

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ХІМІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**Кваліфікаційна робота бакалавра
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві бензолу.
Розробити тарілчасту ректифікаційну колону.

Виконав:

Студент групи ХМ-71 КЮХВ

Іваненко Д.І.

прізвище та ініціали

залікова книжка

№ 19510102

Захищений з оцінкою:

Керівник:

Скиданенко Максим Сергійович

посада, прізвище та ініціали

підпис викладача

СУМИ 2021

ЗАВДАННЯ
до кваліфікаційної роботи бакалавра

Студенту Іваненко Данило Ігорович

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві бензолу.
Розробити тарілчасту ректифікаційну колону.

2 Вихідні дані: Тарілчаста ректифікаційна колона для розділення суміші ацетон – бензол. Вихідні дані: витрата початкової суміші 2750 кг/год; вміст легколетючого компонента (у % мол.) у початковій суміші – 24; у дистилляті – 93; у кубовому залишку – 3; тиск в апараті 1 ат; контактні пристрої – ковпачкові тарілки.

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

- 1) Технологічна схема установки ректифікаційної – 1 арк.
- 2) Складальне креслення колони ректифікації – 1 арк.
- 3) Складальне креслення ковпачкової тарілки – 1 арк.
- 4) Складальне креслення царги куба – 1 арк.

4 Рекомендована література: Лацинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры – Москва: Машиностроение, 1970. – 752 с.

5 Етапи виконання курсового проекту:

| Етапи та розділи проектування | ТИЖНІ | | | | |
|-------------------------------|-------|------|-----|-------|----|
| | 1,2 | 3–6 | 7–9 | 10-13 | 14 |
| 1 Вступна частина | xx | | | | |
| 2 Технологічна частина | | xxxx | | | |
| 3 Розрахункова частина | | | xxx | | |
| 4 Розроблення креслень | | | | xxxx | |
| 5 Оформлення записки | | | | | x |
| 6 Захист роботи | | | | | x |

6 Дата видачі завдання _____ 2021р

Керівник _____
підпис викладача

посада, прізвище та ініціали

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 83 с., 25 рис., 6 табл., 3 додатки, 12 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальне креслення ковпачкової тарілки, складальне креслення царги куба – всього 4 аркуша формату А1,

Тема проекту "Ректифікаційна колона з ковпачковими тарілками у виробництві ацетон-бензол".

Наведено теоретичні основи і особливості процесу ректифікації у виробництві ацетон-бензолу, виконані розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, виконані технологічні розрахунки апарата, Розглянуто пристрій і принцип роботи тарілчастої ректифікаційної колони, порівняння за аналогами вибраної конструкції, виконано конструктивні розрахунки апарату, розраховано діаметри штуцерів, визначено гідравлічний опір ковпачкової тарілки і апарата в цілому. Розрахунками на міцність і стійкість підтверджено надійність роботи проектного апарату.

Вибрані матеріали для виготовлення з обґрунтуванням їх корозійної стійкості.

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА, МЕТАНОЛ, КОЛОНА РЕКТИФІКАЦІЙНА, РОЗРАХУНОК, КОВПАЧКОВА ТАРИЛКА, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ, СТІЙКІСТЬ, ДОПУСТИМИ НАПРУЖЕННЯ, РОЗРАХУНКОВА ТЕМПЕРАТУРА, РОЗРАХУНКОВИЙ ТИСК, РОЗРАХУНКОВА ТОВЩИНА, УМОВА МІЦНОСТІ, ЗМІЦНЕННЯ ОТВОРІВ, ФЛАНЦЕВЕ З'ЄДНАННЯ, ОПОРА.

Зміст

| | |
|--|----|
| Вступ | 5 |
| 1 Теоретичні основи розробляемого процесу та вибір матеріалу | 7 |
| 1.1 Опис технологічної схеми установки | 7 |
| 1.2 Теоретичні основи розробляемого процесу | 8 |
| 1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів | 10 |
| 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата | 17 |
| 2.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки | 18 |
| 2.2 Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки | 33 |
| 2.3 Конструктивний розрахунок | 36 |
| 2.4 Гідравлічний розрахунок | 44 |
| 2.5 Вибір допоміжного обладнання | 47 |
| 3 Розрахунки на міцність апарату | 50 |
| 3.1 Розрахунок товщини стіни корпусу і кришки апарату | 50 |
| 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання | 53 |
| 3.3 Розрахунок на вітрове навантаження | 60 |
| 3.4 Розрахунок опори апарату | 63 |
| 3.5 Укріплення отворів | 65 |
| 4 Монтаж та ремонт апарата | 68 |
| 4.1 Монтаж розробленого апарата | 68 |
| 4.2 Ремонт апарата | 71 |
| 5 Охорона праці | 74 |
| Висновок | 80 |
| Література | 81 |
| Додаток А – Специфікація до складального креслення колони | |
| Додаток Б – Специфікація до складального креслення тарілки | |
| Додаток В – Специфікація до складального креслення царги куба | |

| | | | | | | | |
|------------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|---|-------------|---------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | | |
| <i>Разраб.</i> | | <i>Іваненко</i> | | | <i>Лит.</i> | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Провер.</i> | | <i>Скиданенко</i> | | | | 4 | 83 |
| <i>Реценз.</i> | | | | | <i>Пояснювальна записка до розрахунку ректифікаційної колони</i> ХМ-71 КЮХВ | | |
| <i>Н. Кднтр.</i> | | | | | | | |
| <i>Утверд.</i> | | | | | | | |

Вступ [1]

Хімічна промисловість це одна з найважливіших галузей економіки країни. Хімічна промисловість випускає різні вироби більш ніж 4 - х тисяч найменувань. Для того, щоб хімічна промисловість держави була конкурентно здатною вони повинні випускати товари і вироби з високими техніко-економічними показниками, тобто товари повинні мати низьку ціну, високу якість і довговічність.

