

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- B – ширина, м;
- C_p – масова теплоємність за сталого тиску, Дж/(кг·град);
- D – діаметр, м;
- d – діаметр штуцера, м;
- F – поверхня контакту, м;
- K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·град);
- t – температура °С;
- w – швидкість потоку рідини, м/с;
- ω – кутова швидкість
- Q – тепловий потік, Вт;
- m – витрата речовини, кг/с;
- c – теплоємність речовини (питома), Дж/(кг·К);
- G_w – продуктивність кубового залишку, кг/год;
- G_p – продуктивність по дистилляту, кг/год;
- G_F – продуктивність повихідній суміші, кг/год;
- M_A, M_B – молярна маса компонента, кг/кмоль;
- R_{\min} – мінімальне флегмове число;
- K_R – коефіцієнт надлишку флегми;
- R – дійсне флегмове число;
- r – питома теплота пароутворення;
- H – висота середовища в апараті, м;
- g – прискорення вільного падіння, м/с²;
- P – розрахунковий тиск, МПа;
- P_k – тиск у сосуді під час дії запобіжного клапана, МПа;
- P_r – гідростатичний тиск, МПа;
- f – коефіцієнт міцності зварених швів;
- S – прибавка до розрахункової товщини, мм;
- Π – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

S_1 – виконавча товщина стінки днища, мм;

S_{1p} – розрахункова товщина стінки днища, мм;

C_3 – прибавка для компенсації корозії, мм;

W_y – швидкість пару, м/с;

W_ϕ – швидкість руху потоку, м/с

V_ϕ – об'ємна продуктивність потоку, м³/с.

ВСТУП

У багатьох хімічних виробництвах оброблювані матеріали або кінцеві продукти часто являють собою суміші рідин, які необхідно розділяти на складові частини.

Найпоширенішим методом поділу сумішей рідини, а також зріджених сумішей газів на складові частини є перегонка (дистиляція й ректифікація), застосовувана в різних варіантах. Природно, що перегонка має важливе значення в хімічній технології, особливо у зв'язку з розвитком безперервних процесів.

Перегонка являє собою процес, у якому поділювана рідка суміш нагрівається до кипіння, а пара, що утворюється, відбирається й конденсується. У результаті одержують рідину, сполуку якої відрізняється від сполуки первісної суміші. Повторюючи багато раз процеси випару й конденсації, можна майже повністю розділити суміш на чисті складові частини.

Процес перегонки рідких сумішей заснований на тому, що рідини, що становлять суміш, мають різну летючість, тобто при одній і тій же температурі мають різну пружність пар.

Склад пари, а, отже, і склад рідини, що виходить при конденсації пари, буде трохи відрізнятися від сполуки початкової суміші; легколетучого компонента в парі буде втримуватися більше, чим у рідині, що переганяється.

Перегонці піддають розчини, у яких розчинник і розчинена речовину мають летючість, внаслідок чого в пару перетворюються одночасно й розчинник і розчинена речовина в кількостях, що відповідають їхньої летючості. При перегонці відбувається повне або частковий поділ розчину на складові його компонента, причому в більшості випадків кінцевими продуктами є й відгін (дистилят) і залишок, що не перетворився в пару.

Застосовувані способи перегонки можуть бути в основному розбиті на дві групи:

1) проста перегонка, включаючи перегонку під вакуумом, перегонку з водяною парою й сублімацію (сублімацію);

2) ректифікація.

Проста перегонка застосовується для поділу сумішей, що виявляють собою легколетюча речовина зі змістом домішки нелетючих або досить труднолетючих речовин.

Ректифікація – широко розповсюджений спосіб найбільш повного поділу сумішей летучих рідин, частково або цілком розчинних друг у другові. Ректифікація являє собою перегонку, яка супроводжується взаємодією пар, що піднімаються, зі стікаючої їм назустріч рідиною (флегмою), отриманої при частковій конденсації пар.

Принцип ректифікації. Найпростішими способами перегонки рідких сумішей, як це вказувалося вище, є: 1) часткове випаровування рідини й конденсація отриманих пар з відводом конденсату (проста перегонка) і 2) часткова конденсація пар суміші, що переганяється, з відводом конденсату (проста конденсація). Кожний із цих процесів окремо не приводить до одержання досить чистих продуктів, але, здійснюючи обоє ці процесу одночасно й багаторазово в протivotочних колонах, можна досягтися поділу рідкої суміші на чисті, що становлять суміш компонента. Такий процес поділу рідких сумішей за допомогою одночасно й багаторазово повторюваних часткових випаровувань і конденсацій називають ректифікацією.

Процес ректифікації здійснюється в протivotочних апаратах-колонах: пари рідини, що переганяється, протікають знизу нагору, назустріч парам зверху вниз протікає рідина, що подавати у верхній елемент колони. Між рідкої й паровий фазами виникає масообмін, внаслідок якого пари в міру їх просування по колоні збагачуються легколетючим компонентом, а рідина – менш летучим компонентом. В остаточному підсумку пар, що

виходить із верхньої частини колони, являє собою більш-менш чистий легколетучий компонент, конденсація якого дає готовий продукт-дистилят, а з нижньої частини колони випливає порівняно чистий менш летучий компонент, так званий кубовий залишок, який, так само, як і дистилят, може бути кінцевим продуктом перегонки.

Рідина, що надходить на зрошення колони, називають флегмою; її одержують шляхом конденсації пар, що піднімаються з верхньої частини колони, у спеціальних конденсаторах-дефлегматорах. Для утвору пар нижній елемент колони постачають, що гріють пристосуваннями у вигляді змійовиків або трубчаток, у які й підводять необхідна кількість тепла, у більшості випадків з водяною парою, що гріє.

Ступінь поділу рідкої суміші на складові її компонента й чистота одержуваних дистиляту й кубового залишку залежать від того, наскільки розвинена поверхня фазового контакту, а останнє визначається кількістю зрошуваної рідини-флегми й конструктивним оформленням апарата.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Перегонка рідини

Ректифікація – один зі способів поділу рідких сумішей заснований на різному розподілі компонентів суміші між рідкою й паровий фазами. У якості апаратів службовців для проведення ректифікації використовуються ректифікаційні колони -, що складаються із власне колони, де здійснюється протivotочне контактування пару й рідини, і обладнань, у яких відбувається випаровування рідини й конденсація пару — куба й дефлегматора. Колона являє собою вертикально розташований порожній циліндр, усередині якого встановлені так звані тарілки (контактні пристрої різної конструкції) або поміщений фігурний кусковий матеріал — насадка. Куб і дефлегматор — це звичайно кожухотрубні теплообмінники (знаходять застосування також трубчасті печі й куби-випарники).

Призначення тарілок і насадки - поділ міжфазної поверхні й поліпшення контакту між рідиною й паром. Тарілки, як правило, забезпечуються пристроєм для переливу рідини. У якості насадки ректифікаційних колон звичайно використовуються кільця, діаметр яких рівний їхній висоті.

Як у насадочних, так і в тарілчастих колонах кінетична енергія пару використовується для подолання гідравлічного опору контактних обладнань і для створення динамічної дисперсної системи пар — рідини з великою міжфазною поверхнею. Існують також ректифікаційні колони з підведенням механічної енергії, у яких дисперсна система створюється при обертанні ротора, встановленого по осі колони. Роторні апарати мають менший перепад тиску по висоті, що особливо важливо для вакуумних колон.

За способом проведення розрізняють - безперервну й періодичну ректифікацію. У першому випадку поділювана суміш безупинно подається в ректифікаційну колону, а з колони безупинно приділяються дві або більш число фракцій, збагачених одними компонентами й збіднених іншими.

Повна колона складається із двох секцій зміцнювальною й вичерпною. Вихідна суміш (звичайно при температурі кипіння) подається в колону, де змішується з так званою витягнутою рідиною, що стікає по контактних пристроях (тарілках або насадці) вичерпної секції протитечією до потоку піднімаючого пару. Досягаючи низу колони, рідина збагачується тяжколетучими компонентами. Унизу рідина частково випаровується в результаті нагрівання теплоносієм, що підводить, і пара знову надходить у вичерпну секцію. Пройшовши її, збагачений легколетучими компонентами, пара надходить у дефлегматор, де звичайно повністю конденсується підходящим холодоагентом. Отримана рідина ділиться на два потоки - дистиллят і флегму. Дистиллят є продуктивним потоком, а флегма надходить на зрошення зміцнювальної секції, по контактних обладнаннях якої стікає. Частина рідини виводиться з куба колони у вигляді так званого кубового залишку (також продуктивний потік).

Якщо вихідну суміш потрібно розділити безперервним способом на число фракцій більше двох, то застосовується послідовна або паралельно - послідовна сполука колон.

При періодичній ректифікації вихідна рідка суміш одноразово завантажується в куб колони, ємність якої відповідає бажаній продуктивності. Пари надходять у колону й піднімаються до дефлегматора, де відбувається їхня конденсація. У початковий період увесь конденсат вертається в колону, що відповідає режиму повного зрошення. Потім конденсат ділиться на дистиллят і флегму. У міру відбору дистилляту (або при постійному флегмовому числі, або з його зміною з колони виводяться спочатку легколетучі компоненти, потім середньоюлетучі і так далі). Потрібну фракцію (або фракції) відбирають у відповідний збірник. Операція триває до повної переробки спочатку завантаженої суміші.

Основні області промислового застосування ректифікації — одержання окремих фракцій і індивідуальних вуглеводнів з нафтової сировини в нафтопереробній і нафтохімічній промисловості, окисі етилену,

акрилонитрилу, акрилхлорсиланів - у хімічній промисловості. Ректифікація широко використовується й в інших галузях народного господарства: коксохімічної, лісохімічної, харчовий, хіміко-фармацевтичної промисловостях.

1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини

Ректифікація, як і інші процеси масопередавання, протікає на поверхні розділу фаз, тому апарати для ректифікації повинні забезпечувати розвинену поверхню контакту між паровою й рідкою фазою.

Для проведення процесів ректифікації застосовуються апарати колонного типу. По характеру взаємодії паровий і рідкої фаз ректифікаційні колони можна розділити на дві основні групи:

- зі східчастим (дискретним) контактом фаз;
- з безперервним контактом фаз.

Ректифікаційні колони з безперервним контактом фаз - у цих колонах рідина стікає у вигляді плівки – або по поверхні насадки (насадочні колони), або по внутрішній або зовнішній поверхні вертикальних труб (плівкові й роторно-плівкові апарати), а пара у вигляді суцільного потоку піднімається нагору через вільний об'єм насадки лил усередині вертикальних труб.

Ректифікаційні колони зі східчастим контактом фаз – являють собою колони, усередині яких на певній відстані один від одного по висоті колони розміщують горизонтальні перегородки – тарілки. Тарілки служать для розвитку поверхні контакту фаз при спрямованому русі цих фаз (рідина тече зверху вниз, а пара проходить у вигляді пухирців або струмків знизу нагору) і багаторазовій взаємодії рідини й пари.

Гідродинамічні режими роботи тарілок. 1) Бульбашковий (барботаажний) режим виникає при невеликих швидкостях пари, коли у вигляді окремих пухирців пара рухається через шар рідини на тарілці. Поверхня контакту фаз у цьому режимі невелика. 2) Пінний режим виникає при збільшенні швидкості пари, коли його пухирці, що виходять із прорізів і

отворів, зливаються в струмені, які внаслідок опору барботажного шару руйнуються з утвором ще більшого числа дрібних пухирців. При цьому на тарілці утворюється газорідинна система – піна. Основною поверхнею контакту фаз у такій системі є поверхня пухирців, а також струменів пари й крапля рідини над парожидкостною системою, які утворюються при руйнуванні пухирців пари в момент їх виходу з барботажного шару. Поверхня контакту фаз при пінному режимі найбільша, тому пінний режим звичайно є найбільш раціональним режимом роботи тарілчастих колон. 3) Струминний (інжекційний) режим виникає при подальшому збільшенні швидкості пари, коли збільшується довжина парових струменів і настає такий режим, при якому вони виходять із газорідинного шару не руйнуючись, але утворюючи велику кількість бризів. У цьому режимі поверхня контакту фаз суттєво менше, чим у пінному.

По способу зливу рідини з тарілки на тарілку тарілчасті колони підрозділяються на колони з тарілками зі зливальними обладнаннями й з тарілками без зливальних обладнань.

Тарілчасті колони зі зливальними обладнаннями. До апаратів цього типу ставляться колони з ковпачковими, сітчастими, клапанними й іншими тарілками. Ці тарілки мають спеціальні обладнання для перетікання рідини з однієї тарілки на іншу – зливальні трубки, кишені і т.д. Нижні кінці зливальних обладнань занурені в рідину на нижчерозташованих тарілках для створення гідрозатвора, що запобігає проходженню газу через зливальне обладнання.

Сітчасті тарілки (рис. 1.1) мають велику кількість отворів діаметром 2-8 мм, через які проходить пара в шар рідини на тарілці. До достоїнств сітчастих тарілок відносяться простота їх обладнання, легкість монтажу й ремонту, низький гідравлічний опір, досить висока ефективність. Недоліки: по-перше, при занадто малій швидкості пару рідина може просочуватися через отвори тарілки на нижчерозташовану тарілку, що приводить до

істотного зниження рушійної сили процесу ректифікації. По-друге, ці тарілки чутливі до забруднень і опадом, які забивають їхні отвори.

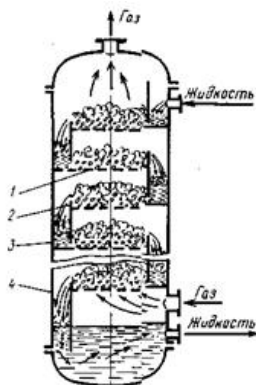


Рис. 1.2 Тарілчаста колона із сітчастими тарілками

1.3 Конструкція ємнісного обладнання

Враховуючи широкий діапазон тиску і температур робочого середовища, а також різноманітність їх властивостей, до сучасних апаратів пред'являються такі основні вимоги:

- конструкція апарату має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією терміну служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі і експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої поверхні), очищення, промивання, продування і ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої кресленням;

- застосування конкретного типорозміру апарата повинне забезпечувати передачу потрібної кількості тепла від одного середовища до іншого з отриманням необхідних кінцевих температур кожного робочого середовища при заданому рівні гідравлічних опорів.

Горизонтальний суцільнозварний апарат з еліптичними днищами призначений для приймання, зберігання та видачі рідких і газоподібних середовищ при умовному тиску в апараті 1 МПа (10 кг/см²).

Видача рідких середовищ може здійснюватися як самопливом, так і передавлюванням стисненим повітрям, технологічним або інертним газом.

Апарат має технологічні штуцера і штуцера для приєднання контрольно-вимірювальних пристроїв.

Апарат обладнаний люком для огляду внутрішньої поверхні.

Апарат теплоізолюваний, втулки для кріплення теплоізоляції розміщуються відповідно до ГОСТ 17314-81.

Конструкцією апарата передбачена можливість заземлення його під час експлуатації, а також можливість приварки до апарата зовнішніх сходів і майданчиків обслуговування.

Монтаж апарата здійснюється за 4 цапфи.

Апарат установлений на 4-х сідлових опорах.

Можливість застосування апаратів для конкретних умов експлуатації (у тому числі по шкідливості, небезпеці, температурі, корозійних властивостях робітничих середовищ, вимогам безпеки конкретних виробництв, і т.д.), застосування на місці монтажу арматури, приладів КВПіА, а також прокладочних матеріалів, відмінних від вхідних у комплект поставки визначає проектна організація, що застосовує апарати у своїх розробках.

Горизонтальні апарати виготовляють із сідловими опорами – для установки на бетонні опори шириною 300 мм і кутом охоплення 120°.

Вертикальні апарати з еліптичними й конічними днищами виготовляють із опорами – стійками і лапами

Вертикальні апарати із плоскими днищами виготовляють без опор – для установки на спеціальну тверду основу.

Апарати суцільнозварні.

Апарати оснащені штуцерами різного технологічного призначення, штуцерами для приєднання контрольно-вимірювальних приладів і первинних приладів мікропроцесорних обладнань; штуцерами для запобіжних клапанів (в апаратах працюючих під тиском) і люками – лазами.

2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ

2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони

Колона ректифікації та ємність є складовими частинами апаратурного оформлення процесу ректифікації. Вони відносяться до основного обладнання. Технологічна схема ректифікаційної установки представлена на рис.2.1. До її складу входять:

- колона **КР**;
- ємності **Е1, Е2, Е3**;
- насоси **Н1, Н2, Н3**;
- підігрівник вихідної суміші **П**;
- холодильники **Х1 і Х2**;
- кип'ятильник **К**;
- дефлегматор **Д**.

Установка працює наступним чином:

Вихідна суміш із проміжної ємності **Е1** відцентровими насосами **Н1** і **Н2** подається в теплообмінник **П**, де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш надходить на розділення у середину ректифікаційної колони **КР** на тарілку живлення, де сполука рідини дорівнює сполуці вихідної суміші.

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з парою, що піднімається нагору та утворюються при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику **К**. Початкова сполука пари приблизно дорівнює сполуці кубового залишку, тобто збіднений легколетучим компонентом. У результаті масообміну з рідиною пар збагачується легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмовим числом рідиною (флегмою), одержуваною в дефлегматорі **Д** шляхом конденсації пари, що виходить із колони. Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту поділу – дистилляту, який прохолоджується в теплообміннику **Х2** і направляється в проміжну ємність **Е3**.

З кубової частини колони насосом **НЗ** безупинно виводиться кубова рідина – продукт, збагачений важколетучим компонентом, який проохолоджується в теплообміннику **X1** і направляється в ємність **E2**.

Таким чином, у ректифікаційній колоні здійснюється безперервний процес поділу вихідної бінарної суміші на дистилат (з високим змістом легколетучого компонента) і кубовий залишок (збагачений важколетучим компонентом).

