їх має проводитися за графіком. Забороняється проводити роботи при тиску води у дренчерній системі нижче 0,2 МПа (2 кгс/см²).

Підходи до кранів та кнопок ручного включення системи пожежогасіння забороняється захаращувати будь-якими предметами, які можуть спричинити скруту при користуванні кранами та кнопками. Заміна кранів вентилями не допускається. Місця розташування кранів повинні знати всі працюючі.

Усі засувки пожежної водопровідної мережі, крім внутрішніх пожежних кранів, мають бути у відкритому стані.

Не допускається захаращувати проходи та коридори в будинках, а входи та виходи повинні постійно утримуватися у справному стані.

Для кожної операції мають бути розроблені та затверджені норми завантаження приміщень та робочих місць, а також допустима кількість працюючих. Затверджені норми завантаження та кількість одночасно працюючих повинні бути вивішені у робочих приміщеннях у вигляді

табличок за підписом начальника та виробництва або написані олійною фарбою на стіні.

Для всіх виробничих приміщень, де проводяться роботи, повинні бути розроблені та суворо дотримуватися технологічних планувань.

Контроль за величиною відносної вологості повітря повинен проводитися на пульті управління по приладах і візуально за психрометром (гігрометром) у кількох точках приміщення поблизу робочих місць через кожну годину протягом зміни із записом у журналі. Перший замір відносної вологості проводиться перед початком роботи.

5.2 Розрахунок вентиляції операторської [14]

У вибухо-вогнебезпечних будинках вентиляція повинна здійснюватися за системою, що запобігає можливим перепадам пожежі з одного приміщення в інше по повітроводах.

Повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами, із вмістом шкідливих вибухо- та вогнебезпечних речовин, перед викидом в атмосферу піддається очищенню до допустимого рівня забруднення проммайданчика, а також до ГДК у повітрі населених пунктів.

Витяжні вентилятори мають іскрозахищене виконання та укомплектовані вибухозахищеними двигунами.

Вихідні дані:

1. Розміри будівлі, м 6x4x6
2. Будівля має:
 - одне вікно розміром 3,5x3м з подвійним склінням та дерев'яними палітурками;
 - одні двері розміром 1x2 м
3. Стіни будівлі цегляні, перекриття бетонні
4. Сумарна потужність трансформаторів, кВт 7
 - 4.1 Сумарна потужність випрямлячів, кВт 7
5. Потужність, що споживається одночасно включеними світильниками, кВт 1
6. В операторній працює одночасно 2 особи
7. Кількість повітря, що надходить зовні, кг/с 0,3
8. Температура зовнішнього повітря, °C:
 - зимою $t_3 = -14$
 - літом $t_n = 25$
9. Розрахункова температура у будівлі, °C трозч = 25
10. Цех знаходиться у північній частині країни.

Висновок

У цьому проекті було розглянуто колону ректифікації тарілчастого типу, із сітчастими тарілками. Описано теоретичні основи процесу, що розглядався. Розглянутий опис технологічної схеми процесу, апаратів та принцип роботи головного апарату. Проведено технологічний та міцнісний розрахунок апарату.

Для колони діаметром 1000 мм за каталогом-довідником приймаємо одно-поточну сітчасту тарілку типу ТС-Р. Число дійсних тарілок у верхній частині колони - 8, у нижній - 4. Висота робочої (тарільчастої) частини колони-5,2 м; загальна висота колони -7,2 м. Ухиляючи особливості процесу для забезпечення умови роботи апарату прийнято карозну сталь аустенітного класу 12Х18Н10Т. Матеріал зовнішнього оснащення, арматури, кріпильних елементів виготовляють із конструкційної сталі 20.

Література

1. Онищук О. О., Кормош Ж. О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 155 с.
2. Врагов А.П., Гідромеханічні процеси та обладнання хімічних і нафтохімічних виробництв: Навчальний посібник. – Суми: Видавництво Сумського державного університету, 2001. – 216 с.
3. Дмитренко І. В. Конспект лекцій з дисципліни "Процеси та апарати хімічних виробництв". Ч. 1. Гідромеханічні процеси для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія / уклад. І. В. Дмитренко, Л. В. Тимошевська ; Держ. ун-т "Одеська політехніка". – Одеса, 2021. – 87 с.
4. Атаманюк В.М. Конспект лекцій з курсу «Розрахунок і конструювання машин та апаратів хімічних та силікатних виробництв. Розрахунок ємнісних апаратів» / В.М. Атаманюк. – Львів : видво НУ «Львівська політехніка», 2001– 99с.
5. Дубинін А.І. Обладнання для розділення компонентів : навч. посіб. / А.І. Дубинін, Я.М. Ханик, В.М. Атаманюк. – Львів : вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005. – 140 с.
6. Коваленко І. В. Процеси та апарати хімічної технології: Метод. посіб. з курсу лекцій, практич. та самост. робіт. — К.: НТУУ «КПІ», 2003. — 160 с.
7. Коваленко І. В., Малиновський В. В., Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник /. — К.: Інрес : Воля, 2005. — 264 с.: іл. — Бібліогр.: с. 253—255.
8. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. , ШАПОРЕВ В. П. , МОІСЕЄВ В. Ф. та інші Машини та апарати у хімічних, харчових і переробних виробництвах, Харків: Колегіум, 2011, 606 с web.kpi.kharkov.ua/htpe
9. МОІСЕЄВ В.Ф., МАНОЙЛО Є. В. , МАНОЙЛО Ю.О., ПІТАК І.В. та інші Машини та апарати у хімічних, харчових і переробних виробництвах: Лабораторний практикум, Харків: НТМТ, 2011, 220 с web.kpi.kharkov.ua/htpe
10. Малишев В., Залюбовський М., Машини та обладнання підприємства. Київ: Університет "Україна", 2020, 120 с
11. Малишев В., Залюбовський М., Панасюк І., Машини зі складним рухом робочих ємкостей. Київ: Університет "Україна", 2018, 228 с
12. Сукач М.К., Будівельні машини і обладнання. Київ: Ліра-К, 2016, 408 с
13. Шевченко О., Марценюк О., Ткачук Н.. Коливання, пульсації і нестационарні режими у сорбційних процесах. Київ: Кондор, 2017, 472 с
14. Рожков А.П. Пожежна безпека: Навчальний посібник. – Київ: Пожінформтехніка, 1999. –256 с.