Для того, щоб хімічна промисловість була конкурентоздатна, її необхідно забезпечити відповідним хімічним устаткуванням з високими техніко-економічними показниками, а також щоб це устаткування було надійне в експлуатації, мало досить великий термін служби і забезпечувало механізацію технологічних процесів, що проводилися в них. У свою чергу, щоб забезпечити серійне виробництво такого устаткування, потрібне виробництво призначене для випуску саме цього устаткування, мали сучасні, ефективні технологічні процеси, устаткування, оснащення, пристосування. Істотну роль при цьому грає організація праці і економіка цих виробництв.

Як відомо, в хімічній технології широко поширені процеси абсорбції. Абсорбція – фізико-хімічний процес поглинання речовин з розчинів чи сумішей газів твердими тілами або рідинами з утворенням розчинів. У промисловості абсорбція широко застосовуються для виділення з газових сумішей цінних компонентів, для очищення технологічних і горючих газів.

Все більшого поширення в нафтопереробній промисловості набувають тарілчасті колони з клапанними тарілками, основними перевагами яких менше металоємність і вартість виготовлення (на 30-40% в порівнянні з ковпачковими тарілками), більш високий діапазон зміни навантажень по газовій фазі (майже в 4 раз більше щодо мінімального), висока ефективність масопереносу (ККД тарілок досягає 80-85%) в широкому інтервалі навантажень, низький гідравлічний опір в порівнянні з шліцевими тарілками.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 5 |

Відповідно до завдання, в курсовому проекті розроблена конструкція колони ректифікаційної безперервної дії, проведені наступні розрахунки:

- теплові та матеріальні баланси
- технологічні розрахунки
- конструктивні розрахунки
- гідравлічний опір апарата
- розрахунки на міцність та герметичність

Вибрані матеріали для виготовлення з обґрунтуванням їх корозійної стійкості. Також було вибрано допоміжне обладнання. Були розглянуті питання монтажу та ремонту апарата, питання охорони праці.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 6 |

1 Теоретичні основи розробляемого процесу та вибір матеріалу

1.1 Опис технологічної схеми установки [1]

Принципова схема ректифікаційної установки представлена на рис. 1.1. Вихідну суміш з проміжної ємності 1 відцентровим насосом 2 подають в теплообмінник 3, де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш надходить на поділ в колону ректифікації 5 на тарілку харчування, де склад рідини дорівнює складу вихідної суміші X_F .

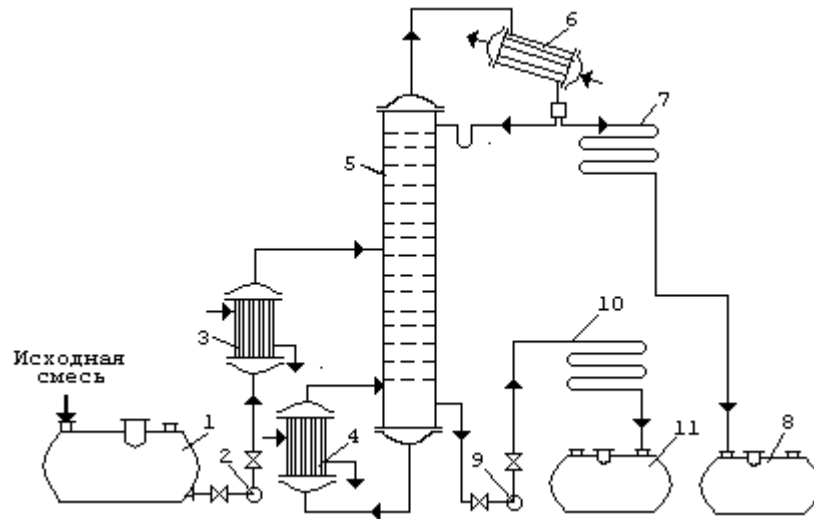


Рисунок 1.1 - Принципова схема ректифікаційної установки:

- 1 - ємність для вихідної суміші; 2, 9 - насоси; 3 - теплообмінник-підігрівач; 4 - кип'ятильник; 5 - колона ректифікації; 6 - дефлегматор; 7 - холодильник дистилляту; 8 - ємність для збору дистилляту, 10- холодильник кубової рідини; 11- ємність для кубової рідини.

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з підіймаючоюся вгору паром, що утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильник 4. Початковий склад пара приблизно дорівнює складу кубового залишку X_W , тобто збіднений низькокиплячим компонентом. В результаті масообміну з рідиною пар збагачується низькокиплячим компонентом. Для більш повного збагачення, верхню частину колони зрошують, відповідно до заданого флегмового числа, рідиною (флегмою) складу X_R , яку подають дефлегматором 6 шляхом конденсації пара, що виходить з колони. Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту поділу - дистилляту, який охолоджується в теплообміннику 7 і направляється в проміжну ємність 8.

З кубової частини колони насосом 9 безперервно виводиться кубова рідина - продукт, збагачений висококиплячим компонентом, який охолоджується в теплообміннику 10 і прямує в ємність 11.

Таким чином, в ректифікаційній колоні здійснюється безперервний неврівноважений процес поділу вихідної бінарної суміші на дистиллят (з високим вмістом легколетучого компонента) і кубовий залишок (збагачений важколетучим компонентом).

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | | 7 |

1.2 Теоретичні основи розробляемого процесу [1]

Ректифікація – дифузійний процес поділу рідких сумішей взаємно розчинних компонентів, що різняться по температурах кипіння, який здійснюється шляхом протиточного, багаторазового контактування нерівновагих парових і рідких фаз.

При ректифікації взаємодіють дві фази — рідка й парогазова, між якими здійснюється багаторазовий протиточний тісний контакт на спеціальних обладнаннях (тарілках або насадці) різної конструкції. Завдяки тісному контакту між рідкої й парогазової фазами молекули з однієї фази переходять в іншу.

Може настати такий момент, коли кількість молекул, що переходять із однієї фази в іншу за одиницю часу, стане рівним числу молекул, що вертаються в дану фазу. Тоді склад фаз залишиться незмінним. Такий стан фаз називається рівноважним і встановлюється воно тільки за умови рівності температур і тисків рідини й пари. Для порушення стану рівноваги необхідно змінити в системі або тиск, або температуру, або склад фаз.