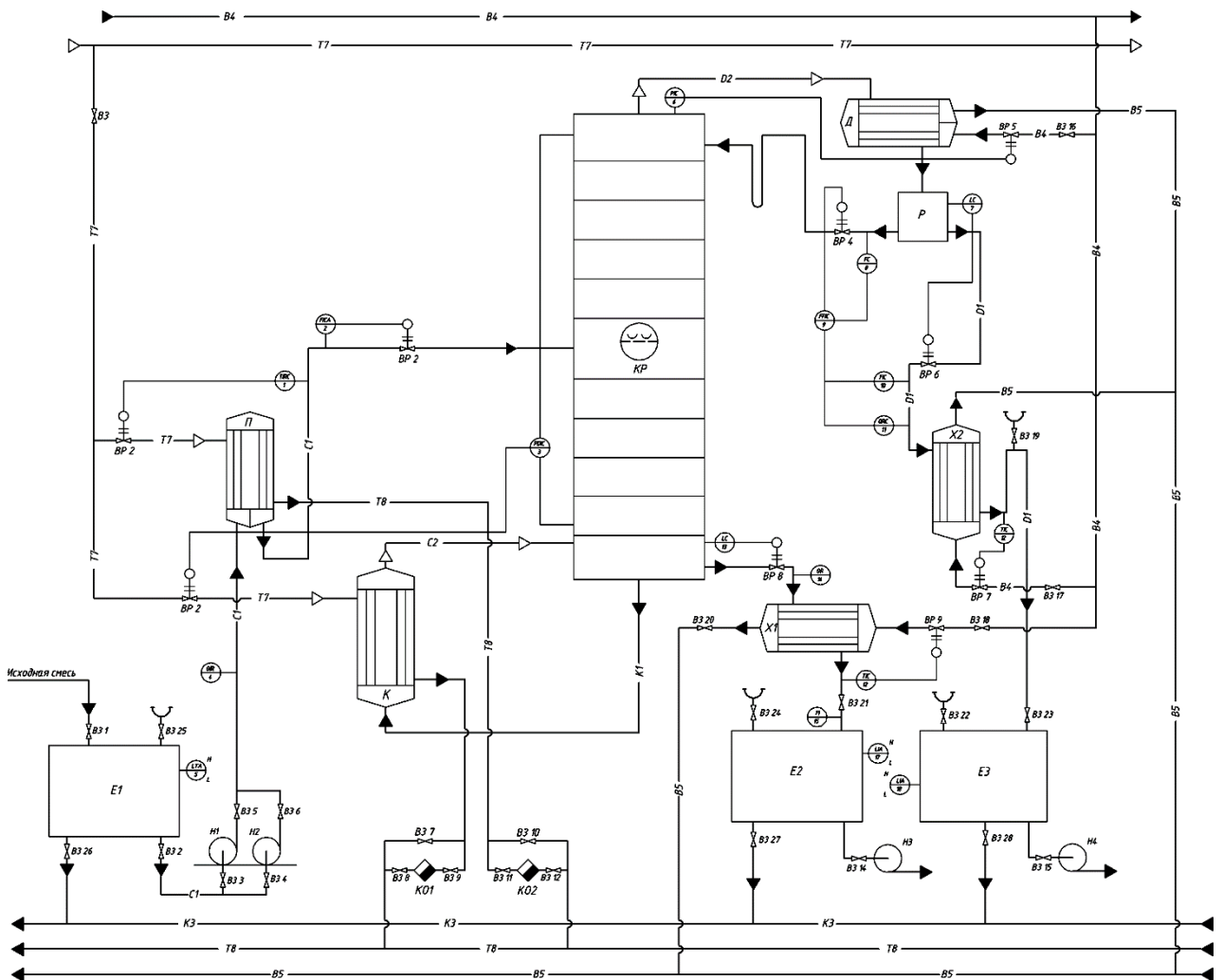


Рис. 2.1 – Схема ректифікаційній установці

Колона з сітчастими тарілками (рис.2.2) призначена для розділення суміші метанол-вода продуктивністю 2,25 т/год по дистилату.

Колона із сітчастими тарілками являє собою вертикальний циліндричний корпус із горизонтальними тарілками, у яких рівномірно по всій поверхні просвердлене значне число отворів діаметром 1-5 мм. Для зливу

рідини й регулювання її рівня на тарілці служать переливні трубки, нижні кінці яких занурені в склянки.

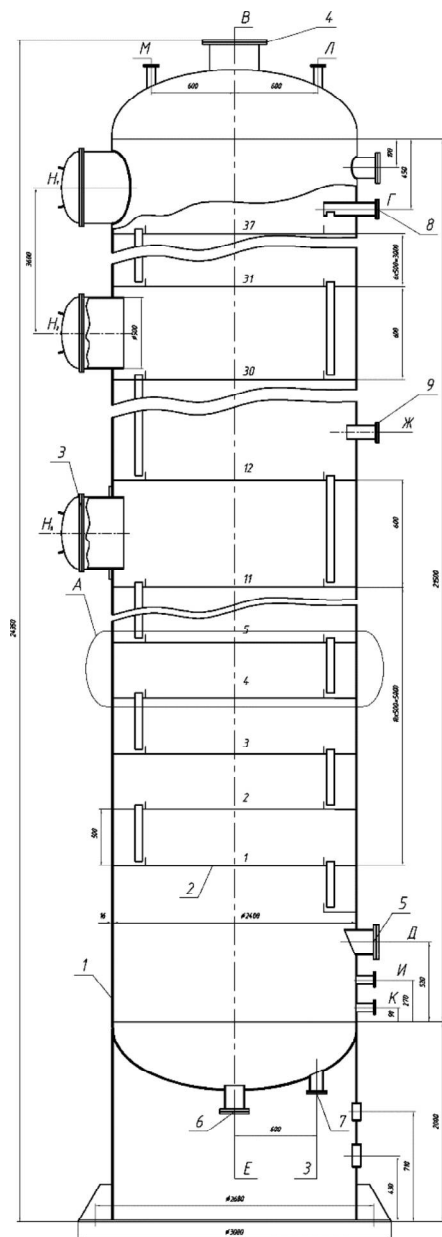


Рис. 2.2 – Колона з сітчастими тарілками.

Газ проходить крізь отвори тарілки й розподіляється в рідині у вигляді дрібних струмків і пухирців. При занадто малій швидкості газу рідина може просочуватися через отвори тарілки на нижче розташована, що повинне призвести до істотного зниження інтенсивності масопередачі. Тому газ повинен рухатися з певною швидкістю й мати тиск, достатній для того, щоб подолати тиск шару рідини на тарілці та запобігти стиканню рідини через отвори тарілки.

Сітчасті тарілки відрізняються простотою обладнання, легкістю монтажу, огляду й ремонту. Гідравлічний опір цих тарілок невеликий. Сітчасті тарілки стійко працюють у досить широкому інтервалі швидкостей газу, причому в певному діапазоні навантажень по газу й рідині ці тарілки мають високу ефективність. Разом з тим сітчасті тарілки чутливі до забруднень і опадам, які забивають отвори тарілок. У випадку раптового припинення надходження газу або значного зниження його тиску з сітчастих тарілок зливається вся рідина, і для поновлення процесу потрібно знову запускати колону.

2.2 Опис конструкції ємності

Горизонтальна ємність зображено на рис. 2.3. Горизонтальний суцільнозварний апарат з еліптичними днищами призначений для приймання, зберігання та видачі рідких і газоподібних середовищ при умовному тиску в апараті 1 МПа (10 кг/см²).

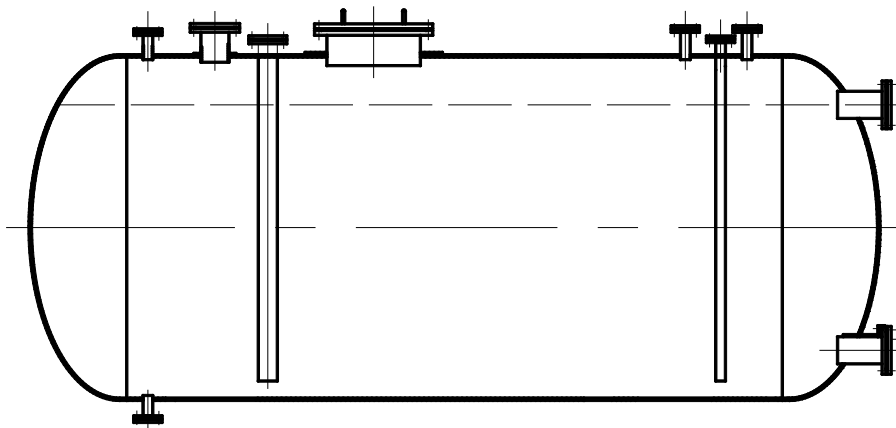


Рис. 2.3 – Горизонтальний суцільнозварний апарат с еліптичними днищами.

Видача рідких середовищ може здійснюватися як самопливом, так і перетисненням стисненим повітрям, технологічним або інертним газом.

Апарат має технологічні штуцера і штуцера для приєднання контрольно-вимірювальних пристроїв.

Апарат обладнаний люком для огляду внутрішньої поверхні.

Апарат теплоізолюваний, втулки для кріплення теплоізоляції розміщуються відповідно до ГОСТ 17314-81.

Конструкцією апарата передбачена можливість заземлення його під час експлуатації, а також можливість приварки до апарата зовнішніх сходів і майданчиків обслуговування.

Монтаж апарата здійснюється за 4 цапфи.

Апарат установлений на 4-х сідлових опорах.

Можливість застосування апаратів для конкретних умов експлуатації (у тому числі по шкідливості, небезпеці, температурі, корозійних властивостях робітничих середовищ, вимогам безпеки конкретних виробництв, і т.д.), застосування на місці монтажу арматури, приладів КВПіА, а також прокладочних матеріалів, відмінних від вхідних у комплект поставки визначає проектна організація, що застосовує апарати у своїх розробках.

Горизонтальні апарати виготовляють із сідловими опорами – для установки на бетонні опори шириною 300 мм і кутом охоплення 120°.

Вертикальні апарати з еліптичними й конічними днищами виготовляють із опорами – стійками і лапами

Вертикальні апарати із плоскими днищами виготовляють без опор – для установки на спеціальну тверду основу.

Апарати суцільнозварні.

Апарати оснащені штуцерами різного технологічного призначення, штуцерами для приєднання контрольно-вимірювальних приладів і первинних приладів мікропроцесорних обладнань; штуцерами для запобіжних клапанів (в апаратах працюючих під тиском) і люками – лазами.

Враховуючи широкий діапазон тисків та температур робочих середовищ, а також різноманітність їхніх властивостей, до сучасних емністних апаратів пред'являються такі основні вимоги: конструкція апарата має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією строку служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі та експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої

поверхні), очистки, промивки, продувки та ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої креслеником.

Для кожного типу сталевих ємнісних апаратів у залежності від їх призначення матеріали регламентовано відповідними Держстандартами.

3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЄМНОСТІ

Враховуючи широкий діапазон тисків та температур робочих середовищ, а також різноманітність їхніх властивостей, до сучасних ємністних апаратів пред'являються такі основні вимоги: конструкція апарата має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією строку служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі та експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої поверхні), очистки, промивки, продувки та ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої креслеником.

Для кожного типу сталевих ємністних апаратів у залежності від їх призначення матеріали регламентовано відповідними держстандартами.

В якості конструкційного матеріалу для корпусу апарата вибираємо сталь Ст3 ГОСТ 5632-72: яка використовується для виготовлення деталей хімічної апаратури при роботі з середовищами.

Матеріал труб для виготовлення патрубків штуцерів розташованих на корпусі – сталь Ст3 ГОСТ 5632-72.

Для фланців арматур, сполучних частин і штуцерів прийнятий фланець плоский приварної із гладкою ущільнювальною поверхнею. Матеріал фланців – сталь Ст3 ГОСТ 5632-72.

Матеріал кріпильних виробів, болтів і гайок для фланців штуцерів – сталь 35 по ГОСТ 10702-78.

Для фланцевих сполук арматур і трубопроводів ухвалюємо прокладку – поранит ПОН-1 ГОСТ 15180-86.

Матеріал опор і цапф для стропування – Ст3сп5 ГОСТ 13716-73.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ

4.1 Вихідні дані

Продуктивність за дистиллятом	- 2,25 т/год.
Концентрація метанолу:	
у вихідній суміші	- $a_F = 46,5\%$ (мас.),
в дистилляті	- $a_P = 98,5\%$ (мас.),
в кубовому залишку	- $a_W = 1,8\%$ (мас.).
Температура:	
охолоджуючої води	- 12 °С,
дистилляту після холодильника	- 20 °С,
кубового залишку після холодильника	- 20 °С,
вихідної суміші	- 18 °С.
Тиск насиченої водяної пари	- 5,0 ата.
Коефіцієнт надлишку флегми	- 1,8.
Молярні маси:	
метанолу	- 32 г/моль,
води	- 18 г/моль.
Температури кипіння:	
метанолу	- 64,5 °С,
води	- 100,0 °С.
Швидкість руху пару по колоні	- 1,7 м/с.
ККД тарілки	- 0,82.
Відстань між тарілками	- 500 мм.
Діаметр отворів в тарілці	- 25 мм.
Колона працює під атмосферним тиском.	
Вихідна суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння.	

4.2 Визначення продуктивності за вихідною сумішшю і кубовим залишком

Продуктивність колони по вихідній суміші визначаємо по формулі:

$$G_F = G_P \cdot \frac{\alpha_P - \alpha_W}{\alpha_F - \alpha_W} \quad (4.1)$$

де G_P – продуктивність по дистилляту, кг/год;

α_F – масова концентрація низько киплячого компонента у вихідній суміші, %(мас.);

α_P – масова концентрація низько киплячого компонента в дистилляті, %(мас.);

α_W – масова концентрація низько киплячого компонента в кубовому залишку, %(мас.).

$$G_F = 2250 \frac{0,985 - 0,018}{0,465 - 0,018} = 4867,4 \text{ кг/год}$$

Продуктивність колони по кубовому залишкові визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_P, \quad (4.2)$$

$$G_W = 4867,4 - 2250 = 2617,4 \text{ кг/год}$$

Перевірка:

$$4867,4 \cdot 0,465 = 2250 \cdot 0,985 + 2617,4 \cdot 0,018$$

$$2263,3 = 2263,3$$

4.3 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні по формулі:

$$X = \frac{\frac{\alpha}{M_A}}{\frac{\alpha}{M_A} + \frac{1-\alpha}{M_B}}, \quad (4.3)$$

де X – концентрація низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мол. частки;

α – зміст низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, %(мас.);

M_A, M_B – молярна маса компонента А и В (відповідно).

Молярні маси: метанол – 32 кг/кмоль.

вода – 18 кг/кмоль.

Тоді концентрація вихідної суміші рівна:

$$X_F = \frac{\frac{0,465}{32}}{\frac{0,465}{32} + \frac{1-0,465}{18}} = 0,36$$

дистиляту:

$$X_P = \frac{\frac{0,985}{32}}{\frac{0,985}{32} + \frac{1-0,985}{18}} = 0,965$$

кубового залишку:

$$X_W = \frac{\frac{0,018}{32}}{\frac{0,018}{32} + \frac{1-0,018}{18}} = 0,017$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графоаналітичним способом. Для цього на підставі досвідчених даних, у координатах у-х будуємо криву рівноваги для суміші метанол–вода при атмосферному тиску (рис. 2.1) і криву температур кипіння й конденсації (рис. 2.2).

Таблиця 2.1. Рівноважні дані для суміші метанол–вода

Зміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
у рідині (x)	у парі (y)	
0	0,0	100,0
5	26,8	92,3
10	41,8	87,7
20	57,9	81,7
30	66,5	78,0
40	72,9	75,3
50	77,9	73,1

Зміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °С
у рідині (x)	у парі (y)	
60	82,5	71,2
70	87,0	69,3
80	91,5	67,6
90	95,8	66,0
100	100,0	64,5

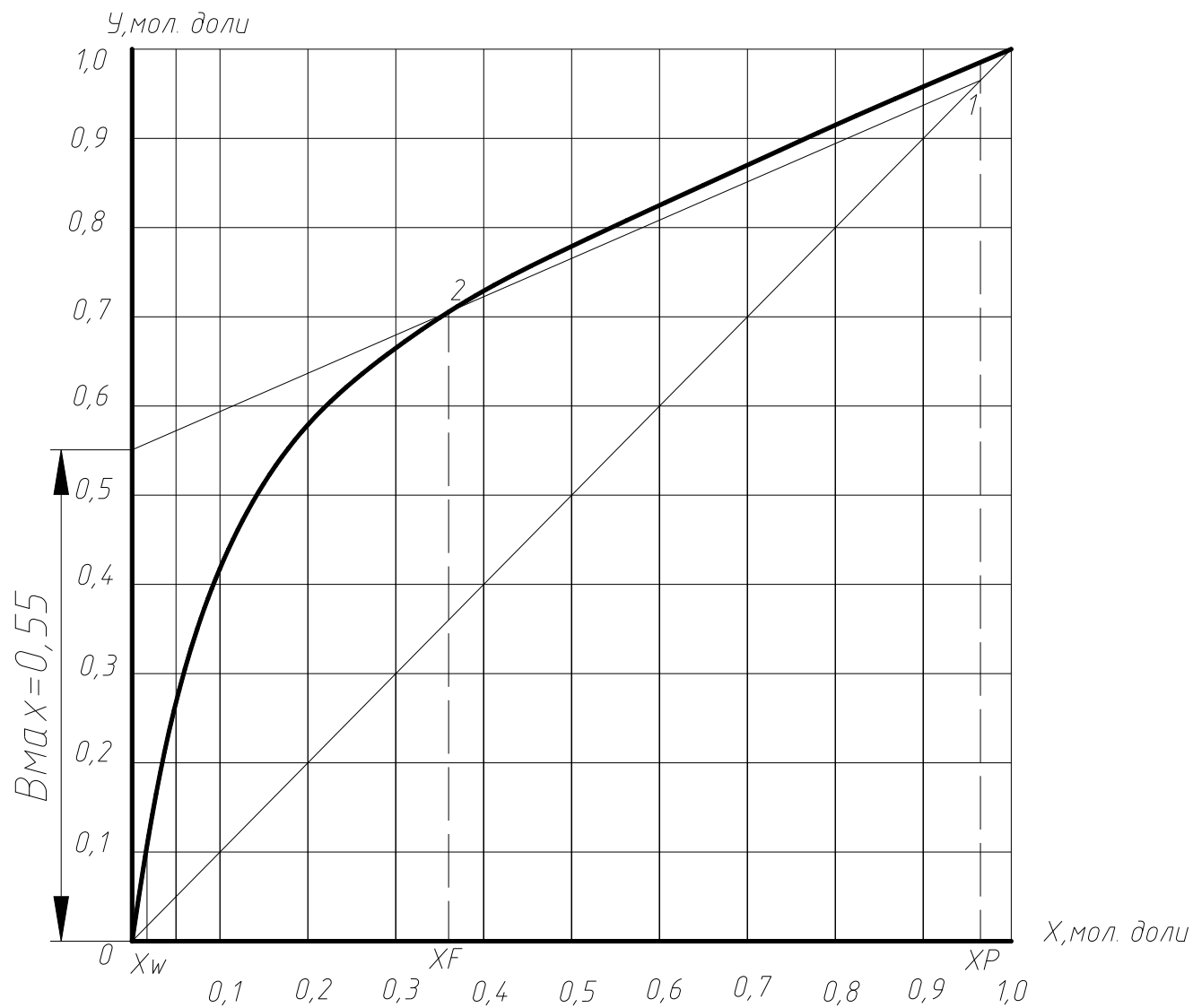


Рис. 4.1 – До визначення мінімального флегмового числа.