Сукупність речовин, що перебувають у кожному окремому апараті, називається системою. Розрізняють системи гомогенні (однорідні) і гетерогенні (різнорідні).

Гомогенною називається така система, яка на всьому своєму протязі (у повному обсязі) не має поверхонь розділу й у кожній своїй частині має ідентичні фізичні властивості й хімічним складом.

Гетерогенної називається система, що полягає із частин, що володіють різними фізичними й, можливо, різними хімічними властивостями, причому ці частини відділені друг від друга обмежувачими поверхнями. Гетерогенна система складається із частин, кожна з яких є гомогенною й відділена від інших частин обмежувачими поверхнями. Ці гомогенні фізично різні й механічно віддільні частини називаються фазами.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 8 |

У ректифікаційній колоні є дві фази — рідкі нафтопродукти і їх пари (іноді разом з водяною парою). Фаза повинна бути фізично й хімічно гомогенною, але не обов'язково хімічно простій.

Компоненти — хімічно індивідуальні речовини, що входять до складу системи.

Процес ректифікації здійснюється в апаратах колонного типу, де на тарілках різної конструкції або насадці відбувається багаторазовий контакт між протиточними парами, що рухаються, виділяються при випарі сировини, що переробляється, і рідиною, що виходить при конденсації пар.

Інтенсивна взаємодія на тарілці колоні між висхідними парами й спадною рідиною, які неврівноважені, приводить до того, що потоки обмінюються речовиною й теплом. У результаті цієї взаємодії в системі відбувається перерозподіл компонентів між фазами, пари частково конденсуються, а рідина частково випаровується, причому з пари конденсуються переважно ВКК, а з рідини випаровується в основному НКК, таким чином рідина, що стікає, збагачується ВКК, а висхідні пари збагачуються НКК

Такий контакт між фазами може привести парорідку систему в стан рівноваги, тобто встановляться рівноважні значення складів фаз і припиниться процес їх взаємодії (ідеальний контакт; теоретична тарілка). Фактично система не досягає рівноважного стану. Пари й рідина відділяються друг від друга й далі знову контактують на наступних тарілках з іншими нерівновагими рідкими й паровими потоками.

Повторюючи багаторазове контактування висхідного потоку пар у колоні зі спадною рідиною безупинно на насадці, або східчасто на тарілках, можна досягти істотної зміни складів взаємодіючих фаз, у результаті вихідні з колоні пари доводять до бажаної концентрації НКК (майже чистий НКК), а рідина, що приділяється з нижньої частини колоні, складається переважно із ВКК.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 9 |

Пари зверху колони надходять у конденсатор, де вони конденсуються; частина конденсату вертається на верх колони як зрошення для створення спадного потоку рідини в колоні. Таке зрошення колони називається холодним або гострим.

Спадний потік рідини в колоні можна створити також шляхом відібрання певної кількості тепла на верху колони й конденсації частини пари над першою тарілкою колони в спеціальному (парціальному) конденсаторі: таке зрошення колони називається гарячим.

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів [1]

Масообмінний апарат являє собою вертикальний циліндричний корпус 1, що виготовляється суцільнозварним або зібраним з окремих царг. У корпусі на певній відстані одна від іншої встановлюють багатоковпачкові тарілки 4 переливного типу, відстань між тарілками визначається залежно від технологічних параметрів роботи і діаметра колони. Люки-лази 5 для огляду і ремонту тарілок звичайно встановлюють при відстані між тарілками не менш ніж 500 мм, при цьому один люк може бути встановлений в розрахунку на обслуговування декількох тарілок.

Тарілка являє собою круглий диск (для колон діаметром до 1 м), на якій у шаховому порядку укріплені парові патрубки, закриті зверху капсульними або тунельними ковпачками.

Базою тарілки є металеве полотно 7 товщиною 2-5 мм, на якому в певному порядку встановлюють газові (парові) патрубки 11. Парові патрубки на тарілці розташовують переважно в шаховому порядку.

Над кожним патрубком закріплені капсульні ковпачки 10, нижні краї якого занурені в рідину. Ковпачки біля основи мають зубчасті прорізи для дроблення пара на дрібні струмки. Тим самим збільшується площа контакту між парами і рідиною

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 10 |

До тарілки кріпиться зливальний лист 13, занурений у шар рідини на нижчерозташованій тарілці та утворює на тарілці гідрозатвор, що перешкоджає проходу газу мимо газових патрубків.

На тарілці організована прийомна кишеня 8, в яку надходить рідина з вищерозміщеної тарілки, площа переливної кишені обмежена переливною планкою 9. Із протилежної сторони тарілки встановлюють зливальну планку 12, висота якої регулюється залежно від рівня шару світлої рідини на тарілці.

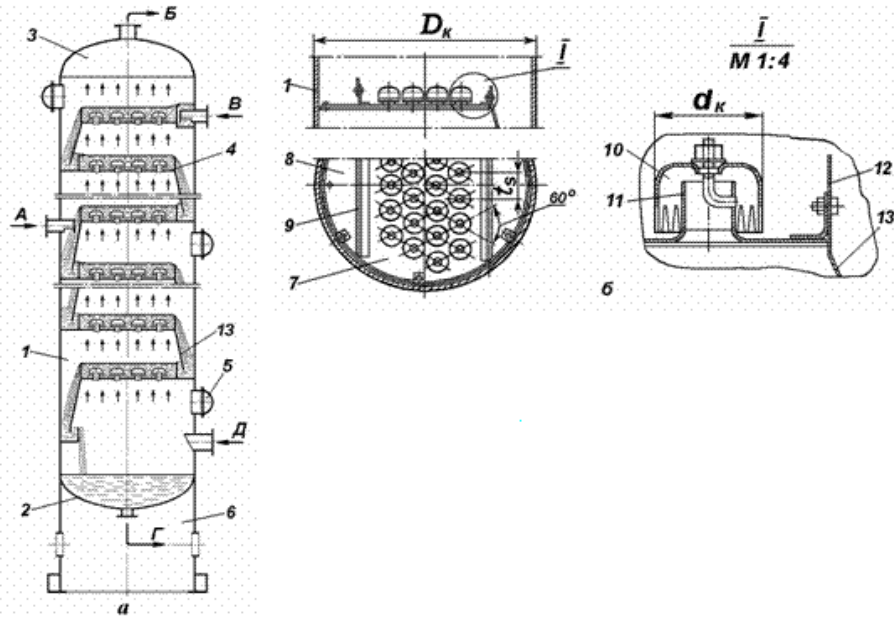


Рисунок 1.2 - Колона ректифікаційна з ковпачковими тарілками:

а - будова колони; б - будова тарілки ковпачкової із сегментними переливами;

Потоки: А - подача вихідної суміші; Б - відведення пари; В - подача флегми; Г - відведення кубової рідини; Д - подача пари з випарника; 1 - корпус колони; 2 - днище; 3 - кришка; 4 - тарілка ковпачкова із сегментними переливами; 5 - люк - лаз; 6 – опора

В ректифікаційній колоні створюються два зустрічних потоку - потік піднімаючою вгору пари (подається у патрубок Д) і потік стікаючої назустріч їм рідини (подається у патрубок В)

Вихідний потік газу (пари) надходить в апарат знизу, розподіляється по контактних елементах тарілки. На тарілках колони завжди є шар флегми. Так як флегма кілька холодніше парів, пар барботуючи через шар рідини, охолоджуються і частково конденсуються. В процесі конденсації пари

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ

Лист

11

виділяється певна кількість теплоти. Крім того, дно кожної тарілки обігривається парами нижчирозташованої тарілки. За рахунок цього тепла флегма нагрівається і кипить.

При малих швидкостях потік газу через парові патрубки надходить під ковпачки, через прорізи ковпачків газ диспергується на пухирці та струмені, барботує через шар рідини на тарілці, при цьому відбувається пухирчастий режим барботажу. При підвищенні швидкості газу в прорізах ковпачків виникають послідовно струминний, пінний і інжекційний гідродинамічні режими барботажу.

При струминному і пінному режимах барботажу на тарілці утворюється шар піни, у якому відбувається інтенсивний масоперенос речовини з газової фази в рідку. У нормальному режимі роботи ковпачкових тарілок звичайно висота шару піни, утвореної над верхнім зрізом ковпачків, становить 2-3 висоти шару світлої рідини на тарілці.

При подальшому підвищенні швидкості газу відбувається повне відкриття прорізів і виникає інжекційний режим роботи тарілки, струмені газу прориваються через шар рідини і піни, при цьому відбувається різке зниження інтенсивності взаємодії фаз на тарілці.

Отже, для оптимальної роботи ковпачкових тарілок необхідно забезпечити певну швидкість газу в прорізах ковпачків, яка звичайно становить 5-8 м/с.

Таким чином у ректифікаційних колонах на тарілках відбувається багатоступеневий контакт парової і рідкої фаз, у результаті якого парова фаза конденсується в рідкій фазі на тарілці, за рахунок тепла конденсації з рідкої фази виділяється парова фаза нового складу, збагачена легкокиплячим компонентом, одночасно рідка фаза збагачується важколетючим компонентом і перетікає на нижчирозташовані тарілки.

У результаті багаторазового протікання процесу пара являє собою майже чистий низькокиплячі компонент, що відводиться з верхньої частини

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 12 |

колони через патрубок Б а залишок в нижній частині колони - чистий висококиплячий компонент, що відводиться через патрубок Г.

Насадочні колони, тобто ректифікаційні колони, заповнені насадкою, ефективні в тих випадках, коли швидкість пари у колоні відносно постійна, а обсяги поділюваних середовищ невеликі. На НПЗ вони часто застосовуються в якості абсорберів для очищення газу.

Тарілчасті ректифікаційні колони широко поширені на НПЗ. Існують ректифікаційні тарілки барботажного й струнного типу. У свою чергу, барботажні тарілки діляться на тарілки з переливами (жолобчасті, тунельні, колпачкові, з S-Образними елементами, клапанні) і без переливів (гратчасті, ситчасті з відбійними елементами).

Усі контактні обладнання підрозділяються на три типи: насадочні, роторні й тарілчасті. По напрямкові руху контактуючих фаз тарілчасті контактні обладнання розділяються на протиточні (гратчасті, ситчасті, хвилясті), перехресні (колпачкові, S-Образні, клапанні і т.д.), перехресно-прямоточні (струминні, клапанні прямоточні, клапанні баластові) і прямоточні (плівкові, вихрові, відцентрові і т.д).

Жолобчасті тарілки прості по конструкції, легко монтуються, однак мають малу площу барботажа (до 30% від площі тарілки), що сприяє збільшенню швидкості пари і віднесенню флегми.

Тарілки з S-Образними елементами застосовуються в колонах, що працюють при атмосферному й підвищеному тисках; для них характерна усталена робота при зміні навантажень.

Гідністю клапанних тарілок є динамічний, змінний режим роботи. Рухливі клапани залежно від парового навантаження піднімаються й опускаються, регулюючи площу вільного перетину тарілки. Внаслідок цього в широкій межі навантажень швидкість пар у отворах тарілки суттєво не міняється.

У гратчастих тарілок контакт між парою й рідиною відбувається на поверхні полотна тарілки; ці тарілки дуже чутливі до коливань навантажень по парі й рідині.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 13 |

Ситчасті з відбійними елементами тарілки використовуються у вакуумних колонах, для яких характерні більші навантаження по парі й малі — по рідині. Гідність ситчасті тарілок з відбійними елементами — низький гідравлічний опір.

Згідно з завданням курсового проекту розроблювальна ректифікаційна колона матиме ковпачкові тарілки.

Основними перевагами масообмінних колон з ковпачковими тарілками є порівняно високий ККД у широкому діапазоні навантажень щодо газової (парової) фази (при відношенні максимального навантаження до мінімального до 3), можливість роботи із забрудненими рідинами, порівняно невисокий гідравлічний опір колони (не більше 1 кПа).

Основними недоліками колон з ковпачковими тарілками є висока металоємність, більші трудовитрати при виготовленні, монтажі і ремонті тарілок, відносно високий гідравлічний опір.

Вибір матеріалу

Корозія - це руйнування металевих матеріалів, що відбувається під хімічною дією довкілля. Відома безліч способів захисту металів від корозії. Зокрема виробляють заміну матеріалів, що піддаються корозії, на корозійностійкі. Також застосовуються різні лакофарбні покриття.

Ацетон-бензол по відношенню до вуглецевих сталей має не високу корозійну активність (клас по корозійній активності 4, швидкість корозії не перевищує 0,05 мм/рік), тому усі вузли і деталі апарату (корпус апарату) недотичні до абсорбенту, виготовляються із сталі 09Г2С.

Вид постачання - сортовий прокат, у тому числі фасонний: ГОСТ 19281-73, ГОСТ 2590-71, ГОСТ 2591-71, ГОСТ 8240-72.

Призначення – конструктивні деталі і елементи зварних металоконструкцій, що працюють при температурі від, - 70 до +425°С.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі 09Г2С, у відсотках

| N, не більш | Si | Mn | Cu, не більш | As, не більш | Ni, не більш | S, не більш | C, не більш | P, не більш | Cr, не більш |
|----------------|---------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0,008 | 0,5-0,8 | 1,3-1,7 | 0,30 | 0,08 | 0,30 | 0,040 | 0,12 | 0,035 | 0,30 |

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі 09Г2С.

| Механічні властивості сталі 09Г2С | | | | | |
|-----------------------------------|---|-------------------|----------------------|------------------|----------------|
| ГОСТ | Стан поставки | Переріз, мм | $\sigma_{0,2}$ (МПа) | σ_B (МПа) | δ_5 (%) |
| 19281-73 | Сортовий і фасонний прокат | до 10 | 345 | 490 | 21 |
| 19282-73 | Листи й смуги (Зразки поперечні) | от 10 до 20 вкл. | 325 | 470 | 21 |
| | | от 20 до 32 вкл. | 305 | 460 | 21 |
| | | от 32 до 60 вкл. | 285 | 450 | 21 |
| | | от 60 до 80 вкл. | 275 | 440 | 21 |
| | | от 80 до 160 вкл. | 265 | 430 | 21 |
| 19282-73 | Листи після гарту, відпустки (Зразки поперечні) | от 10 до 32 вкл. | 365 | 490 | 19 |
| | | от 32 до 60 вкл. | 315 | 450 | 21 |
| 17066-80 | листи гарячекатані | 2-3,9 | | 490 | 17 |

Температура кування - спочатку 1250°C, кінця 850°C.

Зварюваність - зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЭШС. Марка широко використовується для зварних конструкцій. Зварювання може виконуватися як без підігріву, так і з попереднім підігрівом до 100-120 С. Так як вуглецю в сталі мало, то зварювання її досить проста, причому сталь не гартується і не перегрівається в процесі зварювання, завдяки чому не відбувається зниження пластичних властивостей або збільшення її зернистості.

До плюсів застосування цієї сталі можна віднести також, що вона не схильна до відпускнуї крихкості і її в'язкість не знижується після відпустки. Вищенаведеними властивостями пояснюється зручність використання 09Г2С від інших сталей з великим вмістом вуглецю або присадок, які гірше варяться і змінюють властивості після термообробки. Для зварювання 09Г2С можна застосовувати будь-які електроди, призначені для низьколегованих і маловуглецевих сталей

Оброблюваність різанням - в нормалізованому, відпущеному стані при

$$s_B = 520 \text{ МПа } K_{и \text{ тв.стл.}} = 1,6, K_{и \text{ б.ст.}} = 1,0.$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | | 15 |

Заходи по захисту від корозії.

Для захисту зовнішньої поверхні апарату, зовнішньої і внутрішньої поверхні опори, від дії атмосферної корозії покривають лаком ПФ - 170, з пудрою ПАП, зовнішні незабарвлені поверхні з вуглецевої сталі покривають гарматним мастилом типу ЗТ5/5-5 ГОСТ 19537-83.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 16 |

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

Вихідні дані:

Бінарна суміш (НКК-ВКК) – ацетон-бензол;

Тиск у колоні – 1 ат;

Витрата вихідної суміші – 2750 кг/год;

Мольна частка НКК:

- у сировину $\overline{X}_F = 0,24$;

- у дистилаті $\overline{X}_D = 0,93$;

- у залишку $\overline{X}_W = 0,03$;

Тиск насиченої водяної пари в кип'ятильнику – 0,4 Мпа;

Температура охолодженої води:

$t_h = 15^\circ\text{C}$; $t_k = 35^\circ\text{C}$;

Молекулярна вага¹:

Ацетон – 58,05; Бензол – 78,05

Питома вага¹ :

Ацетон – 0,7908; Бензол – 0,87901

Густина¹ ρ_{4}^{20} , г/см³:

Ацетон - 0,789 ;Бензол – 0,879

Температура кипіння¹:

Ацетон - 56,24 С°; Бензол – 80,103 С°

Коефіцієнти Антуана¹:

Ацетон:

A – 7,2506; B – 1281,7; C - 237,088

Бензол:

A – 6,9121; B – 1214,645; C – 221,205

¹ Властивості взяті з джерела 9

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 17 |

2.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки

В основу технологічних розрахунків ректифікаційної установки покладені рівняння матеріальних і теплових балансів. На базі рівнянь матеріальних балансів визначають масові витрати цільових продуктів залежно від загальної продуктивності колони, концентрації вихідної суміші і одержуваних продуктів.

На рис. 2.1 подана схема взаємодії матеріальних потоків у простій ректифікаційній колоні.