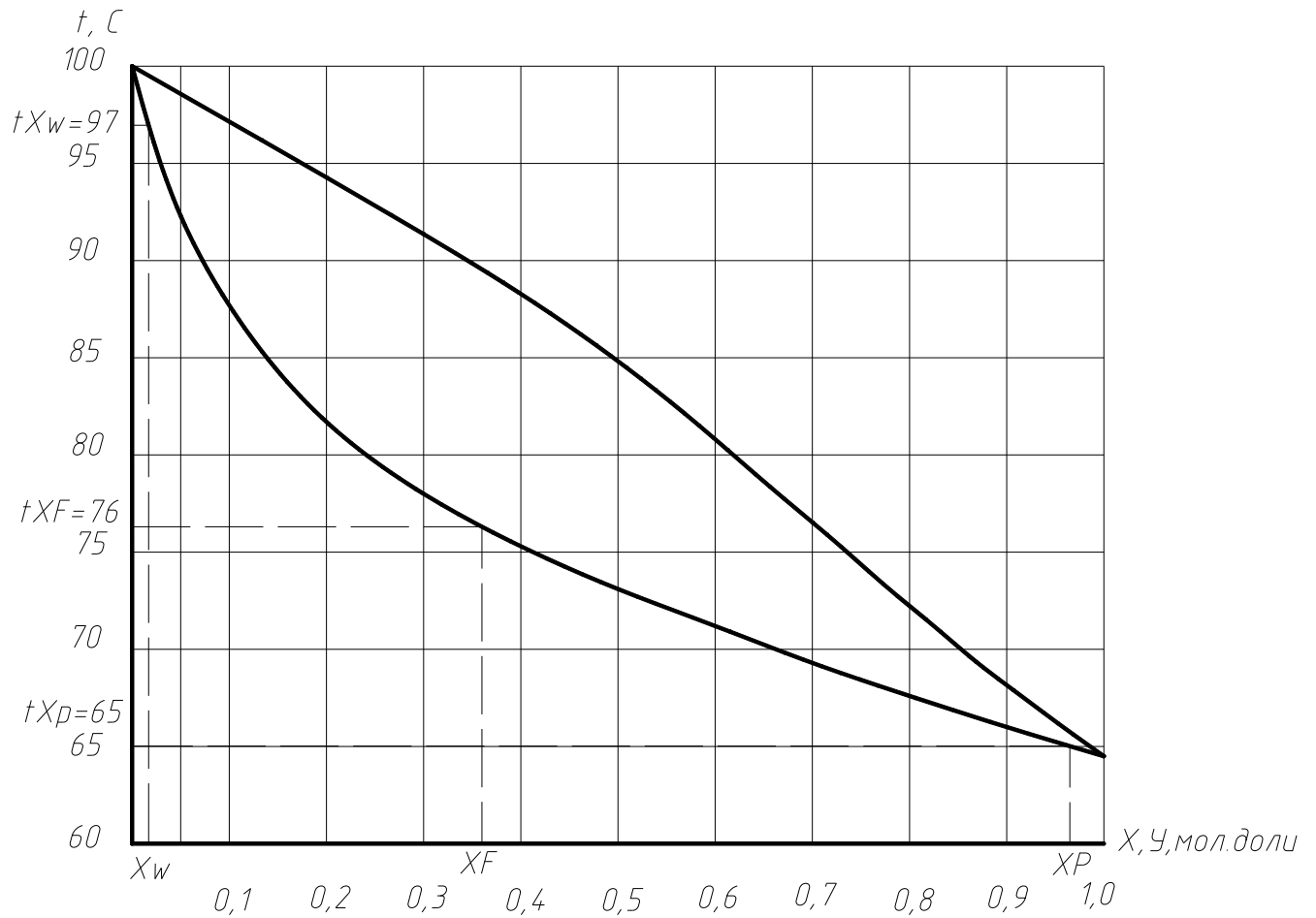


Рис. 4.2 – Ізобару температур кипіння й конденсації.

На діаграмі y - x із точки 1 ($x_p = y_p$) через точку 2' (x_F, y_F^*) проводимо пряму лінію до перетинання з віссю y . Відрізок, що відтинається на осі y , позначимо через $B_{\max} = 0,55$. По величині цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{X_p}{B_{\max}} - 1, \quad (4.4)$$

де R_{\min} – мінімальне флегмове число;

X_p – концентрація низькокиплячого компонента в дистилаті, %(мол.).

$$R_{\min} = \frac{0,965}{0,55} - 1 = 0,628$$

Дійсне флегмове число:

$$R = K_R \cdot R_{\min}, \quad (4.5)$$

де R_{\min} – мінімальне флегмове число;

K_R – коефіцієнт надлишку флегми.

$$R = 1,8 \cdot 0,628 = 1,13$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа $R = 1,13$ (рис. 2.1): для цього на осі у відкладаємо відрізок $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,965}{1,13+1} = 0,45$, кінець якого з'єднуємо прямою із крапкою 1 ($x_p = y_p$); крапку перетинання цієї прямої з вертикальною лінією, проведеної з абсциси x_F , позначимо крапкою 2 (x_F, y_F) і, нарешті, крапку 2 з'єднуємо із крапкою 3 ($x_W = y_W$). Лінії 1-2 і 2-3 є робочими лініями для верхньої й нижньої частин колони, відповідно.

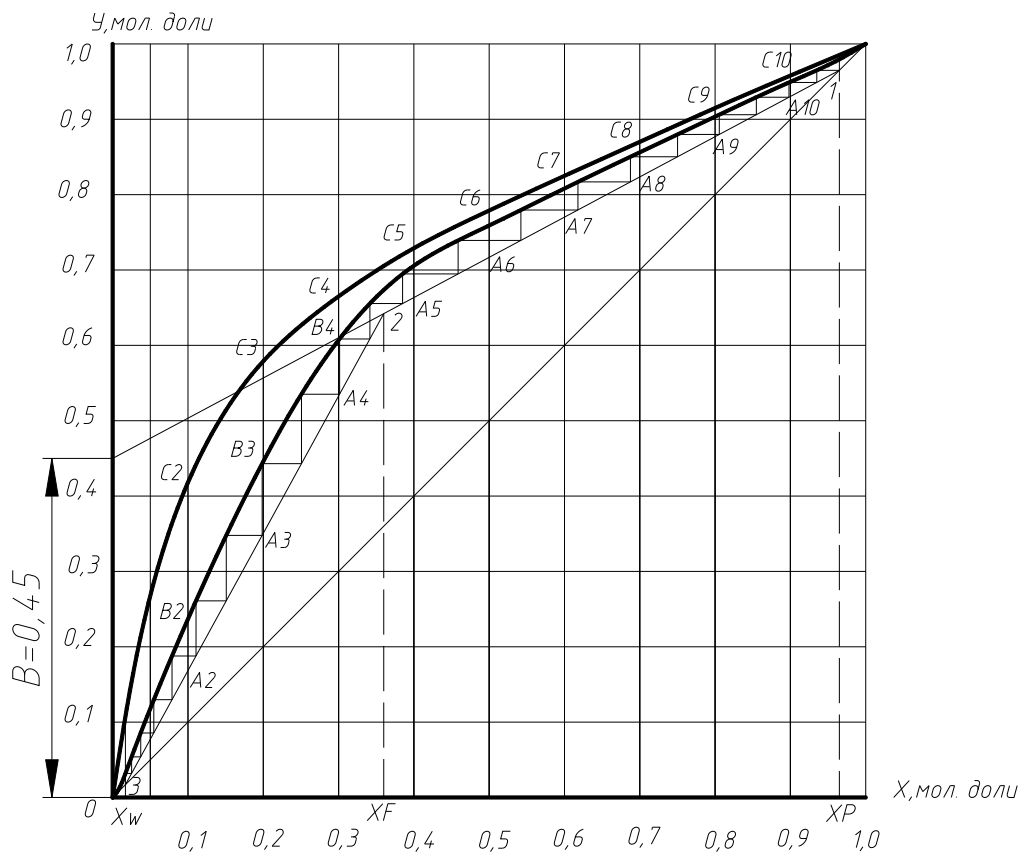


Рис. 2.3 – Побудова кінетичної кривій і визначення числа дійсних тарілок у масштабі 1:1.

4.4 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз

Рідка фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{cp}^H = \frac{X_W + X_F}{2}, \quad (4.6)$$

де X_{cp}^H – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента в нижній частині колони, %(мол.);

X_W – мольна концентрація низькокиплячого компонента в кубовому залишку, %(мол.);

X_F – мольна концентрація низькокиплячого компонента у вихідній суміші, %(мол.).

$$X_{cp}^H = \frac{0,017 + 0,36}{2} = 0,1885$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{cp}^B = \frac{X_F + X_P}{2}, \quad (4.7)$$

де X_{cp}^B – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента у верхній частині колони, %(мол.);

X_P – мольна концентрація низькокиплячого компонента в дистилляті, %(мол.);

X_F – мольна концентрація низькокиплячого компонента у вихідній суміші, %(мол.).

$$X_{cp}^B = \frac{0,36 + 0,965}{2} = 0,6625$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^H + X_{cp}^B}{2}, \quad (4.8)$$

де X_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по колоні, %(мол.);

X_{cp}^H – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента в

нижній частині колони, %(мол.);

X_{cp}^B – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента у верхній частині колони, %(мол.).

$$X_{cp} = \frac{0,1885 + 0,6625}{2} = 0,43$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$a_{cp} = \frac{x_{cp} \cdot M_A}{x_{cp} \cdot M_A + (1 - x_{cp}) \cdot M_B}, \quad (4.9)$$

де a_{cp} – середня масова концентрація по колоні, %(мас.);

X_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по колоні, %(мол.);

M_A – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

M_B – молярна маса компонента В, кг/кмоль .

$$a_{cp} = \frac{0,43 \cdot 32}{0,43 \cdot 32 + (1 - 0,43) \cdot 18} = 0,57$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{xcp}^H = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2}, \quad (4.10)$$

де t_{xcp}^H – середня температура в нижній частині колони, °С;

t_{XW} – температура кубового залишку, °С;

t_{XF} – температура вихідної суміші, °С.

$$t_{xcp}^H = \frac{97 + 76}{2} = 86,5 \text{ °С}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{xcp}^B = \frac{t_{XF} + t_{XP}}{2}, \quad (4.11)$$

де t_{xcp}^B – середня температура у верхній частині колони, °С;

t_{XP} – температура дистилляту, °С;

t_{XF} – температура вихідної суміші, °С.

$$t_{xcp}^B = \frac{76 + 65}{2} = 70,5 \text{ °С}$$

Середня температура по колоні:

$$t_{X_{cp}} = \frac{t_{x_{cp}}^H + t_{x_{cp}}^B}{2}, \quad (4.12)$$

де $t_{X_{cp}}$ – середня температура по колоні, °С;

$t_{x_{cp}}^B$ – середня температура у верхній частині колони, °С;

$t_{x_{cp}}^H$ – середня температура в нижній частині колони, °С.

$$t_{x_{cp}} = \frac{86,5 + 70,5}{2} = 78,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

$$M_{X_{cp}} = M_A \cdot X_{cp} + M_B \cdot (1 - X_{cp}), \quad (4.13)$$

де X_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по колоні, %(мол.);

M_A – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

M_B – молярна маса компонента В, кг/кмоль .

$$M_{X_{cp}} = 32,043 + 18 \cdot (1 - 0,43) = 24,02 \text{ кг/кмоль.}$$

Середня щільність визначається по формулі:

$$\rho_{x_{cp}} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot a_{cp} + \rho_A \cdot (1 - a_{cp})}, \quad (4.14)$$

де $\rho_{x_{cp}}$ – середня щільність рідкої фази, кг/м³;

ρ_A – щільність компонента А при температурі $t_{X_{cp}}$, кг/м³;

ρ_B – щільність компонента В при температурі $t_{X_{cp}}$, кг/м³;

a_{cp} – середня масова концентрація по колоні, %(мас.).

$\rho_A = 737,5 \text{ кг/м}^3$ при $t_{X_{cp}} = 78,5 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$\rho_B = 973 \text{ кг/м}^3$ при $t_{X_{cp}} = 78,5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$\rho_{x_{cp}} = \frac{737,5 \cdot 973}{973 \cdot 0,57 + 737,5 \cdot (1 - 0,57)} = 823,2 \text{ кг/м}^3.$$

Середню в'язкість розраховуємо по рівнянню:

$$\lg \mu_{x_{cp}} = X_{cp} \cdot \lg \mu_A + (1 - X_{cp}) \cdot \lg \mu_B, \quad (4.15)$$

де μ_A – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента А, Па·с;

μ_B – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента В, Па·с;

X_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по колоні, %(мол.).

$$\mu_A = 0,295 \text{ мПа} \cdot \text{с при } t_{x_{cp}} = 78,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\mu_B = 0,365 \text{ мПа} \cdot \text{с при } t_{x_{cp}} = 78,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\lg \mu_{x_{cp}} = 0,43 \cdot \lg 0,295 + (1 - 0,43) \cdot \lg 0,365 = -0,477$$

$$\mu_{x_{cp}} = 0,333 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,333 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Середній поверхневий натяг визначаємо по рівнянню:

$$\sigma_{x_{cp}} = \sigma_A \cdot X_{cp} + \sigma_B \cdot (1 - X_{cp}) \quad (4.16)$$

де σ_A – поверхневий натяг компонента А, Н/м;

σ_B – поверхневий натяг компонента В, Н/м;

X_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по колоні, %(мол.).

$$\sigma_A = 17,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м при } t_{x_{cp}} = 78,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\sigma_B = 62,87 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м при } t_{x_{cp}} = 78,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\sigma_{x_{cp}} = 17,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,43 + 62,87 \cdot 10^{-3} (1 - 0,43) = 43,4 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаємо:

$$D_{x(t)} = D_{x(20)} [1 + b \cdot (t - 20)], \quad (4.17)$$

де $D_{x(20)}$ – коефіцієнт дифузії при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{м}^2/\text{с}$;

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}}, \text{ тут } \mu \text{ [мПа} \cdot \text{с]} \text{ і } \rho \text{ [кг/м}^3\text{]} - \text{в'язкість і щільність розчинника}$$

(води) при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $t = t_{x_{cp}}$.

$$\mu = 1,005 \text{ [мПа} \cdot \text{с]}, \rho = 998 \text{ [кг/м}^3\text{]}$$

Коефіцієнт дифузії при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ розраховуємо по емпіричним рівнянню:

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{A \cdot B \cdot \sqrt{\mu} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \quad (4.18)$$

де V_A – мольний об'єм компонента А, $\text{см}^3/\text{моль}$;

V_B – мольний об'єм компонента В, $\text{см}^3/\text{моль}$;

А, В – коефіцієнти, що залежать від властивостей компонентів, $A = 1,19$;

$B = 4,7$.

$$b = \frac{0,2\sqrt{1,005}}{\sqrt[3]{998}} = 0,02$$

Мольні об'єми компонентів [2, с. 81, табл.Б.5]:

$$V_A = 18,9 \text{ см}^3/\text{моль};$$

$$V_B = 14,8+4,3,7+7,4=37 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1,19 \cdot 4,7 \cdot \sqrt{1,005}(37^{1/3} + 18,9^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{32} + \frac{1}{18}} = 1,465 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$D_{X(t)} = 1,465 \cdot 10^{-9} [1 + 0,02 (78,5 - 20)] = 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Парова фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$Y_{cp}^H = \frac{Y_W + Y_F}{2}, \quad (4.19)$$

де Y_{cp}^H – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента в нижній частині колони, %(мол.);

Y_W – мольна концентрація низькокиплячого компонента в кубовому залишку, %(мол.);

Y_F – мольна концентрація низькокиплячого компонента у вихідній суміші, %(мол.).

$$Y_{cp}^H = \frac{0,017 + 0,64}{2} = 0,405$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$Y_{cp}^B = \frac{Y_F + Y_P}{2}, \quad (4.20)$$

де Y_{cp}^B – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента у верхній частині колони, %(мол.);

Y_P – мольна концентрація низькокиплячого компонента в дистилаті, %(мол.);

Y_F – мольна концентрація низькокиплячого компонента у вихідній суміші, %(мол.).

$$Y_{cp}^B = \frac{0,64 + 0,965}{2} = 0,8025$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{cp} = \frac{y_{cp}^H + y_{cp}^B}{2}, \quad (4.21)$$

де Y_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по колоні, %(мол.);

Y_{cp}^B – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента у верхній частині колони, %(мол.);

Y_{cp}^H – мольна концентрація низькокиплячого компонента в нижній частині колони, %(мол.).

$$y_{cp} = \frac{0,405 + 0,8025}{2} = 0,6$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y\,cp}^H = 88 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y\,cp}^B = 72 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

$$t_{y\,cp} = \frac{t_{y\,cp}^H + t_{y\,cp}^B}{2}, \quad (4.22)$$

де $t_{y\,cp}$ – середня температура по колоні, $^\circ\text{C}$;

$t_{y\,cp}^B$ – середня температура у верхній частині колони, $^\circ\text{C}$;

$t_{y\,cp}^H$ – середня температура в нижній частині колони, $^\circ\text{C}$.

$$t_{y\,cp} = \frac{88 + 72}{2} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

$$M_{y\,cp} = M_A \cdot y_{cp} + M_B \cdot (1 - y_{cp}), \quad (4.23)$$

де Y_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по колоні, %(мол.);

M_A – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

M_B – молярна маса компонента В, кг/кмоль.

$$M_{y\,cp} = 32 \cdot 0,6 + 18 \cdot (1 - 0,6) = 26,4 \text{ кг/кмоль}.$$

Середня щільність:

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{M_{y_{cp}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T}, \quad (4.24)$$

тут $T = 273 + t_{y_{cp}}$, °C; $P = 1$ кгс/см² (тиск у колоні атмосферне).