При розрахунку ректифікаційних колон приймають наступні допущення, що незначно змінюють умови протікання процесу, але значною мірою спрощують розрахунок:

1. вихідна (поділювана) суміш подається в колону на тарілку живлення підігрітою до температури кипіння, що виключає різкі зміни температур і концентрацій речовин у паровій і рідкій фазах;
2. концентрація НКК у парі, що виводиться з верху колони в дефлегматор, і концентрація НКК у флегмі, що надходить з дефлегматора у колону, рівні між собою, тобто $\bar{y}_D = \bar{x}_D$;
3. концентрація НКК у парі, що надходить у колону з кип'ятильника, дорівнює концентрації НКК у кубовій рідині, тобто $\bar{x}_W = \bar{y}_W$;
4. поділювана суміш підкоряється правилу Трутона, відповідно з яким відношення мольної теплоти випаровування (конденсації) речовини до її абсолютної температури кипіння для всіх речовин суміші є величиною

сталю, тобто $\frac{r_1}{T_1} = \frac{r_2}{T_2} = \dots = \frac{r_{cm}}{T_{cm}} \approx const$.

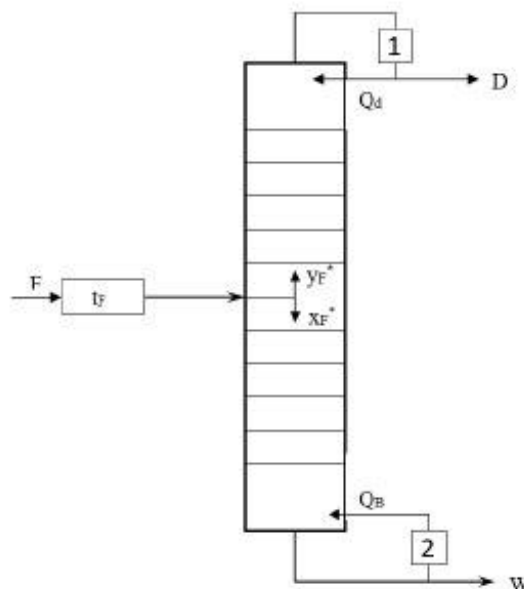


Рисунок 2.1 - Схема руху матеріальних потоків у простій ректифікаційній колоні для розділення бінарної суміші: 1 - конденсатор - дефлегматор; 2 - кип'ятильник - випарник

Звідси випливає, що мольна витрата пари, що піднімається (у кіломолях) по висоті колоні у будь-якому її перетині, є величиною сталою.

Для простої ректифікаційної колоні запишемо рівняння матеріальних балансів щодо маси взаємодіючих потоків

Матеріальний баланс для ректифікаційної колоні можна виразити в такий спосіб для всієї системи для низькокиплячого компонента (ацетону):

$$\begin{cases} F = D + W, & (2.1) \\ F \cdot x_F = D \cdot y_D + W \cdot x_W, & (2.2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_F = G_D + G_W, & (2.3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{G}_F \cdot x_F = \bar{G}_D \cdot y_D + \bar{G}_W \cdot x_W, & (2.4) \end{cases}$$

де G_F и F – продуктивність колоні відповідно в кг/год і кмоль/год,,

G_D и D – масові витрати дистилляту відповідно в кг/год і кмоль/год,

G_W и W – масові витрати залишку в кг/год і кмоль/год,

x_F и \bar{x}_F – концентрація НКК у сировину мольні й масові частки,

y_D и \bar{y}_D – концентрація НКК у дистилляті мольні й масові частки,

x_W и \bar{x}_W – концентрація НКК у залишку мольні й масові частки,

Зробимо переклад у масові частки:

$$\bar{x}_F = \frac{x_F \cdot M_{НКК}}{x_F \cdot M_{НКК} + (1 - x_F) \cdot M_{БКК}} ; \quad (2.5)$$

$$\bar{x}_F = \frac{0.24 \cdot 58,05}{0.24 \cdot 58,05 + (1 - 0.24) \cdot 78,05} = 0.19$$

$$\bar{x}_D = \frac{x_D \cdot M_{НКК}}{x_D \cdot M_{НКК} + (1 - x_D) \cdot M_{БКК}} ; \quad (2.6)$$

$$\bar{x}_D = \frac{0.93 \cdot 58,05}{0.93 \cdot 58,05 + (1 - 0.93) \cdot 78,05} = 0.91$$

$$\bar{x}_W = \frac{x_W \cdot M_{НКК}}{x_W \cdot M_{НКК} + (1 - x_W) \cdot M_{БКК}} ; \quad (2.7)$$

$$\bar{x}_W = \frac{0.03 \cdot 58,05}{0.03 \cdot 58,05 + (1 - 0.03) \cdot 78,05} = 0.02$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 19 |

де $x_F, y_D = x_D, x_W = y_W$ - мольні частки (дані в завданні).

Для перекладу одиниці виміру кг/год у кмоль/год розрахуємо середні молярні маси сировини M_F , дистилляту M_D і залишку M_W :

$$M_F = M_{\text{нкк}} \cdot x_F + M_{\text{вкк}} \cdot (1 - x_F) ; \quad (2.8)$$

$$M_F = 58,05 \cdot 0,24 + 78,05 \cdot (1 - 0,24) = 73,25 \text{ кг/кмоль},$$

$$M_D = M_{\text{нкк}} \cdot y_D + M_{\text{вкк}} \cdot (1 - y_D) ; \quad (2.9)$$

$$M_D = 58,05 \cdot 0,93 + 78,05 \cdot (1 - 0,93) = 59,42 \text{ кг/кмоль},$$

$$M_W = M_{\text{нкк}} \cdot x_W + M_{\text{вкк}} \cdot (1 - x_W) ; \quad (2.10)$$

$$M_W = 58,05 \cdot 0,03 + 78,05 \cdot (1 - 0,03) = 77,52 \text{ кг/кмоль}.$$

Розрахуємо продуктивність ректифікаційної колони в кг/год:

$$F = G_F / M_F ; \quad (2.11)$$

$$F = 2750 / 73,25 = 37,54 \text{ кмоль/год}.$$

Знайдемо масові й мольні витрати ацетону F'_A, F_A і бензола F'_B, F_B в сировині:

$$G_{FA} = G_F \cdot \bar{x}_F ; \quad (2.12)$$

$$G_{FA} = 2750 \cdot 0,19 = 522,5 \text{ кг/год},$$

$$F_A = F \cdot x_F ; \quad (2.13)$$

$$F_A = 37,54 \cdot 0,24 = 9,01 \text{ кмоль/год},$$

$$G_{FB} = G_F \cdot (1 - \bar{x}_F) ; \quad (2.14)$$

$$G_{FB} = 2750 \cdot (1 - 0,19) = 2227,5 \text{ кг/год},$$

$$F_B = F \cdot (1 - x_F) ; \quad (2.15)$$

$$F_B = 37,54 \cdot (1 - 0,24) = 28,5 \text{ кмоль/год}.$$

Складемо систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = G_D + G_W ; \\ G_F \cdot \bar{x}_F = G_D \cdot \bar{y}_D + G_W \cdot \bar{x}_W , \end{array} \right. \quad (2.16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F = G_D + G_W ; \\ G_F \cdot \bar{x}_F = G_D \cdot \bar{y}_D + G_W \cdot \bar{x}_W , \end{array} \right. \quad (2.17)$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 20 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | |

$$\begin{cases} 2,75 = G_D + G_W, \\ 2,75 \cdot 0,19 = 0,52 = G_D \cdot 0,91 + G_W \cdot 0,02. \end{cases}$$

Виразимо D через перше рівняння й підставимо в друге:

$$G_D = 2,75 - G_W,$$

$$0,52 = (2,75 - G_W) \cdot 0,91 + G_W \cdot 0,02,$$

$$0,52 = 2,5 - 0,91 \cdot G_W + G_W \cdot 0,02,$$

$$1,98 = 0,89 \cdot G_W,$$

$$G_W = 2,22 \text{ т/год},$$

$$G_D = 2,75 - 2,22 = 0,53 \text{ т/год}.$$

Зробимо переклад у мольні частки:

$$D = G_D / M_D ; \quad (2.18)$$

$$D = 530 / 59,42 = 8,92 \text{ кмоль/год},$$

$$G_{DA} = G_D \cdot \bar{y}_D ; \quad (2.19)$$

$$G_{DA} = 530 \cdot 0,91 = 482,3 \text{ кг/год},$$

$$D_A = D \cdot y_D ; \quad (2.20)$$

$$D_A = 8,92 \cdot 0,91 = 8,10 \text{ кмоль/год},$$

$$G_{DB} = G_D - G_{DA} ; \quad (2.21)$$

$$G_{DB} = 530 - 482,3 = 47,7 \text{ кг/год},$$

$$D_B = D - D_A ; \quad (2.22)$$

$$D_B = 8,92 - 8,10 = 0,82 \text{ кмоль/год},$$

$$W = G_W / M_W ; \quad (2.23)$$

$$W = 2220 / 77,52 = 28,64 \text{ кмоль/год},$$

$$G_{WA} = G_W \cdot \bar{x}_W \quad (2.24)$$

$$G_{WA} = 2220 \cdot 0,02 = 49,918 \text{ кг/год},$$

$$W_A = W \cdot x_W \quad (2.25)$$

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 21 |

$$W_A = 28,64 \cdot 0,03 = 0,76 \text{ кмоль/год,}$$

$$G_{WB} = G_W - G_{WA} \quad (2.26)$$

$$G_{WB} = 2220 - 49,918 = 2170,082 \text{ кг/год,}$$

$$W_B = W - W_A \quad (2.27)$$

$$W_B = 28,64 - 0,76 = 27,87 \text{ кмоль/год.}$$

Складемо матеріальний баланс у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Матеріальний баланс ректифікаційної колони

| Компонент | сировина (F) | | дистилят (D) | | залишок (W) | |
|------------|--------------|--------|--------------|--------|-------------|----------|
| | кмоль/год | кг/год | кмоль/год | кг/год | кмоль/год | кг/год |
| НКК ацетон | 9,01 | 522,5 | 8,10 | 482,3 | 0,76 | 49,918 |
| ВКК бензол | 28,05 | 2227,5 | 0,82 | 47,7 | 27,87 | 2170,082 |
| Всього | 37,54 | 2750 | 8,92 | 530 | 28,64 | 2220 |

2.1.1 Побудова кривої рівноваги фаз в координатах x-y

Для побудови кривих ізобар нам необхідно знати залежність між температурою t і тиском насичених парів компонента P_i . Залежність між температурою t і тиском насичених парів компонента P_i , описується емпіричним рівнянням Антуана

$$\lg P_i = A_i - B_i / (C_i + t), \quad (2.28)$$

де A_i, B_i, C_i – коефіцієнти Антуана для речовин, див. с.17;

Температура кипіння низькокиплячого компонента (ацетон) $t_{НКК} = 56,24^\circ\text{C}$, температура кипіння висококиплячого компоненту (бензол) $t_{ВКК} = 80,103^\circ\text{C}$.

Далі в межах цих температур кипіння компонентів задамося 10 температурами:

$$\Delta t = (t_{ВКК} - t_{НКК}) / 9 \quad (2.29)$$

$$\Delta t = (80,103 - 56,24) / 10 = 6,38 \text{ }^\circ\text{C,}$$

$$t_{НКК} = 56,24,$$

$t_1 = 58,63,$
 $t_2 = 61,01,$
 $t_3 = 63,4,$
 $t_4 = 65,79,$
 $t_5 = 68,17,$
 $t_6 = 70,56,$
 $t_7 = 72,94,$
 $t_8 = 75,33,$
 $t_9 = 77,72,$
 $t_{\text{ВКК}} = 80,103.$

Визначаємо тиск насичених парів компонентів $P_{\text{НКК}}$ і $P_{\text{ВКК}}$ згідно формули (2.28), при температурі $t_1 = 58,63 \text{ }^\circ\text{C}$

$$P_{\text{НКК}} = 10^{(7,2506 - 1281,7 / (237,088 + 58,63))} = 0,99762 \text{ атм,}$$

$$P_{\text{ВКК}} = 10^{(6,9121 - 1214,645 / (221,205 + 58,63))} = 0,45 \text{ атм.}$$

Для інших температур тиску насичених парів компонентів $P_{\text{НКК}}$ і $P_{\text{ВКК}}$ розраховані у програмі Excel та зведені в табл. 2.2.