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{26,4}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 80)} = 0,88 \text{ кг/м}^3.$$

Середня в'язкість:

$$\frac{M_{y_{cp}}}{\mu_{y_{cp}}} = \frac{Y_{cp} \cdot M_A}{\mu_{yA}} + \frac{(1 - Y_{cp}) \cdot M_B}{\mu_{yB}}, \quad (4.25)$$

де $\mu_{y_{cp}}$ – середня в'язкість, Па·с;

μ_{yA} – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента А, Па·с;

μ_{yB} – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента В, Па·с;

Y_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по колоні, %(мол.);

M_A – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

M_B – молярна маса компонента В, кг/кмоль;

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

$\mu_{yA} = 1,2 \cdot 10^{-5}$ Па·с при $t_{y_{cp}} = 80$ °C;

$\mu_{yB} = 1,15 \cdot 10^{-5}$ Па·с при $t_{y_{cp}} = 80$ °C.

$$\frac{25,3}{\mu_{\text{від}}} = \frac{0,52 \cdot 32}{1,2 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,52) \cdot 18}{1,15 \cdot 10^{-5}}$$

$$\mu_{y_{cp}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначаємо по рівнянню:

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{P \cdot (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \quad (4.26)$$

де P – тиск кгс/см² (тиск у колоні атмосферне); $T = 273 + t_{y_{cp}}$, °C

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 353^{3/2}}{1 \cdot (37^{1/3} + 18,9^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{32} + \frac{1}{18}} = 2,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

4.5 Визначення діаметра колони

Діаметр колони визначаємо за рівнянням:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}}$$

Витрата пари, що проходить по колоні, може бути визначена:

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y \text{ cp}}} = \frac{G_p \cdot (R+1)}{\rho_{y \text{ cp}}} = \frac{0,625 \cdot (1,13+1)}{0,88} = 1,73 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} = \sqrt{\frac{1,73}{0,785 \cdot 1,7}} = 1,13 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони $D = 1,2 \text{ м}$ і уточнюємо швидкість пару в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{1,73}{0,785 \cdot 1,2^2} = 1,5 \text{ м/с}$$

4.6 Визначення висоти колони

По рівнянню знаходимо коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі:

$$\beta_{xf} = \frac{38000 \cdot \rho_{x \text{ cp}} \cdot D_{x(t)}}{M_{x \text{ cp}} \cdot h} \cdot (\text{Pr}')^{0,62}, \quad (4.30)$$

де β_{xf} – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі, $\text{кмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль}/\text{кмоль})$;

$\rho_{x \text{ cp}}$ – середня щільність рідкої фази, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$D_{x(t)}$ – коефіцієнт дифузії рідини, $\text{м}^2/\text{с}$;

$M_{x \text{ cp}}$ – середня молекулярна маса рідини, $\text{кг}/\text{кмоль}$;

Pr' – дифузійний критерій Прандтля, рівний:

$$\text{Pr}' = \frac{\mu_{x \text{ cp}}}{D_{x(t)} \cdot \rho_{x \text{ cp}}} = \frac{0,333 \cdot 10^{-3}}{3,2 \cdot 10^{-9} \cdot 823,2} = 126,4$$

$$\beta_{xf} = \frac{38000 \cdot 823,2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-9}}{24,02 \cdot 1} \cdot (126,4)^{0,62} = 0,0042 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль} / \text{кмоль}}$$

Коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі знаходимо по рівнянню:

$$\beta_{yf} = \frac{D_y}{22,4} \cdot (0,79 \cdot \text{Re}_y + 11000),$$

(4.31)

де β_{yf} – коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі, $\text{кмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль}/\text{кмоль})$;

D_y – коефіцієнт дифузії для парової фази, $\text{м}^2/\text{с}$;

$Re_{y,c}$ – критерій Рейнольдса, який рівний:

$$Re_{y,c} = \frac{W \cdot h \cdot \rho_{y,c}}{\mu_{y,c}} = \frac{1,5 \cdot 1 \cdot 0,88}{1,2 \cdot 10^{-5}} = 88000$$

$$\beta_{yf} = \frac{2,37 \cdot 10^{-6}}{22,4} \cdot (0,79 \cdot 88000 + 11000) = 0,0064 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль} / \text{кмоль}}$$

Загальний коефіцієнт масопередачі K_{yf} знаходимо з рівняння:

$$\frac{1}{K_{yf}} = \frac{1}{\beta_{yf}} + \frac{m}{\beta_{xf}}, \quad (4.32)$$

де $m = \frac{y^* - y}{x - x^*}$ – тангенс кута нахилу лінії рівноваги;

y^* , x^* – рівноважні концентрації.

Так як величина m є змінною по висоті колони, знаходимо її значення для різних концентрацій, використовуючи діаграму (рис. 4.3).

У межах від X_w до X_p вибираємо ряд значень X , для кожного значення X визначаємо по діаграмі (рис. 2.3) величини $y^* - y$, $x - x^*$ як різниця між рівноважною й робочою лінією, а потім по цим значенням визначаємо величину m . Результати зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 4.2. Визначення коефіцієнта масопередачі

x	y^*-y	$x-x^*$	m	$K_{yf} \cdot 10^3$
0,017	0,091	0,014	6,5	0,6
0,1	0,25	0,072	3,47	1,0
0,2	0,228	0,126	1,81	1,7
0,3	0,132	0,137	0,96	2,6
0,4	0,065	0,102	0,64	3,2
0,5	0,062	0,121	0,51	3,6
0,6	0,055	0,118	0,47	3,7
0,7	0,046	0,103	0,45	3,8

0,8	0,038	0,084	0,45	3,8
0,9	0,028	0,064	0,44	3,8
0,965	0,02	0,048	0,42	3,9

Для побудови кінетичної кривої скористаємося формулою:

$$y^* - y_k = (y^* - y_n) \cdot e^{-\frac{K_{yf} \cdot f_m}{G_y}} \quad (4.33)$$

Значення різниці $(y^* - y_n)$ це значення АС = $(y^* - y)$ для кожного обраного значення x у межах від x_w до x_p .

Робоча площа тарілки може бути знайдена [2, с.88, табл.В.2]: $F_p = 1,01 \text{ м}^2$.

Мольна витрата пари по колоні:

$$G_y = \frac{G_p \cdot (R + 1)}{M_{y \text{ ср}}} = \frac{0,625 \cdot (1,13 + 1)}{26,4} = 0,058 \text{ кмоль/с}$$

Таблиця 2.3 – До побудови кінетичної кривої

x	$K_{yf} \cdot F_p / G_y$	$AC, \text{ мм}$	$BP = AC / e^{K_{yf} \cdot F_p / G_y}, \text{ мм}$
0,017	0,19	9,1	7,56
0,1	0,32	25	18,12
0,2	0,54	22,8	13,31
0,3	0,82	13,2	5,81
0,4	1,03	6,5	2,33
0,5	1,14	6,2	1,99
0,6	1,18	5,5	1,68
0,7	1,20	4,6	1,38
0,8	1,20	3,8	1,15
0,9	1,21	2,8	0,83
0,965	1,24	2	0,58

За даними таблиці 2.3 будуємо кінетичну криву. Крапки $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{10}$ лежать на робочих лініях, крапки $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{10}$ – на рівноважній кривій. Обчислені відрізки $B_1C_1, B_2C_2, B_3C_3, \dots, B_{10}C_{10}$ відкладаються від відповідних крапок C униз. Кінетична крива починається на початку координат, проходить через крапки $B_1, B_2, B_3, \dots, B_{10}$ і закінчується в правому верхньому куті діаграми $y-x$ (рис. 2.3).

Число дійсних тарілок, яке забезпечує задану чіткість поділу, визначається шляхом побудови "сходів" між робітниками й кінетичної лініями. Число шаблів у межах концентрацій $X_W \div X_P$ дорівнює числу дійсних тарілок.

У результаті побудови (рис. 2.3) одержуємо число дійсних тарілок $n = 21$, тарілка харчування 11-я знизу.

Висоту колони визначаємо по рівнянню:

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} \quad (4.34)$$

де h – відстань між тарілками, $h = 0,5$ м (задано);

$H_{\text{сеп}}$ – висота сепарационной частини колони, м [2, с.14, табл.2.1];

$H_{\text{куб}}$ – висота кубової частини колон, м [2,с.14, табл.2.1].

$$H = (21 - 1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2,0 = 12,8 \text{ м.}$$

5 АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНТАКТНИХ ПРИСТРОЇВ НА РОЗМІРИ КОЛОННОГО АПАРАТА

У результаті дослідження встановлений суперечливий вплив розміру отворів сітчастих тарілок на їхню пропускну й масообмінну здатності. Знайдений оптимальний розмір отворів, що забезпечує мінімальний робочий об'єм колонного встаткування. Ректифікаційні колони, оснащені сітчастими тарілками з отворами діаметром 25 мм, добре зарекомендували себе в процесі тривалої промислової експлуатації в складі великотоннажних агрегатів метанолу М-100-3 і М-100-4.

Залежність величини газових міхурів при барботажі від розміру перфорації і твердження про те, що зміна діаметра отворів від 3 до 25 мм не впливає на ефективність масопередачі, спонукали авторів публікації в період створення великотоннажних агрегатів метанолу до проведення досліджень пропускну й масообмінної здатностей сітчастих тарілок з отворами діаметром (d_0) 8, 12, 20 і 25 мм, з метою видачі рекомендацій з оснащення такими тарілками ректифікаційних колон великої одиничної потужності.

Дослідження проводилося в колоні діаметром 400 мм, оснащеної трьома тарілками з відстанями 500 мм між ними, в умовах ректифікації суміші “метанол-вода” при повному зрошенні. Кожна тарілка мала вільний перетин 7% і зливальний поріг висотою 60 мм.

На рис. 5.1 як приклад наведені результати дослідження сітчастої тарілки з $d_0=8$ мм у вигляді залежності її ефективності (η – КПД по Мерфрі) від швидкості руху пари у вільному перетині колони W . Вид отриманої залежності дає наочна вистава про робочий діапазон (від W_{\min} до W_{\max}), за межами якого робота тарілки стає не ефективною, головним чином через провал рідини при $W < W_{\min}$ і її віднесення при $W > W_{\max}$.

Показники пропускної й масообмінної здатностей досліджених тарілок представлені в таблиці 5.1.

Отримані результати свідчать про те, що, з одного боку, малі отвори, формуючи більш розвинену поверхню контакту фаз, забезпечують високу масообмінну здатність тарілки, а, з іншого боку, для тарілок з меншими отворами характерне зниження ефективності масообміну спостерігається при менших швидкостях пари по колоні, що, очевидно, є наслідком більш раннього зростання віднесення рідини через більшу роздробленість парорідинних струменів.

Таким чином, визначаючись із розміром отворів сітчастих тарілок, необхідно враховувати його протилежний вплив на їхню пропускну й масообмінну здатності.

Для порівняльного аналізу й вибору діаметра отворів на основі справжнього дослідження автори скористалися концепцією теоретичної тарілки й прикладом розрахунків безперервно діючої ректифікаційної тарілчастої колони для поділу суміші “метанол – вода”.

За оптимальний був прийнятий розмір (діаметр) отвору, що забезпечує за інших рівних умов мінімальний об'єм тарілчастої частини ректифікаційної колони.

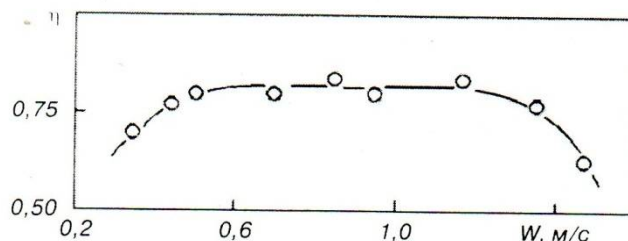


Рис.5.1 – Залежність ефективності сітчастої тарілки $d_0=8$ мм від швидкості пари у вільному перетині колони.

Таблиця 5.1 – Показники пропускної і масообмінної здатностей

досліджених сітчастих тарілок.

Діаметр отворів, d_0 , мм	8	12	20	25
Максимальна швидкість руху пара в вільному перерезі колони, W_{\max} , м/с	1,2	1,4	1,6	1,7
ККД тарілки по Мерфрі, η	0,82	0,75	0,60	0,50

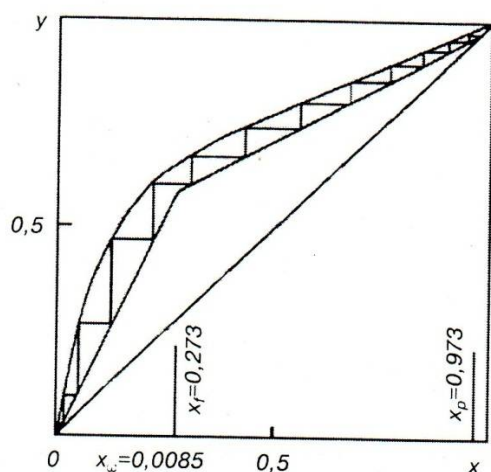


Рис. 5.2 – Графічне визначення числа теоретичних тарілок по діаграмі $y-x$.

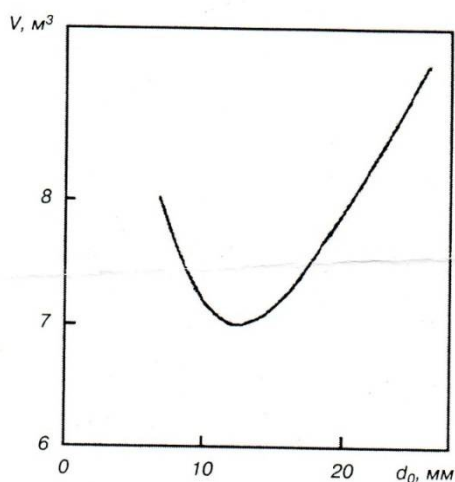


Рис. 5.3 – Залежність об'єму тарічастої частини ректифікаційної колони від діаметру отворів сітчастих тарілок для визначення оптимального значення d_0 .

Установлене, що колони основної ректифікації, оснащені однопотоківими сітчастими тарілками із $d_0 = 12$ мм, добре зарекомендували себе в процесі тривалої промислової експлуатації в складі великотоннажних агрегатів метанолу М-100-3 і М-100-4, що дозволяє рекомендувати запропонований підхід до визначення оптимального розміру отворів сітчастих тарілок для широкого використання.

6 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ЄМНОСТІ ВИХІДНОЇ СУМІШІ МЕТАНОЛ-ВОДА

6.1 Вихідні дані

Тип апарату	ГЭЭ1-1-10-1
Номінальний об'єм, м ³	10
Діаметр апарату, мм	2000
Тиск робочий, МПа	1,0
Температура робоча, °С	20
Середовище в апараті: вибухонебезпечне, пожежонебезпечне, шкідливе, 3 класу небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76	
Щільність середовища, кг/м ³ , не більш	1000
Матеріал корпусу апарату	Ст3
Швидкість корозії, мм/рік, не більш	0,05
Термін служби, рік, не менш	20

6.2 Визначення розрахункових параметрів

Розрахункова температура

Робоча температура в апараті 20 С. За розрахункову температуру ухвалюємо робочу, тобто 20°С, $t=20^{\circ}\text{C}$.

Допустима напруження

Апарат виготовлено зі сталі Ст3

$$[\sigma]^{20} = 154 \text{ МПа при } t=20^{\circ}\text{C}$$

Робочий, розрахунковий і пробний тиск

Тиск у сосуді під час дії запобіжного клапана

$$P_k = 1,15 \cdot P_{\text{раб}}, \quad (6.1)$$

$$P_k = 1,15 \cdot 1 = 1,15 \text{ МПа}$$

Розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску

$$P_p = 0,9 \cdot P_k, \quad (6.2)$$

$$P_p = 0,9 \cdot 1,15 = 1,035 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск

$$P_z = \rho_c \cdot g \cdot H \cdot 10^{-6}, \quad (6.3)$$

де ρ_c – щільність середовища в апараті, кг/м^3

g – прискорення вільного падіння, м/с^2

H_c – висота середовища в апараті, м

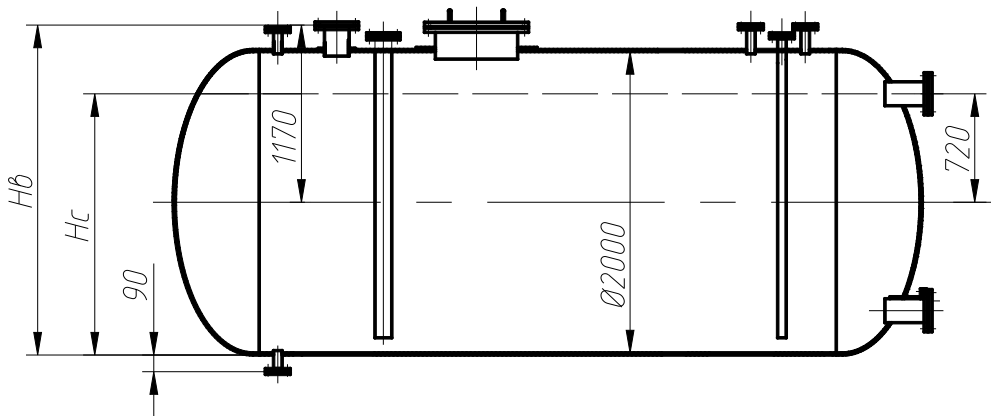


Рис. 6.1 – Горизонтальний апарат з еліптичними днищами

З рис. 6.1 $H = \frac{2000}{2} + 720 + 90 + 10 = 1820 \text{ мм}$

$$H = 1,820 \text{ м}$$

так як $P_z = 792 \cdot 9,81 \cdot 1,82 \cdot 10^{-6} = 0,018 \text{ МПа}$

$$P_z = 0,018 \text{ МПа} \leq 0,05 \cdot P_{\text{раб}} = 0,05 \cdot 1,0 = 0,05 \text{ МПа}$$

то гідростатичний тиск не враховується при розрахунках розрахункового тиску

$$P = P_p \quad (6.4)$$

$$P = 1,035 \text{ МПа}$$

Пробний тиск

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (6.5)$$

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 1,035 \cdot \frac{154}{154} = 1,3 \text{ МПа}$$

Розрахунковий тиск в умовах випробування

$$P_u = P_{np} + P_{г.води} \quad (6.6)$$

де $P_{г.води}$ визначаємо по формулі (6,3) при $H_г = 2,27 \text{ м}$

$$P_{г.води} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,27 \cdot 10^{-6} = 0,022 \text{ МПа}$$

так як $P_{г.води} = 0,022 \text{ МПа} < 0,05 \cdot P_{np} = 0,05 \cdot 1,3 = 0,065 \text{ МПа}$,

то розрахунковий тиск в умовах випробування P_u визначаємо без обліку

$P_{г.води}$

$$P_u = P_{np} = 1,3 \text{ МПа}$$

Коефіцієнти міцності зварених швів

Група апарата – 4

Довжина контрольованої ділянки шва не менш 25% від довжини кожного шва.

Значення коефіцієнта міцності зварених швів при довжині контрольованих швів $\phi = 0,9$.

Прибавка до розрахункових величин конструктивних елементів

Прибавка до розрахункової товщини визначається по формулі:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (6.7)$$

де C_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії, мм

C_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску, мм

C_3 – прибавка технологічна, мм $C_3=0$

$$C_1 = P \cdot \tau + C_s, \quad (6.8)$$

де P – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

τ - термін служби апарата, років;

C_s - прибавка для компенсації ерозії, мм, $C_s=0$

$$C_1 = 0,05 \cdot 20 = 1 \text{ мм}$$

Прибавку C_2 визначаємо після розрахунків товщини стінки апарату

6.3 Розрахунки циліндричної обичайки

Розрахунки товщини стінки обичайки

Розрахункова товщина стінки

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - P}, \quad (6.9)$$

$$\text{де } S_p = \frac{1,035 \cdot 2000}{2 \cdot 154 \cdot 0,9 - 1,035} = 6,67 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки

$$S \geq S_p + C \quad (6.10)$$

$$S \geq S_p + C_1 + C_2$$

Прибавка $C_2 = 0,8$ [18]

$$S \geq 6,67 + 1 + 0,8 = 8,47 \text{ мм}$$

Ухвалюємо $S = 10$ мм

Розрахунок допустимого внутрішнього тиску

Допустимий внутрішній надлишковий тиск розраховується за формулою:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \geq P; \quad (6.11)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 154 \cdot 0,9 \cdot (10 - 1,8)}{2000 + (10 - 1,8)} = 1,2 \text{ МПа}$$

$$P \leq [P]; \quad 1,035 < 1,2 \text{ (МПа)}$$

Умова виконується. Корпус забезпечений запасом міцності.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1$$

$$\frac{10 - 1,8}{2000} = 0,0036 \leq 0,1$$

Умова виконується

6.4 Розрахунки еліптичного днища

Розрахунки товщини стінки днища

Розрахункова товщина стінки днища

$$S_{1p} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - 0,5 \cdot P}, \quad (6.12)$$

де $R = D$ – радіус кривизни у вершині еліптичного днища по внутрішній поверхні, мм;

$$S_{1p} = \frac{1,035 \cdot 2000}{2 \cdot 154 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 1,035} = 6,65 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S_1 \geq S_{1p} + c; \quad (6.13)$$

$$S_1 \geq 6,65 + 1 + 0,8 = 8,45 \text{ мм}.$$

Ухвалюємо $S_1 = 10 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск розраховується за формулою:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S_1 - c)}{R + 0,5 \cdot (S_1 - c)} \geq P; \quad (6.14)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 154 \cdot 0,9 \cdot (10 - 1,8)}{2000 + 0,5 \cdot (10 - 1,8)} = 1,2 \text{ МПа}$$

$$P \leq [P], \quad 1,035 < 1,2 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$0,002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0,1 \quad (6.15)$$

$$0,002 \leq \frac{10 - 1,8}{2000} \leq 0,0036 < 0,1$$

Умова виконується.

6.5 Розрахунки зміцнення отворів на циліндричній обичайці

6.5.1 Розрахунки діаметра одиночного отвору не потребує зміцнення.

Розрахунковий діаметр одиночного отвору не потребує зміцнення при наявності надлишкової товщини стінки посудини

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S - c}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - c)} \geq d, \quad (6.16)$$

де $D_p = D = 2000$ мм.- розрахунковий діаметр елемента, що зміцнюється, для циліндричної обичайки:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{10 - 1,8}{6,67} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{2000 \cdot (10 - 1,8)} = 208 \text{ мм}$$

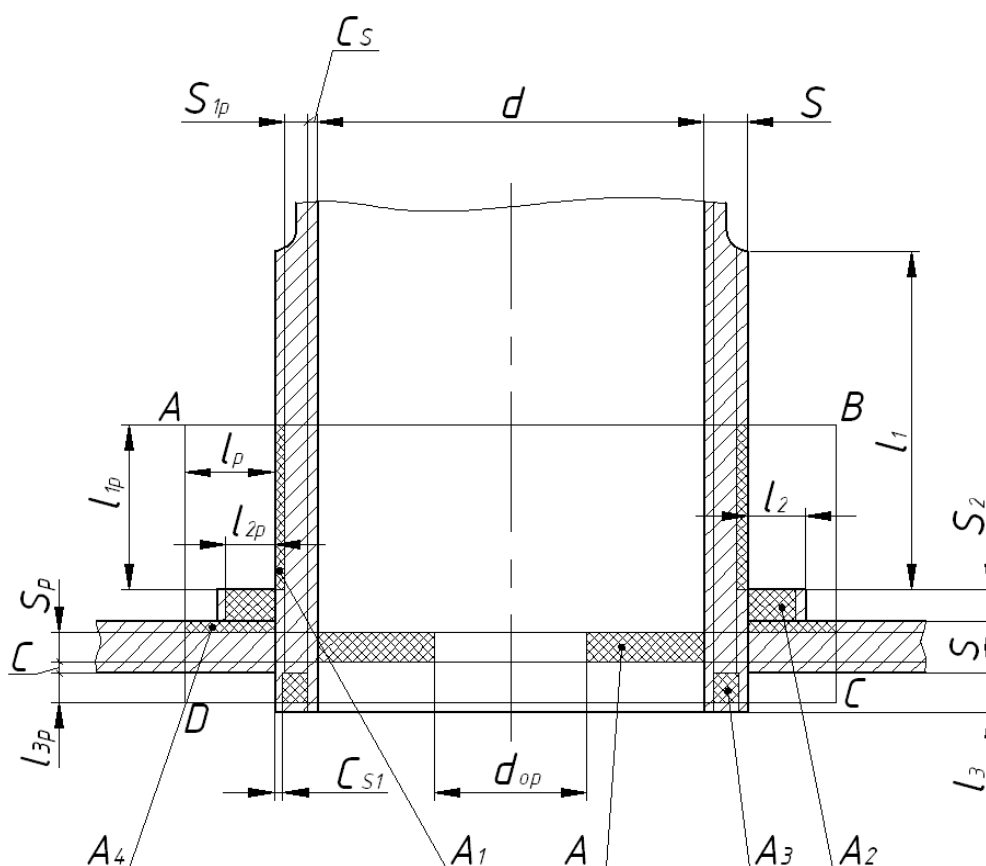


Рисунок 6.2 – Розрахункова схема зміцнення одиночного отвору.

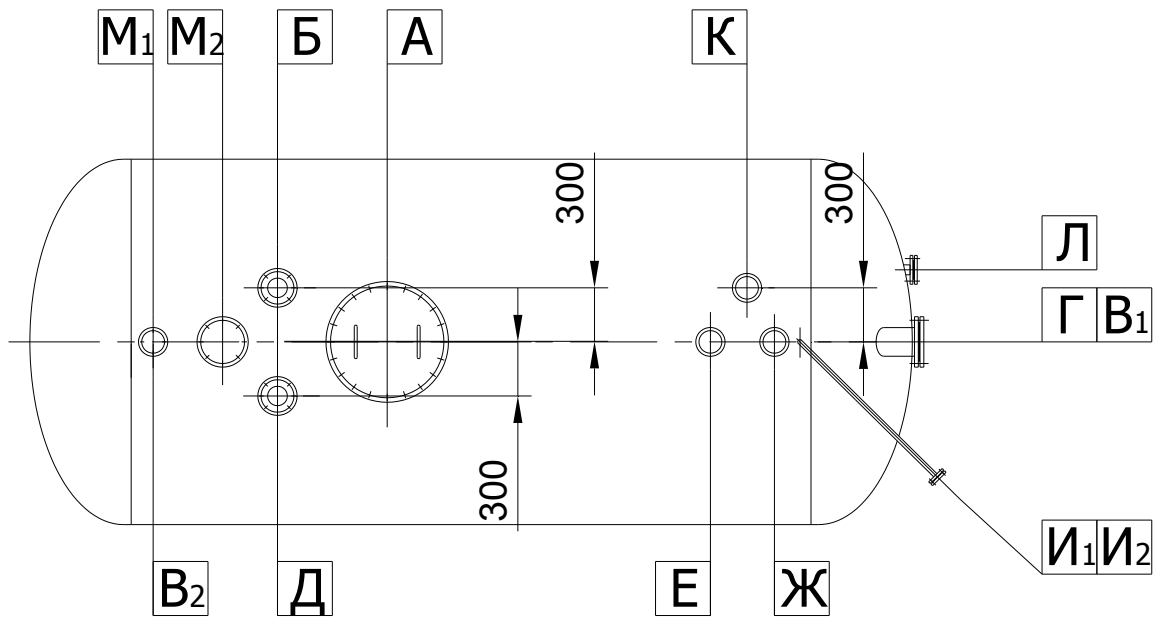


Рисунок 6.3 – Розташування штуцерів на апараті.

6.5.2 Перевіряємо необхідність зміцнення отворів для люка А.

Для люка А прийнята труба (520×10 мм).

Внутрішній діаметр обичайки люка

$$d = d_n - 2 \cdot S_l, \quad (6.17)$$

де $d_n = 520$ мм - зовнішній діаметр штуцера;

$S_l = 10$ мм - товщина стінки штуцера.

$$d = 520 - 2 \cdot 10 = 500 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр обичайки люка

$$d_p = d + 2 \cdot C_s$$

де $C_s = 1,8$ мм - збільшення до розрахункових товщинам

$$d_p = 500 + 2 \cdot 1,8 = 503,6 \text{ мм}$$

$$d_p = 503,6 \geq d_0 = 208 \text{ мм}$$

Умова не виконується, тому необхідно додаткове зміцнення отвору в обичайці під люк.

6.5.3 Розрахункові діаметри штуцерів Е, Ж, К, М₁ і В₂

Для цих штуцерів прийнята труба $\varnothing 57 \times 3$ мм.

$$d = d_n - 2 \cdot S_l,$$

де $d_n = 57 \text{ мм}$, $S_1 = 3 \text{ мм}$

$$d = 57 - 2 \cdot 3 = 51 \text{ мм}$$

Розрахунки діаметра для штуцерів Е, Ж, М₁ і В₂ вісь яких збігається з нормаллю до поверхні, визначаємо по формулі.

$$d_p = 51 + 2 \cdot 2,45 = 55,9 \text{ мм}$$

$$d_p < d_0$$

$$55,9 < 208 \text{ мм}$$

(6.18)

Умови виконуються, тому штуцера Е, Ж, М₁ і В₂ не вимагають додаткового зміцнення.

6.5.4 Розрахунковий діаметр для штуцера К

$$d_p = \max \{ d; 0,5 \cdot t \} + 2 \cdot C_s \quad (6.19)$$

$$\text{де } t = \frac{\pi \cdot D \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)}{360} \quad (6.20)$$

Значення кутів α_1 і α_2 визначаємо з рис. 6.3

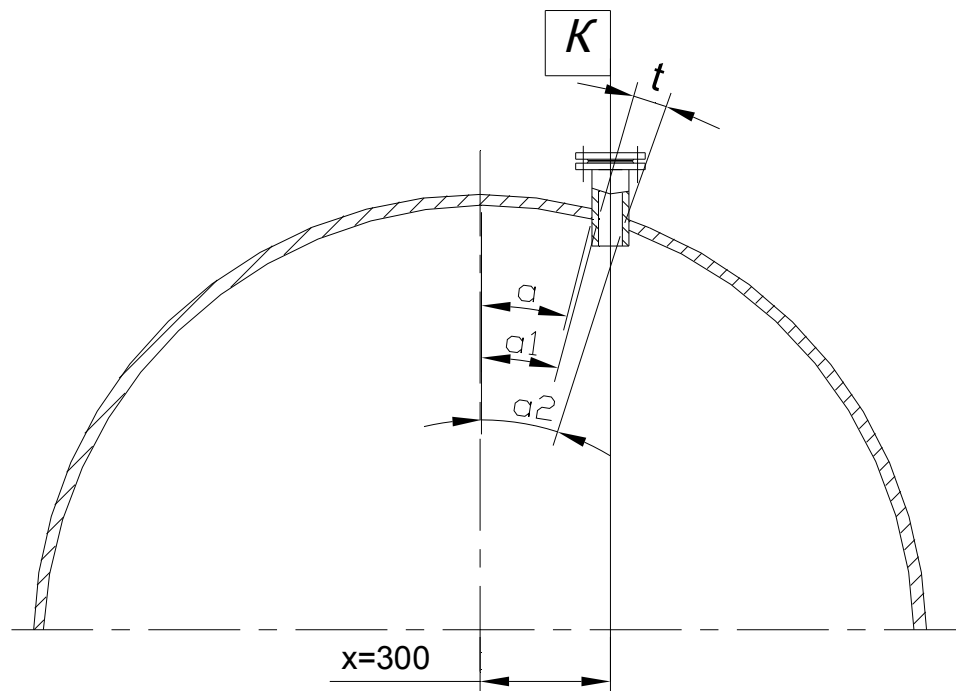


Рис 6.4 – Розташування штуцера К на циліндричній обичайці корпуса.

$$\alpha_1 = \arcsin \cdot \frac{x - 0,5 \cdot d}{0,5 \cdot D}, \quad (6.21)$$

$$\alpha_1 = \arcsin \cdot \frac{300 - 0,5 \cdot 51}{0,5 \cdot 2000} = 15,9^\circ$$

$$\alpha_2 = \arcsin \cdot \frac{x + 0,5 \cdot d}{0,5 \cdot D}, \quad (6.22)$$

$$\alpha_2 = \arcsin \cdot \frac{300 + 0,5 \cdot 51}{0,5 \cdot 2000} = 19^\circ$$

$$t = \frac{3,14 \cdot 2000 \cdot (19 - 15,9)}{360} = 54,1 \text{ мм}$$

Сума збільшень до розрахункової товщини стінки штуцера визначається по формулі (6.7)

$$C_s = C_{s1} + C_{s2},$$

$$\text{де } C_{s1} = C_1 = 1 \text{ мм}$$

$$C_{s2} = 0,15 \cdot S_1 = 0,15 \cdot 3 = 0,45 \text{ мм}$$

$$C_s = 1 + 0,45 = 1,45 \text{ мм}$$

$$d_p = \max \{ 51; 0,5 \cdot 54,1 \} + 2 \cdot 1,45 = 51 + 2 \cdot 1,45 = 55,9 \text{ мм}$$

$$d_p \leq d_0$$

$$55,9 < 208 \text{ мм}$$

Умова виконується, тому штуцер К не вимагає додаткового зміцнення.

6.5.6 Розрахунковий діаметр штуцера М₂.

Для цього штуцера прийнята труба $\varnothing 159 \times 4 \text{ мм}$.

$$d = 159 - 2 \cdot 4 = 151 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр для штуцера М₂ визначаємо по формулі.

$$d_p = 151 + 2 \cdot 1,6 = 156,2 \text{ мм}$$

$$d_p \leq d_0$$

$$156,2 < 208 \text{ (мм)}$$

Умова виконується, тому для штуцера М₂ не вимагає додаткового зміцнення отвору.

6.5.7 Розрахункові діаметри штуцерів Б і Д

Для цих штуцерів прийнята труба (108×4 мм).

$$d = 108 - 2 \cdot 4 = 100 \text{ мм}$$

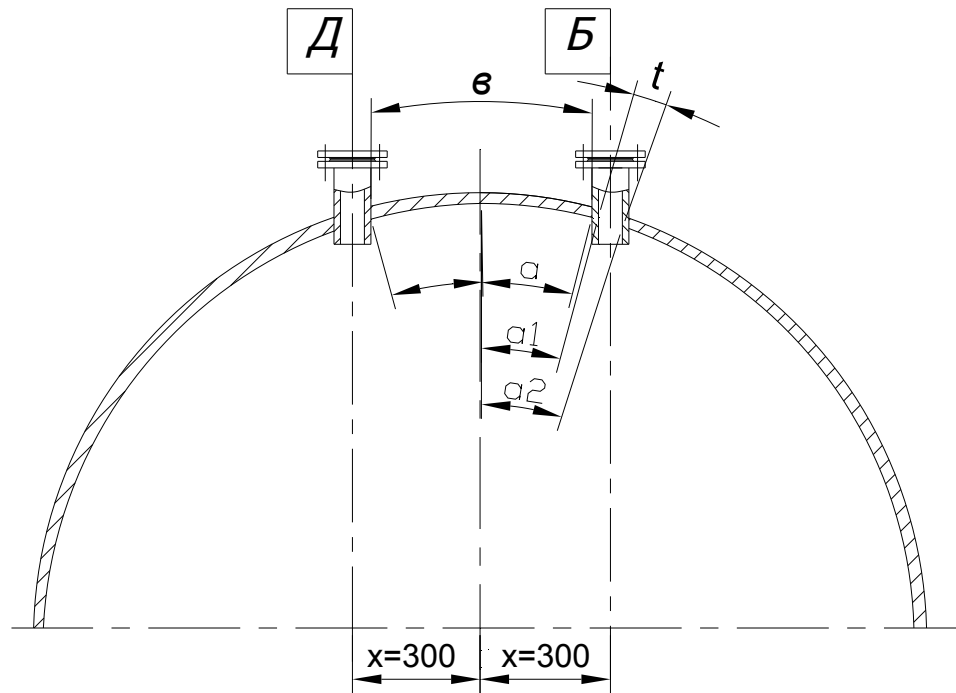


Рис 6.5 – Розташування штуцерів Б і Д на циліндричній обичайці корпусу.

Значення кутів α_1 і α_2 визначаємо з рис. 6.5 і по формулах (6.21), (6.22) відповідно.

$$\alpha_1 = \arcsin \cdot \frac{300 - 0,5 \cdot 100}{0,5 \cdot 2000} = 14,5^\circ$$

$$\alpha_2 = \arcsin \cdot \frac{300 + 0,5 \cdot 100}{0,5 \cdot 2000} = 20,5^\circ$$

Довжина отвору в окружному напрямку визначається по формулі (6.20):

$$t = \frac{3,14 \cdot 2000 \cdot (20,5 - 14,5)}{360} = 104,7 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр отвору в стінці обичайки для штуцерів Б і Д визначаємо по формулі (6.19):

$$d_p = \max \{100; 0,5 \cdot 104,7\} + 2 \cdot 1,6 = 100 + 2 \cdot 1,6 = 105,2 \text{ мм}$$

$$d_p < d_0$$

$$105,2 < 208 \text{ мм}$$

Умова виконується, тому штуцера Б і Д не вимагають додаткового зміцнення отвору.

6.5.8 Розрахунки зміцнення отвору для люка А

Розрахункова товщина стінки люка, навантаженого внутрішнім надлишковим тиском, визначається по формулі

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - P}, \quad (6.23)$$

$[\sigma]_1 = 154 \text{ МПа}$ – допустиме напруження для матеріалу люка при розрахунковій температурі $t = 20^\circ \text{C}$.

$\phi = 0,9$ - коефіцієнт міцності поздовжнього звареного шва люка

$$S_{1p} = \frac{1,035 \cdot (500 + 2 \cdot 1,8)}{2 \cdot 154 \cdot 0,9 - 1,8} = 2,87 \text{ мм}.$$

Розрахункова довжина зовнішньої частини люка А:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (S_1 - c)} \right\}; \quad (6.24)$$

де l_1 - виконавча довжина зовнішньої частини штуцера, мм;

$$l_1 = 100 \text{ мм} \quad [5]$$

$$l_{1p} = \min \left\{ 200; 1,25 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 2,8) \cdot (10 - 2,8)} \right\};$$

$$l_{1p} = \min \{ 200; 90 \} = 90 \text{ мм}.$$

Відношення допустимих напружень матеріалів штуцера й корпусу

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} \quad (6.25)$$

де $[\sigma]_1 = [\sigma] = 154 \text{ МПа}$ для сталі Ст3 при $t = 20^\circ \text{C}$

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[154]}{[154]} \right\} = 1,0$$

«Зайвий» метал зовнішньої частини люка визначається по формулі:

$$A_1 = l_{1p} \cdot (S_1 - S_{1p} - c) \cdot \chi_1, \quad (6.26)$$

$$A_1 = 90 \cdot (12 - 2,87 - 1,8) \cdot 1 = 659,27 \text{ мм}^2$$

Перевіряємо умову зміцнення отвору під люк без використання зміцнювального кільця ($A_2=0$) за рахунок «зайвих» товщин стінок обичайки

корпуса й люка.

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \geq A \quad (6.27)$$

Ухвалюємо довжину внутрішньої частини люка $l_3 = 0$. У цьому випадку «зайвий» метал внутрішньої частини люка $A_3 = 0$

Ширина зони зміцнення:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - c)}; \quad (6.28)$$

де $D_p = D = 2000$ мм - для циліндричних обичайок

$$L_0 = \sqrt{2000 \cdot (10 - 1,8)} = 156,2 \text{ мм}.$$

Розрахункова ширина зони зміцнення:

$$l_p = L_0 = 156,2 \text{ мм}. \quad (6.29)$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_{op} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - c)}; \quad (6.30)$$

$$d_{op} = 0,4 \cdot \sqrt{2000 \cdot (10 - 1,8)} = 62,5 \text{ мм}.$$

«Зайвий» метал елемента, що зміцнюється (обичайки), що брало участь у зміцненні отвору:

$$A_4 = l_p \cdot (S - S_p - c); \quad (6.31)$$

$$A_4 = 156,2 \cdot (10 - 6,67 - 1,8) = 49 \text{ мм}^2.$$

Компенсована площа отвору:

$$A = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot S_p, \quad (6.32)$$

$$A = 0,5 \cdot (505,6 - 62,5) \cdot 6,67 = 2519 \text{ мм}^2.$$

Умова зміцнення люка без використання зміцнювального кільця

$$A_1 + A_4 = 659,7 + 49 = 708,7 < A = 2519 \text{ мм}^2$$

Умова не виконується, тому проводимо розрахунки зміцнення люка з використанням зміцнювального кільця.

$$A - (A_1 + A_4) = 2519 - (659,7 + 49) = 1810,3 \text{ мм}^2$$

При товщині зміцнювального кільця $S_2 = 10$ мінімальне значення ширини зміцнювального кільця складе:

$$\ell_{2\min} = \frac{A - (A_1 + A_4)}{S_2} = \frac{2519 - (659,7 + 49)}{10} = 181 \text{ мм}$$

Ухвалюємо $\ell_2 = 190 \text{ мм}$

Розрахункова ширина зміцнювального кільця:

$$\ell_{2p} = \min \left\{ \ell_2; \sqrt{D_p (S_2 + S - C)} \right\} \quad (6.33)$$

$$\ell_{2p} = \min \left\{ 190; \sqrt{2000 \cdot (10 + 10 - 1,8)} \right\}$$

$$\ell_{2p} = \min \{190; 229\} = 190 \text{ мм}$$

Відношення допустимих напружень зміцнювального кільця й обичайки:

$$\chi_2 = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\} \quad (6.34)$$

де $[\sigma]_2 = [\sigma] = 154 \text{ МПа}$ для сталі Ст3 при $t = 20^\circ\text{C}$

$$\chi_2 = \min \left\{ 1, 0; \frac{154}{154} \right\} = 1, 0$$

Площа поперечного перерізу зміцнювального кільця, яке бере участь у зміцненні отвору:

$$A_2 = \ell_{2p} \cdot S_2 \cdot \chi_2 \quad (6.35)$$

$$A_2 = 190 \cdot 10 \cdot 1 = 1900 \text{ мм}^2$$

Умова зміцнення отвору з урахуванням зміцнювального кільця:

$$A_1 + A_2 + A_4 = 659,7 + 1900 + 49 = 2608,7 > A = 2519 \text{ мм}^2$$

Умова виконується.

Коефіцієнт зниження міцності визначається по формулі:

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (S_1 - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot S_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (S_1 - c - c_1) \cdot \chi}{l_p \cdot (S - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c}{D_p} \cdot \frac{\phi}{\phi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}, \quad (6.36)$$

де l_{3p} – довжина внутрішньої частини люка, $l_{3p} = 0$;

K_1 – безрозмірний коефіцієнт, $K_1 = 1$;

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{90 \cdot (10 - 1,8) \cdot 1 + 190 \cdot 10 \cdot 1 + 0}{156,2 \cdot (14 - 1,8)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{505,6 - 62,5}{156,2} + 1 \cdot \frac{500 + 2 \cdot 1,8}{2000} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{90}{156,2}} \right\};$$

$$V = \min\{1; 0,93\} = 0,93$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск для циліндричної обичайки:

$$[P] = \frac{2 \cdot K_1 \cdot [\sigma] \cdot \phi \cdot (S - c)}{D_p + (S - c) \cdot V}; \quad (6.37)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 1 \cdot 183 \cdot 1 \cdot (10 - 1,8)}{2000 + (10 - 1,8) \cdot 0,93} \cdot 0,93 = 1,28 \text{ МПа}$$

$$P = 1,035 < [P] = 1,28 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

7 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЄМНОСТІ

7.1 Виготовлення основних елементів апарата

7.1.1 Виготовлення обичайок

Обичайки виготовляють звареними з напівфабрикатів. Вальцювання, штампування обичайок допускається робити тільки на відповідних машинах або пресах. Виготовлення обичайок ручним способом, а також місцеве нагрівання й виправлення молотком не допускається.

Для виготовлення обичайки спочатку виконується розмітка листових заготівель із метою вказівки границь обробки й раціонального розкрою листа для найбільш повного використання металу. Розмітка виконується на розмічальних столах або плитах. По маркуванню листа перевіряється відповідність марки металу, довжини, товщини й ширини листа вимогам креслення. Лист укладається на розмічальний стіл маркуванням нагору й на ньому розмічається базова ризику уздовж крайки з найменшої серповидністю. На листі розмічаються ризики під відрізок, ризики з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні ризики. Різання листа здійснюють на гильйотинних ножицях. Після різання здійснюють обробку кромки на верстаті. Після цього лист подається до преса для підгибки кромки. Після підгинання кромки лист подається до листозгинальної машини із трьома валками розташованими симетрично. Зборку поздовжнього стику роблять гідравлічними струбцинами. Після приварки на ролікоопорах вхідної й вихідної планок звареним трактором виконується зварювання внутрішнього шва па флюсовій подушці, а після зачищення кореня шва зварюється зовнішній поздовжній шов. Після зварювання зовнішнього шва на стенді шов зачищають, знімають посилення й видаляють вхідну й вихідну планки. Далі обичайка подається до листозгинальної машини на виправлення, зварні шви контролюються ультразвуковою дефектоскопією. Отвори в обичайці під штуцера обробляють вирізкою газосварним різакон з попередньою розміткою.

7.1.2 Виготовлення еліптичних днищ

Розміри й форма днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78. Виготовлення еліптичного днища виконують по технічних умовах на виготовлення й поставку днищ, які викладені в стандартах на днища. Днища можна виготовляти штампуванням на пресах, методом обкатування роликami, електрогідравлічним й електромагнітним штампуванням. Зварні шви розташовують по хорді на відстані від центра не більше 440 мм. Мінімальна відстань між меридіональними швами приймають не менш 100 мм. Днища зі штампованих елементів зварюють стиковими швами із двостороннім проваром.

Формовку днища методом штампування на пресах проводять у наступному порядку. Заготівля за допомогою транспортера подається в нагрівальну піч для рівномірного нагрівання до необхідної температури. Температурний інтервал штампування 850-950 °С. Нагріта заготівля спеціальними захватами витягається з печі й подається на транспортер, за допомогою якого транспортується до штампа, що перебуває під пресом. Штмп складається із циліндричного пуансона з еліпсоїдною торцевою поверхнею, виконаної за формою кулі. Під час штампування, пуансон, рухаючись униз тягне заготовку через матрицю.

Потім заготівлю встановлюють на протяжне кільце й штампують, як правило, за одну операцію. Заготівля знімається при ході пуансона нагору. Завершальні операції передбачають розмітку днищ для підрізування торця й розмітку отворів, підрізування торця й обробку отворів, термообробку, очищення, контроль і таврування.

7.1.3 Встановлення штуцерів

Після розмітки корпусу виробляється вирізка отворів для установки люків, штуцерів й інших елементів арматури апарата.

Отвори для установки штуцерів на обичайці й днищі розміщують на

відстані від краю ближнього зварного шва до осі отворів на відстані не менш 0,9 діаметра отвору. Відстань між центрами двох сусідніх отворів у циліндричній обичайці по зовнішній поверхні повинне бути не менш 1,4 діаметри отвору або 1,4 напівсуми діаметрів отворів, якщо діаметри їх різні.

На днищах відстань між кромками двох сусідніх отворів, обмірювана по хорді приймають не менш діаметра меншого отвору.

Не допускається розташовувати отвори на зварних швах. На поздовжніх швах обичайки допускається установка штуцера діаметром не більше 150 мм при відстані між центрами двох сусідніх штуцерів не менш суми діаметрів їхніх отворів на радіусі. У кільцевих швах обичайки установка штуцерів не обмежується.

У зварних швах днищ, установка штуцерів може бути зроблена тільки після 100 % контролю зварених швів просвічуванням або ультразвуковою дефектоскопією.

Заготівки для фланців одержують вигином прокату. Технологічний процес виготовлення заготівель по цьому методі полягає в розрізі смуги або профілю на мірні заготівлі, згинанні в кільце й стиковому зварюванню. Далі заготівлі піддають механічній обробці, обробляють ущільнювальні поверхні й внутрішній діаметр фланця. Потім висвердлюються відтвори під болти. Фланці штуцерів штампують у відкритих штампах. За один хід преса прошивають отвору й обрізають заусенці на кривошипних пресах у комбінованих штампах. Отримані заготівлі також механічно обробляють.

При збиранні плоских фланців з патрубками необхідно забезпечити рівномірний кільцевий зазор між патрубком і фланцем. Зазор між зовнішньою поверхнею патрубка (обичайки) і стінкою отвору плоского фланця не повинен перевищувати 2,5 мм.

Зварювання штуцерів із плоским фланцем виробляються в такий спосіб: штуцер укладається ущільнювальною поверхнею на складальну плиту, по внутрішньому діаметрі встановлюються підкладки, по товщині рівні товщині підведення й торця патрубка до сполучної поверхні фланця. Патрубок торцем

укладається у фланець на підкладку. Витримується перпендикулярність осі щодо ущільнювальної поверхні фланця.

Патрубок прихоплюється й потім приварюється до фланця.

7.1.4 Збирання й зварювання корпусу

В обичайці кромки під зварювання, що стикуються, завширшки 15-20 мм від кромки й торця зачищаються абразивом або металевою щіткою. Обичайки встановлюють на складальний стенд, збираються й зварюються по кільцевих швах. Поздовжні шви в горизонтальних апаратах повинні розташовуватися поза межами нижньої частини корпусу, якщо ця частина мало доступна для огляду. Потім виконується зварювання спочатку зовнішніх, а потім після зачищення - зварювання внутрішніх кільцевих швів.

7.1.5 Збирання ємності

Збирання ємності необхідно проводити в такій послідовності:

- приєднати кришки;
- змонтувати фланцеві сполуки кришок;
- заізолювати ємність.

7.2 Випробування після виготовлення

Усе ємності мають бути піддані гідравлічним випробуванням на підприємстві-виготовнику. При відсутності в сертифікатах даних про гідравлічні випробування підприємство-виготівник ємностних апаратів зобов'язано провести гідравлічні випробування відповідно до вимог ГОСТ 3845-75.

Гідравлічні випробування на міцність та герметичність здійснюється пробним тиском, який визначається галузевим стандартом.

У випадку недоступності шва або окремих його ділянок для перевірки радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією метод контролю

вибирається за РД 26-11-01-85.

Гідровипробування проводиться водою. При заповненні апарата водою, повітря повинне бути цілком вилучене.

Для гідровипробування ємності застосовується вода з температурою не нижче +5°C і не вище +40°C .

Тиск при випробуванні повинний контролюватися двома манометрами.

Тиск у випробовуваному апараті повинний підвищуватися плавно, використання стиснутого повітря або газу не допускається.

Мінімальну величину пробного тиску $P_{пр}$ при гідравлічному випробуванні підігрівана, а також трубопроводів в межах ємності приймають:

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P \cdot [\sigma]^{20} / [\sigma]^t$$

де P – розрахунковий тиск, МПа

$[\sigma]^{20}$ – допустиме напруження матеріалу апарата при 20°C, МПа

$[\sigma]^t$ – допустиме напруження матеріалу апарата при розрахунковій температурі, МПа

Час витримки ємності під пробним тиском залежить від товщини стінки апарата і складає 10 хвилин.

Після витримки ємності під пробним тиском, його знижують до розрахункового, при якому проводиться огляд зовнішньої поверхні ємності, усіх його роз'ємних і зварних сполук.

8 РЕМОНТ ЄМНОСТІ

8.1 Планово-попереджувальні ремонти для ємностного обладнання

У сучасних умовах при швидко зростаючому рівні механізації й автоматизації виробничих процесів питання забезпечення належного стану обладнання, правильного догляду за ним, своєчасного й якісного ремонту набувають усе більше значення.

Для виключення значних втрат у виробництві, пов'язаних з несправністю технологічного й енергетичного устаткування, необхідно приділяти належну увагу організації технічного обслуговування й ремонту устаткування, роботі ремонтних служб підприємства.

Система планово-попереджувального ремонту. Прийнята в хімічній промисловості, система технічного обслуговування й ремонту устаткування базується на комбінації технічного обслуговування й планово-запобіжних ремонтів.

Планово-запобіжні ремонти (ПЗР) проводять по Методу планово-періодичних ремонтів для основного устаткування й післяоглядових ремонтів (ремонт за технічним станом) для допоміжного обладнання.

Розподіл на основне або допоміжне устаткування умовно залежить від конкретних умов експлуатації даного устаткування й ступені його впливу на одержання кінцевого й проміжного продукту. Звичайно до основного відносять устаткування, призначене для проведення основних хімікотехнологічних процесів і одержання цільового продукту.

Вихід з ладу основного устаткування приводить до зупинки технічної лінії (установки) або різкому зниженню її продуктивності.

Сутність планово-періодичного ремонту полягає в тому, що ремонти всіх видів планують і виконують в строго встановлені ремонтними нормативами строки. Сутність ремонту по технічному стану (метод

післяоглядових ремонтів) полягає в тому, що види й строки ремонту планують на основі відомостей про технічний стан устаткування, отриманих при проведенні періодичного технічного обслуговування.

Система ПЗР устаткування підприємств хімічної промисловості передбачає поточний і капітальний ремонт.

Поточний ремонт виконують для забезпечення або відновлення працездатності устаткування; він полягає в заміні або відновленні окремих складальних одиниць і деталей обладнання. Поточні ремонти включають: операції періодичного технічного обслуговування; роботи із заміни або відновлення швидкозношуваних деталей і складальних одиниць; ремонт футеровки й захисного покриття; фарбування; перевірку кріпильних з'єднань й заміну вишедших з ладу деталей; заміну набивки сальників і прокладок, ревізію арматур, очищення, промивання й ревізію механізмів; зміну масла в мастильних системах, перевірку на точність і ін.

Капітальний ремонт виконують для відновлення справності й повного або близького до повного відновлення ресурсу устаткування із заміною або відновленням будь-яких його елементів, включаючи базові. При капітальних ремонтах виконують, як правило, роботи з модернізації устаткування й впровадженню нової техніки.

Обсяг капітального ремонту й докладний перелік робіт встановлюються відомістю дефектів. Типові роботи при капітальному ремонті: заходи в обсязі поточного ремонту; повне розбирання, очищення й промивання ремонтуємого устаткування; заміна й відновлення всіх зношених деталей і вузлів, включаючи базові; повна або часткова заміна ізоляції, футеровки й ін.; складання, вивірка, регулювання й центрування встаткування; фарбування й післяремонтне випробування. При капітальному ремонті усувають дефекти устаткування, виявлені як у процесі експлуатації, так і при проведенні ремонту.

ПЗР обладнання проводять на основі ремонтних нормативів, певних для машин і устаткування різних типів. Ці нормативи визначають: міжремонтний період; тривалість простою в ремонті з розбивкою на підготовчий, ремонтний і

заключний періоди (у годинах); трудомісткість ремонту (у осіб/год). Міжремонтний період визначає час роботи обладнання між двома послідовно проведеними ремонтами і є основою для розробки такого показника системи планово-запобіжного ремонту, як структура ремонтного циклу. Загальне число робочих годин устаткування умовно прийнято 720 год на місяць, 8640 год у рік. Залежно від умов роботи виробництва й з обліком технічного стану обладнання допускаються наступні відхилення від нормативу міжремонтного періоду: + 15 % між поточними ремонтами; + 10 % між капітальними ремонтами. Тривалість простою обладнання в ремонті обчислюють із моменту відключення устаткування до моменту здачі відремонтованого обладнання експлуатаційному персоналу й виводу встаткування на робочий режим і включає час проведення підготовчих, ремонтних і заключних робіт. До підготовчих робіт належать зупинка встаткування, скидання тиску, вивід продукту, продувка, промивання, нейтралізація, установлення заглушок і ін. Підготовчі роботи завершують задачею обладнання ремонтному персоналу. Тривалість власне ремонтних робіт - це період від моменту приймання обладнання в ремонт до моменту здачі відремонтованого встаткування експлуатаційному персоналу, включаючи час випробувань на міцність і щільність і обкатування вхолосту.

До заключних робіт належать підготовка, пуск устаткування в експлуатацію й вивід його на робочий режим.

8.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту

Підготовка устаткування до ремонту впливає на повноту усунення дефектів, а також на кількість ремонту. Крім того, правильна підготовка встаткування до ремонту досить важлива для забезпечення безпеки персоналу, зайнятого на ремонтних роботах. Послідовність і зміст операцій по виводу працюючого встаткування в ремонт обмовляється в технологічних інструкціях.

Устаткування виводиться з роботи вплановому порядку обслуговуючим персоналом за вказівкою особи відповідального за його стан і безпечну

експлуатацію. Потім його від'єднують від діючих трубопроводів і від іншого встаткування установкою заглушок. Заглушки встановлювані у фланцевих розніманнях, виготовляють відповідно до вимог норм із пофарбованими в червоні кольори хвостовиками, із вказівкою привласнених номерів, D_y та P_y

Установка заглушок записується у вахтовому журналі із вказівкою номера, місця й часу установки й прізвища виконавця. Так само реєструється й зняття заглушок.

Ємність готують до ремонту в такий спосіб. Доводять тиск у апараті до атмосферного, видаляють робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, що витісняє пари, що залишилися в апараті, і газу. Після пропарювання ємність промивають водою. У деяких випадках пропарювання й промивання чергують кілька разів.

Підготовленість устаткування підтверджується в наряді-допуску, що видається ремонтній бригаді.

Після закінчення провітрювання варто зробити аналіз повітря, узятого з різних порожнин теплообмінника. До робіт усередині апарата дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і пари не перевищує гранично припустимих санітарних норм.

8.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів

Ремонт посудини роблять за технологією, розробленою ремонтною організацією до початку виконання ремонтних робіт. Всі види ремонтів повинні виконуватися в строгій відповідності із графіком ППР, затвердженому головним інженером.

При проведенні ремонтних робіт в апараті необхідно керуватися «Інструкцією з організації безпечного проведення газонебезпечних робіт на підприємстві».

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду й інших відкладень.

Ремонтні роботи із застосуванням відкритого вогню повинні проводитись відповідно до «Типової інструкції з організації безпечного проведення вогневих робіт на вибухонебезпечних об'єктах». Вогневі роботи проводяться тільки при наявності дозволу на виробництво вогневих робіт.

Перевірку, регулювання й ремонт всіх контрольно-вимірювальних приладів й автоматичних пристосувань необхідно робити відповідно до «Правил організації й перевірки вимірювальних приладів і контролю за станом вимірювальної техніки з дотриманням стандартів і технічних умов», затвердженими комітетом стандартів, мір і вимірювальних приладів.

Не дозволяється знімати гайки зі шпильок або болтів доти, поки працюючий не переконається в тім, що апарат або ділянка трубопроводу не має тиску. Затягування гайок при ремонті повинна бути рівномірною щоб уникнути перенапруги в окремих болтах.

Перед зварюванням перевіряється якість підготовки й зборки елементів, що зварюють. Зсув кромки швів у стикових з'єднаннях не повинен перевищувати 10% більш тонкого листа, але не більше 3 мм. При зварюванні елементів різної товщини передбачається плавний перехід від одного елемента до іншого, при цьому кут скосу не повинен перевищувати 15°. Допускаються стикові шви без попереднього утонення стінки, якщо різниця між товщинами елементів, що з'єднуються, не перевищує 30 % від товщини більше тонкого елемента, але не більше 5 мм.

При ремонті корпусів зварювальні роботи виконуються при позитивній температурі навколишнього повітря. Допускаються зварювальні роботи з попереднім підігрівом при температурі навколишнього повітря не нижче - 20°C.

При ремонті корпусів використовують ручне електродугове зварювання, крім того може бути використане автоматичне й напіваавтоматичне зварювання. Зварні шви, що виконуються при ремонті, повинні забезпечувати необхідну міцність і бути доступними для контролю. Їх розташовують поза опорою корпусу. Перетинання зварних швів, що проводяться ручним електродуговим зварюванням не допускається.

Ушкоджену обичайку заміняють цілою або полистно. При заміні цілої проміжної обичайки використовують вантажопідйомні механізми. Вони утримують верхню неушкоджену частину апарата. Цю частину відокремлюють від дефектної обичайки й опускають на землю. Ушкоджену обичайку за допомогою тих же механізмів також опускають на землю. Нову обичайку піднімають і стикують із нижньою частиною апарата. Потім піднімають верхню частину й після стикування з обичайкою й перевірки частин обоє стикових шва заварюються. При листовій заміні використовують листи, завальцьовані по радіусу, рівному радіусу корпусу.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці заміняють новими.

9 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Техніка безпеки при ремонті обладнання забезпечується, насамперед, підготовкою робочого місця: будь те централізована, змішана організація ремонтної служби на підприємстві або ремонт по місці установки обладнання. Для цього повинні бути передбачені вільні проходи, шляхи доставки деталей, інструментів і пристосувань, огороження робочої зони, запобіжні й попереджуючі пристрої.

При роботі на висоті, як правило, повинні використовуватися інвентарні підмостки й ліса. У виняткових випадках з дозволу головного інженера ці обладнання можна виготовляти індивідуально по затвердженому проекту. Навантаження на них не повинно перевищувати розрахункову. Настили повинні забезпечуватися поруччям висотою не менш 1 м, мати поручні, бортову дошку висотою не менш 0,15 м і проміжну горизонтальну планку. Рами, стійки, сходи кріпляться до стійких конструкцій. Сходи повинні мати нахил до обрію не більш 60°.

Особливо високі вимоги пред'являються до підвісних і піднімальних лісів: вони повинні бути випробувані під навантаженням, що перевищує розрахункову в 1, 5 рази; підтримуючі й робочі канати повинні мати дев'ятикратний запас міцності.

Земляні роботи (особливо машинами) проводяться тільки з письмового дозволу керівництва підприємства за встановленою формою. Ця форма передбачає узгодження зі службами: електроцеху, пожежної охорони, зв'язки, транспорту й водопостачання. Район проведення земляних робіт позначається знаками й вказівниками.

При ремонті обладнання електрозварювальні роботи повинні бути організовані відповідно до ГОСТ 12.3.003-75

«Роботи електрозварювальні. Загальні вимоги безпеки» і Правилами пожежної безпеки при проведенні зварювальних і інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства. До зварювальних і інших вогневих робіт допускаються фахівці, що мають талон про перевірку знань вимог пожежної безпеки. Зварники проходять інструктаж з безпеки праці через кожні три місяці. Роботи з електрозварювання у взриво- і пожежезабезпечених приміщеннях повинні проводитися відповідно до вимог Типової інструкції з організації безпечного ведення вогневих робіт, затвердженої Держтехнаглядом. *Забороняється* проводити зварювальні роботи на відкритому повітрі під час дощу й снігопаду.

Місця проведення постійних вогневих робіт затверджуються наказом керівника підприємства, а тимчасових – письмовим дозволом за спеціальною формою, підписаною особою, відповідальним за пожежну безпеку даного виробництва. Слід зазначити, що дозвіл видається тільки на робочу зміну. У випадку аварії зварювальні роботи проводяться без письмового дозволу, але під спостереженням керівника підрозділу. Місця проведення вогневих робіт повинні забезпечуватися засобами пожежогасіння. Після проведення вогневих робіт керівник об'єкта або особа, відповідальна за пожежну безпеку, повинен забезпечити перевірку місця проведення цих робіт протягом 3-5 годин після їхнього виконання.

Балони з киснем або горючим газом для газозварювальних робіт повинні мати на горловинах запобіжні ковпаки, що загвинчуються. Балони при транспортуванні як наповнені, так і порожні не повинні зазнавати поштовхам і ударам. Також вони повинні бути захищені від сонячних променів і інших джерел тепла й вилучені від пальників на відстань не менш як 5 м.

Майданчик, де встановлені ацетиленові генератори, повинен бути огороженим. Барабани з карбідом необхідно відкривати за допомогою латунного зубила й молотка або спеціальним ножем, змазаним товстим шаром солідолу. Застосування мідних інструментів для розкриття барабанів забороняється. Барабани з-під карбіду необхідно охороняти від води.

Ємнісне обладнання, що підлягає розкриттю для ремонту, повинне бути охолоджене, звільнене від продукту, відключене від діючої апаратури й трубопроводів. Потім це обладнання промивається, пропарюється гострою парою, продувається інертним газом і повітрям. Устаткування розкривається тільки в присутності начальника зміни й відповідального за проведення робіт особи, які перевіряють готовність цього устаткування до розкриття.

Після розкриття в апаратах і ємностях можна працювати тільки по письмовому дозволу начальника цеху. Цей дозвіл видається механікові цеху або особі, відповідальному за проведення робіт. Дозвіл містить дані про підготовленість устаткування до ремонту, особливі заходи безпеки при проведенні робіт, сполука бригади виконавців, термін дії цього дозволу, прізвище й посада особи, відповідального за провадження робіт. У дозволі вказуються також тривалість безперервної роботи в апараті й порядок зміни працюючих. Огляд, чищення й ремонт усередині обладнання роблять особи чоловічої статі не молодше 20 років, що пройшли медичне обстеження й проінструктовані про заходи безпечної роботи на даному об'єкті. Ремонт устаткування робиться бригадою, що полягає не менш чому із двох людей: один працює, а іншої спостерігає за ним. У випадку газонебезпечних робіт, що спостерігають повинне бути двоє. Повітря в обладнанні, перед входом робітника всередину, перевіряється за допомогою відбору й аналізу проб на зміст токсичних і вибухонебезпечних речовин.

Робота усередині обладнання проводиться в ретельно пригнаному шланговому протигазу з відрегульованою подачею свіжого повітря. Робітник перед входом в апарат повинен поверх одягу надягти пояс із хрестоподібними лямками й прикріпленої до них сигнально-рятувальною мотузкою (довжиною не менш 10 м), яка вільним кінцем надійно закріплена поза обладнанням. Ця мотузка служить також для найпростішого зв'язку між працюючим і спостерігачем (дублером).

Якщо температура в апараті перевищує 50 °С, то працювати в ньому *забороняється*. Дублер завжди перебуває біля люка апарата й спостерігає за

працюючим, тримаючи в руці сигнально-рятувальну мотузку. Спостерігач повинен бути споряджений так, щоб у будь-який момент він міг надати працюючу допомогу і якщо буде потреба витягти його з апарату. У період роботи усередині обладнання необхідно систематично робити аналіз повітря в ньому. У випадку збільшення концентрації небезпечних газів в апараті роботи повинні бути припинені, а працюючі вилучені з нього.

Виконувати ремонтні роботи усередині обладнання слід проводити неіскристим інструментом. Якщо потрібно при ремонті усередині апарата застосування відкритого вогню, то такі роботи можна виконувати тільки з письмового дозволу головного інженера підприємства. Цей дозвіл повинний бути погоджене з місцевими органами пожежного нагляду. Роботи при цьому виконуються строго по спеціально розробленій інструкції й при наявності акту огляду обладнання на відсутність небезпечних речовин у ньому. Вогневі ремонтні операції проводяться при повністю відкритих люках і кришках. Обладнання повинне бути заземлене до початку зварювальних робіт, а електродотримач заблоковано з пускачем так, щоб заміна електрода могла проводитися тільки при відключеному струмі. Зварник повинен працювати усередині обладнання в діелектричних рукавичках, калошах шоломі, що ізолює, касці, підлокітниках і наколінниках.

Значний обсяг робіт при ремонті припадає на такелажні операції. Тому необхідно знати основні правила безпечного виконання цих робіт. Перед підйомом і транспортуванням вузлів і обладнання необхідно перевірити справність вантажопідйомних механізмів. Крім того, до ручного транспортування вузлів і деталей устаткування допускаються особи, що досягли вісімнадцятирічного віку й минулі медичний огляд. Слід пам'ятати, що одна людина може піднімати вантаж вагою не більш 500 Н.

Забороняється при роботі вантажопідйомних механізмів: перебувати під вантажем, що піднімається; відривати краном устаткування від бетонної підливи, що примерзло до землі; допускати розгойдування вантажу; залишати на тривалий час вантаж у піднятому стані; виправляти під час роботи лебідки

неправильне намотування троса на барабан; допускати повне розмотування троса (на барабані повинне залишатися не менш півтора витків троса). Якщо встаткування експлуатується з використанням електроенергії, то перед його ремонтом необхідно відключити енергію, а на рубильнику повісити плакат «Не включати – працюють люди».

Великий обсяг робіт при ремонті припадає на слюсарні операції, тому слід розглянути правила безпечного виконання їх. Стенди й слюсарні верстати на стороні, зверненої до інших робочих місць і проходів, повинні мати сітку, що огорожує, висотою 600 мм. Перед виконанням ремонтних робіт необхідно перевіряти справність ручного інструмента й кріплення його на рукоятках. Нарощування гайкових ключів трубами для збільшення крутного моменту *забороняється*. Верстати для заточення повинні мати захисні запобіжні кожухи й прозорий екран для захисту очей від часток абразиву й металу. Також *забороняється* відвертати й загортати гайки за допомогою молотка й зубила.

При ремонті деталей на свердлильних верстатах необхідно виконувати наступні правила:

- а) деталь повинна бути надійно закріплена на столі в лещатах або пристосуванні;
- б) стружку зі стола не можна видаляти рукою;
- в) *забороняється* подавати охолодну рідину змоченими обтиральними кінцями.

При ремонті обладнання в приміщеннях зниженої небезпеки можна застосовувати електроінструмент на напрузі 127 або 220 В, а в приміщеннях підвищеної небезпеки напруга не повинна перевищувати 36 В. Щодо цього пневмоінструмент більш безпечний і може застосовуватися в сирих приміщеннях, під дощем. Працювати із пневмоінструментом необхідно в захисних окулярах і з установкою екранів для захисту від шматків, що відлітають. *Забороняється* працювати з електро- і пневмоінструментом на приставних сходах.

При ремонті й випробуванні обладнання необхідно передбачати заходи, які виключають ушкодження діючого устаткування. Крім того, *забороняється* проведення пневматичних випробувань устаткування й трубопроводів без видалення працюючих з небезпечної зони; не можна проводити одночасно вогневі роботи й роботи, які можуть викликати викид вибухонебезпечних або горючих газів. Під час гідравлічних і пневматичних випробувань *забороняється* перебувати персоналу поруч із апаратом. Пневматичні випробування не можна проводити в діючих цехах, на естакадах і в каналах, де є працюючі трубопроводи. Підвищення й зниження тиску при випробуванні проводиться плавно й повільно. *Забороняється* робити огляд і під час підвищення й зниження тиску.

Випробування апаратів і машин проводять відповідно до технічних умов, правил і нормами для кожного виду обладнання. Перед випробуваннями обладнання забирають допоміжні пристосування, вантажопідйомні механізми, матеріали й інструмент, а також сторонні предмети з обертових частин і із внутрішніх порожнин апаратів. Особлива увага приділяється токопідводним і запобіжним обладнанням, стану заземлення, кріпленню фундаментних болтів.

Обкатування обладнання із приводами проводиться на холостому ході й під навантаженням. При цьому *забороняється* усувати дефекти на ході машини. У перервах випробування машину відключають від джерел живлення й вивішуються попереджувальні таблички з написами «Машина несправна», «Вхід не пускати».

При ремонті неметалічних деталей устаткування часто застосовують токсичні речовини – ацетон, малеїновий ангідрид, бензин, чотирихлористий вуглець і т.п. Токсичні речовини виділяються при ремонтній обробці пластмас.

Ремонтні роботи з такими матеріалами повинні проводитися в ізольованих приміщеннях або в загальних, але на спеціальних виділених і обладнаних витяжною вентиляцією місцях. Для ремонту слід брати мінімально необхідну кількість токсичних матеріалів, а робітники повинні бути в спецодязі, окулярах і респіраторях.

ВИСНОВКИ

Конструкція апарата, його основних складових одиниць і розрахунки виконані відповідно до діючої в хімічному машинобудуванні нормативно-технічної документації.

Розрахунки апарата на міцність виконані в повному обсязі і підтверджують працездатність розробленої конструкції апарата.

У ході виконання даного дипломного проекту були розраховані матеріальний і тепловий баланси. Виконано конструктивний розрахунок проектованого апарату, в ході якого визначено основні розміри проектованої колони та ємності:

- 1) діаметр колони – 1600 мм;
- 2) висота колони – 12800 мм;
- 3) відстань між тарілками – 500 мм;
- 4) кількість тарілок – 21 шт;
- 5) діаметр ємності – 2000 мм;
- 6) об'єм ємності – 10 м³;

Визначено діаметри штуцерів, підібрані стандартні конструктивні елементи.

Накреслені графічна частина: загальний вигляд апарата, технологічна схема ректифікаційної установки, збірні одиниці апарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
2. Методические указания к выполнению курсовой работы на тему “Расчет ректификационной установки непрерывного действия”. - Ильиных А.А., Носач В.А., Резанцев И.Р., 2005 – 90с.
3. Отраслевой стандарт (Ост 26-01-1488-83).
4. Доманский И.В., Исаков В.П. и др. Под общей редакцией Соколова В.Н. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
5. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справочник/Под редакцией Судакова Е.Н., 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 568 с.
6. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Под ред. Дытнерского Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии, 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
7. Коган В.Б., Фридман В.М., Кафаров В.В. Равновесие между жидкостью и паром. Справочное пособие, книга 1-я и 2-я. – М.-Л.: Наука, 1966. – 640 с. + 786 с.
8. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
9. Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу "Процессы и аппараты химической промышленности". – Л.: Химия, 1985. – 54 с.
10. Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основные

теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.

11. Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.

12. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.

13. В.В. Иванченко, О.І. Барвін, Ю.М. Штонда. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів. – Луганськ: Вид-во СНУ ім.. Даля. – 2006. – 208 с.

14. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Иванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Конструювання та розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища. – Луганськ: Вид-во СНУ ім.. Даля. – 2005. – 295 с.

15. Розрахунок на міцність, жорсткість і герметичність фланцевих з'єднань посудин та апаратів. Методика і приклад розрахунку. Сост. О.І. Барвін, В.В. Иванченко, І.М. Генкіна, В.Г. Табунціков, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. – Сєверодонецьк, СТИ, 2005. – 67.

16. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Иванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Конструювання та розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. – Луганськ: Вид-во СНУ ім.. Даля. – 2007. – 303 с.

17. Машины и аппараты химических производств. Учебник для вузов по специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов». И.И. Поникаров и др. – М.: Машиностроение. 1989. – 368 с.

18. В.В. Иванченко, Д.О. Куліков, В.Г. Табунціков. Конструкції випарних апаратів. Конспект лекцій. Сєверодонецьк, 2003. – 24 с.

19. Методичні вказівки до розрахунку елементів кожухотрубчастих теплообмінних і гріючих камер випарних апаратів на міцність, жорсткість та стійкість. Сєверодонецьк, 2004. – 68 с.

20. В.В. Іванченко, В.Г. Табунціков. Конструкції пластинчастих та спіральних теплообмінних апаратів. Конспект лекцій. Сєверодонецьк, 2003. – 28с.

Таблиця штучерів

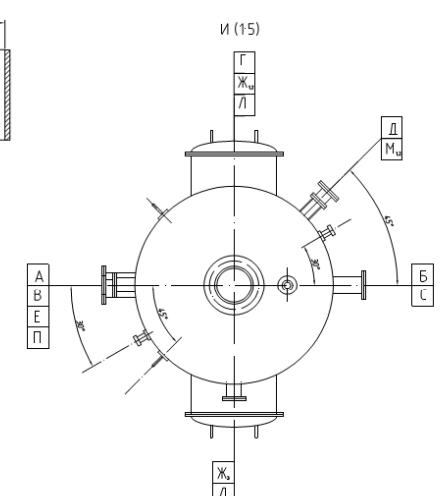
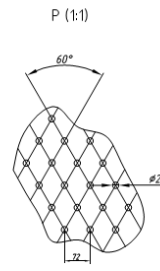
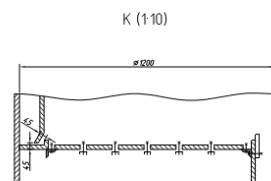
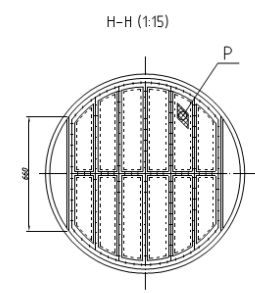
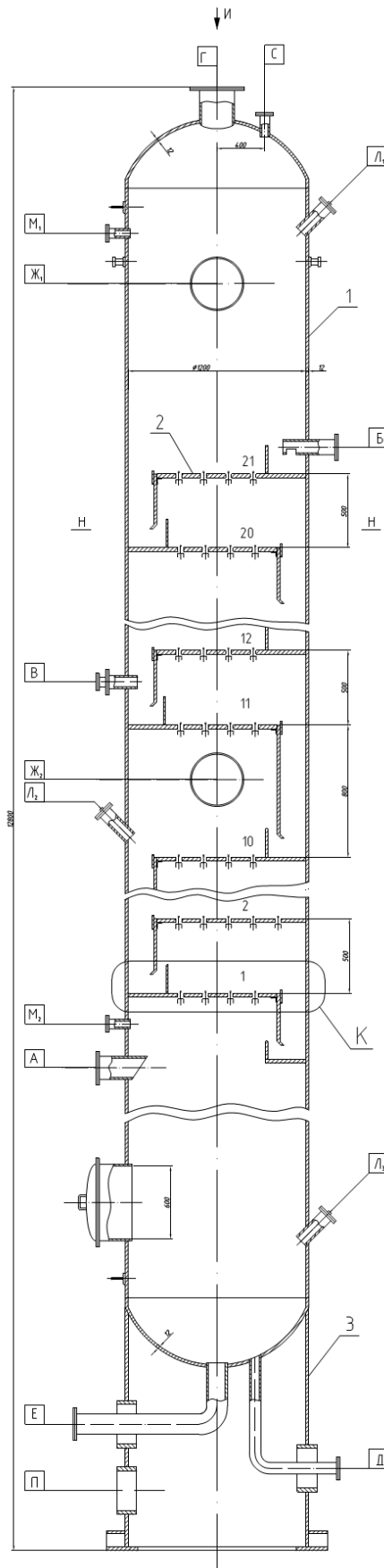
Поз	Найменування	Кільк	Площа з'єдн. Q_z , м ²	Тиск з'єдн. P_z , МПа
А	Вхід пара	1	400	0,1
Б	Вхід флегми	1	50	0,1
В	Вхід вихідної сировини	1	50	0,1
Г	Вихід пара	1	400	0,1
Д	Вихід кубового залишку	1	50	0,1
Е	Вихід рідини з кубу	1	80	0,1
Ж _{1,2}	Лок	3	600	0,1
Л _{1,2}	Для заміра температури	3	50	0,1
М _{1,2}	Для заміра тиску	2	50	0,1
П	Лаз	1	500	0,1
С	Резервний	1	50	0,1

Технічна характеристика

1. Апарат призначений для поділу сировини метанол-вода
2. Ємність номінальна 32 м³
3. Продуктивність 1,352 кг/с
4. Тиск в колоні - атмосферний
5. Температура середовища в кубі 97 °С
6. Середовище в апараті - токсична
7. Тип тарілки - ТС-Р (Ст-чати, розбірні)
8. Число тарілок - 21

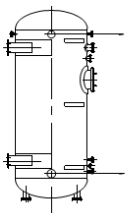
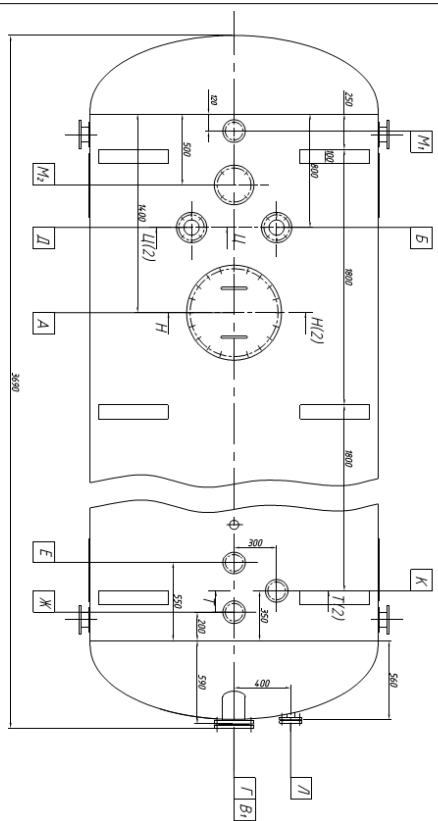
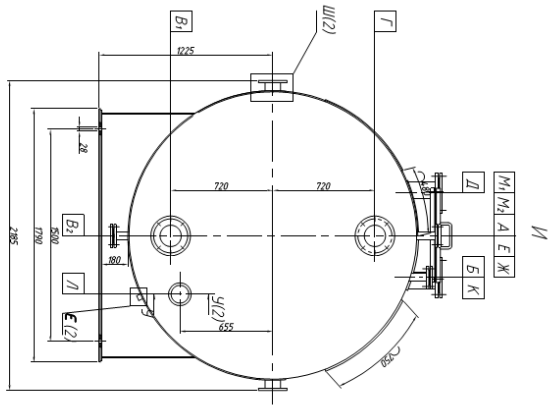
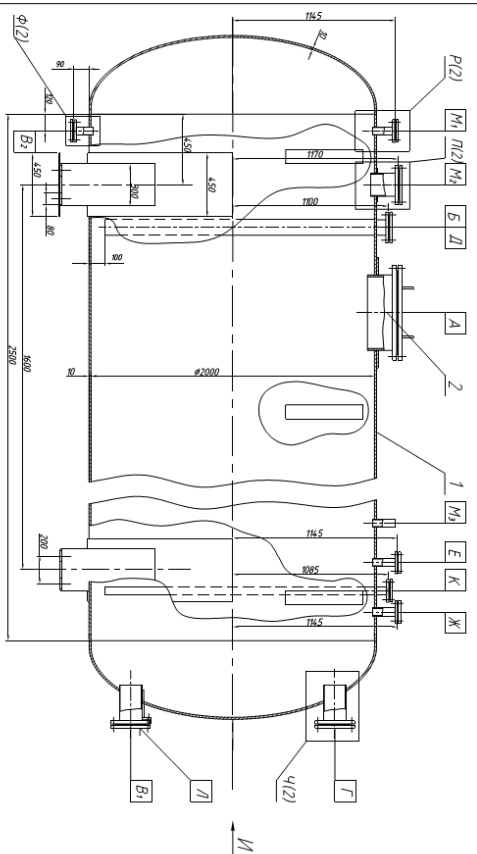
Технічні вимоги

1. При виготовленні, випробуванні та поставці апарату повинні виконуватися вимоги:
 - а) Держтехнагляду;
 - б) ГОСТ 12.2.003 - 74 "Оборудование производственное. Общие требования безопасности";
 - в) ОСТ 26 - 291 - 79 "Судни и аппараты сталебные. Технические условия"
2. Матеріал колони і тарілок - сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.
Матеріал опори - сталь 09Г2С ГОСТ 5520 - 79.
Матеріал прокладок - пароніт ПОН - 1 ГОСТ 481 - 80.
3. Апарат випробувати на міцність і щільність гідравлічно в горизонтальному положенні під тиском 1,0 МПа, в вертикальному положенні - під наливом.
4. Зварні з'єднання повинні відповідати вимогам ОСТ 26 - 01 - 82 - 77 "Зварювання вкінцічному машинобудуванні".
5. Зварні шви в обсязі 100% контролювати рентгенопробним методом.
6. Справити розташування штучерів, локів, цапф, штирів дов. на схемі.
7. Не вказаний біт штучерів 150 мм.
8. * Розміри для довідок.



Поз	Позначення	Найменування	Кільк	Маса т	Найменування і марка матеріал	Прим
		Складальні одиниці				
1		Корпус колони	1			
2		Тарілка ТС-Р	21			
3		Опора циліндрична	1			

155.012.00.000 B3					
Зм.	Лист	В. Давид.	Листів	Маса	Розмір
Рис.	Розроб.	Головний	2	1600	1:15
Г. інжен.	Підписаний				
М. інжен.	Корис.				
Лист	Змінив.				



Таблиця шпигерів

Вид шпигера	Кол-во	Розмір	Тиск
Д	Ліжк	1 500	1
Б	Вхід сверху	1 100	1
В	Вихід сверху	1 150	1
Г	Перший сверху	1 150	1
Д	Труба переоб'їдання	1 100	1
Е	Встановлення запірника	1 50	1
Ж	Встановлення люка	1 50	1
Л	Встановлення термометра	1 50	1
М	Резервний	1 150	1
М3	Подобранник	1	1

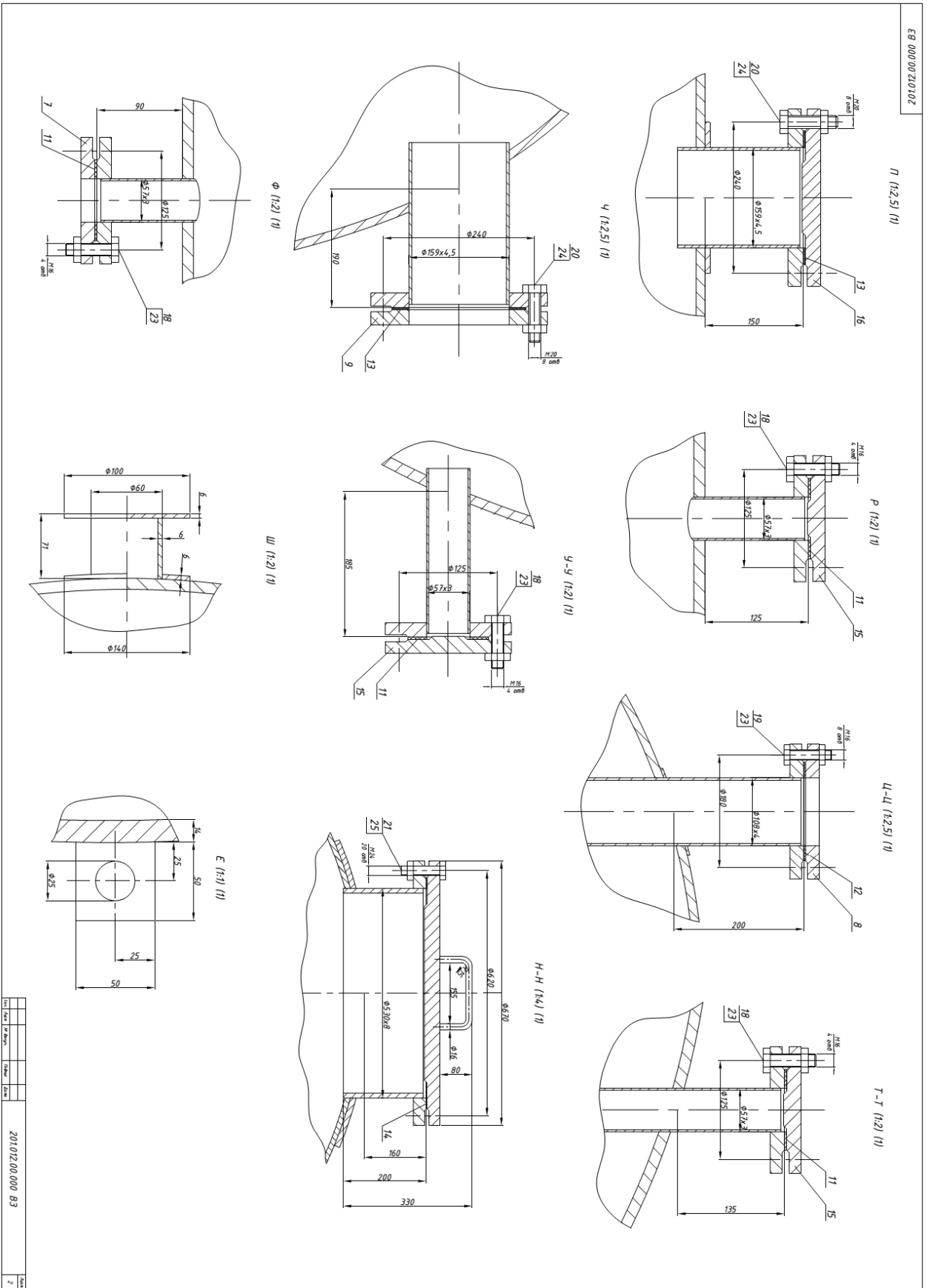
Технічна характеристика

1. Апарат призначений для приймання, зберігання і видачі ріжких і газоподібних середовищ
2. Об'єм номінальний робочий, не більш 10
3. Тиск в апараті, МПа робоче 1,0
4. Температура в апараті, С робоче 1,3
5. Середовище в апараті: розрахована 20
6. Шільність середовища, кг/м³, не більш 1000
7. Збільшення для компенсації корозії, мм 1
8. Розрахунковий термін служби, рік 20
9. Число циклів нагрівання, не більш 3
10. Група апарату за ДСТУ 3-17-191-2000
11. Вага апарату в робочому стані, кг, не більш 24200

Технічні вимоги

1. Визомовлення, вироблення і придання апарату робити згідно з вимогами ДСТУ 3-17-191-2000 "Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови"
2. Апарат підлягає ввезенню Державним інспекціям України.
3. Основний матеріал апарата - сталь СтЗ за ГОСТ 5632-72
4. Зварювання робити згідно з вимогами ДСТУ 3-020-2001 "Зварювання в інтенсивному машиннобудівному виробництві металургійного проєкту"
5. Зварені шви підлягають контролю ультразвуковою дефектоскопією в об'ємі 100%
6. Герметичність і щільність апарата, зварених і роз'ємних сполук перевірити відповідним виробничим Величина пробного тиску згідно п. 3 технічної характеристики.
7. Апарат повинен бути теплоізоляційний. Розміщення люку для теплоізоляції за ДСТУ 1734-73
8. Стrojована апарата робити згідно зі схемою стволу, зазначеної на кресленні. Стrojовий об'їдання і їх графіку до апарата виробляли на місцях виробничо до ДСТУ 1376-73

201012.00.000 ВЗ		Лист	Всього	Печатки
Лист	Корисний	Лист	Лист	
Лист	Лист	Лист	Лист	
Лист	Лист	Лист	Лист	
Апарат ГЕЕ-4-10-1,0		Лист 1	Листів 4	
МБ-14 Д				



№ п/п	№ документа	№ листа	№ листа
1	201.012.00.000.03	7	7