Визначимо молярні частки ацетону в киплячій рідкій фазі (x) і в рівноважній паровій фазі (y):

$$x = (P - P_{\text{ВКК}}) / (P_{\text{НКК}} - P_{\text{ВКК}}), \quad (2.30)$$

$$y = P_{\text{НКК}} / P \cdot x, \quad (2.31)$$

$P = 1 \text{ атм.}$

При температурі $t_1 = 58,63 \text{ }^\circ\text{C}$

$$x = (1,0 - 0,45) / (0,99762 - 0,45) = 1,004,$$

$$y = (0,99762 / 1,0) \cdot 1,004 = 1,002.$$

Для інших температур молярні частки ацетону в киплячій рідкій фазі і в рівноважній паровій фазі розраховані в програмі Excel та зведені в табл. 2.2.

Для побудови кривої рівноваги фаз і ізобарних температурних кривих складемо таблицю 2.2 отриманих даних:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 23 |

Таблиця 2.2 - Дані для побудови кривих ізобар.

| | | $P_{\text{нкк}}$ | $P_{\text{вкк}}$ | x | y | \bar{x} | \bar{y} |
|------------------|--------|------------------|------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| $t_{\text{нкк}}$ | 56,24 | 0,99762 | 0,45 | 1,004 | 1,002 | 1,003 | 1,001 |
| t_1 | 58,63 | 1,08204 | 0,491 | 0,861 | 0,932 | 0,893 | 0,948 |
| t_2 | 61,01 | 1,17209 | 0,534 | 0,73 | 0,856 | 0,785 | 0,889 |
| t_3 | 63,4 | 1,26802 | 0,58 | 0,61 | 0,774 | 0,678 | 0,822 |
| t_4 | 65,79 | 1,3701 | 0,629 | 0,5 | 0,686 | 0,574 | 0,745 |
| t_5 | 68,17 | 1,47861 | 0,682 | 0,399 | 0,59 | 0,472 | 0,659 |
| t_6 | 70,56 | 1,59382 | 0,738 | 0,306 | 0,488 | 0,372 | 0,561 |
| t_7 | 72,94 | 1,71603 | 0,798 | 0,22 | 0,378 | 0,275 | 0,449 |
| t_8 | 75,33 | 1,84552 | 0,861 | 0,141 | 0,26 | 0,181 | 0,321 |
| t_9 | 77,72 | 1,9826 | 0,929 | 0,068 | 0,134 | 0,089 | 0,172 |
| $t_{\text{вкк}}$ | 80,103 | 2,12756 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Побудова діаграми проводиться в наступній системі координат: по осі абсцис відкладаються молярні частки НКК в рідкій фазі, а по осі ординат - молярні частки НКК в паровій фазі.

Проводиться діагональ в квадраті, отриманому при побудові системи координат, яка відповідає лінії рівноваги з коефіцієнтом відносної летючості компонентів, рівним 1.

З використанням попередніх розрахунків, на діаграмі наносяться точки, відповідні x і y. Після цього отримані точки необхідно з'єднати плавною кривою (див.рис.2.2).



Рисунок 2.2 - Крива рівноваги фаз в координатах x-y

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |
|------|------|----------|---------|------|

2.1.2 Робочі лінії процесу ректифікації

Визначення графічним методом числа теоретичних тарілок

Для виявлення зв'язку між потоками в будь-якому перетині колони ректифікації (маса, тепло і концентрації) слід подумки розрізати колону в відповідному перерізі. Відокремити одну частину колони від іншої. Замінити відокремлену частину відповідними потоками маси і тепла і потім скласти матеріальні баланси для даної частини колони.

Після побудови діаграми x - y будуються робочі лінії для верхньої і нижньої частини колони.

Запишемо рівняння робочої лінії для верхньої (зміцнювальної) частини колони:

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{y_D}{R+1}, \quad (2.32)$$

$$R_{\min} = \frac{y_D - y_F^*}{y_F^* - x_F}, \quad (2.33)$$

де y_F^* - склад пари, що перебуває в рівновазі з вихідною сумішшю (див. рис. 2.4).

$$R_{\min} = \frac{0,93 - 0,4}{0,64 - 0,4} = 3,3$$

$$R = 1,3 \cdot R_{\min} + 0,3, \quad (2.34)$$

$$R = 1,3 \cdot 3,3 + 0,3 = 4,6$$

$$R = \frac{g_d}{G_D}, \quad (2.35)$$

де R – флегмове число,

R_{\min} – мінімальний потік зрошення,

g_d – маса флегми стікаючої на верхню тарілку.

При $x = y_D, y = y_D = 0,93$, тобто робоча лінія проходить через точку В, що знаходиться на діагоналі діаграми x - y . Положення точки В залежить тільки від складу ректифікату і не залежить від величини потоку флегми.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 25 |

Тому через точку В робоча лінія проходить незалежно від того, що зміниться маса потоку флегми по висоті колони.

При $y = \bar{x}_w$ и $x = \bar{x}_w = 0,03$ робоча лінія проходить через точку С, що знаходиться на діагоналі діаграми $x - y$. Положення точки С не залежить тільки потоку парів і флегми.

Тому через точку С робоча лінія проходить незалежно від того, змінюється маса потоку парів по висоті колони.

Положення робочої лінії верхньої частини колони визначається рівнянням:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_d}{R+1} \quad (2.36)$$

Ордината точки А, в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.36) підстановкою в них замість x значення x_F :

$$y_F = \frac{R}{R+1} \cdot x_F + \frac{x_d}{R+1} \quad (2.37)$$

$$y_F = \frac{4,6}{4,6+1} \cdot 0,24 + \frac{0,93}{4,6+1} = 0,36$$

Для визначення числа теоретичних тарілок треба знати лінію рівноваги і знати закон зміни пов'язаних концентрацій і по висоті колони.

У діаграмі X - Y залежність пов'язаних концентрацій є робоча лінія процесу. Можна виявити характерні точки, які проходить робоча лінія для верхньої частини колони.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 26 |

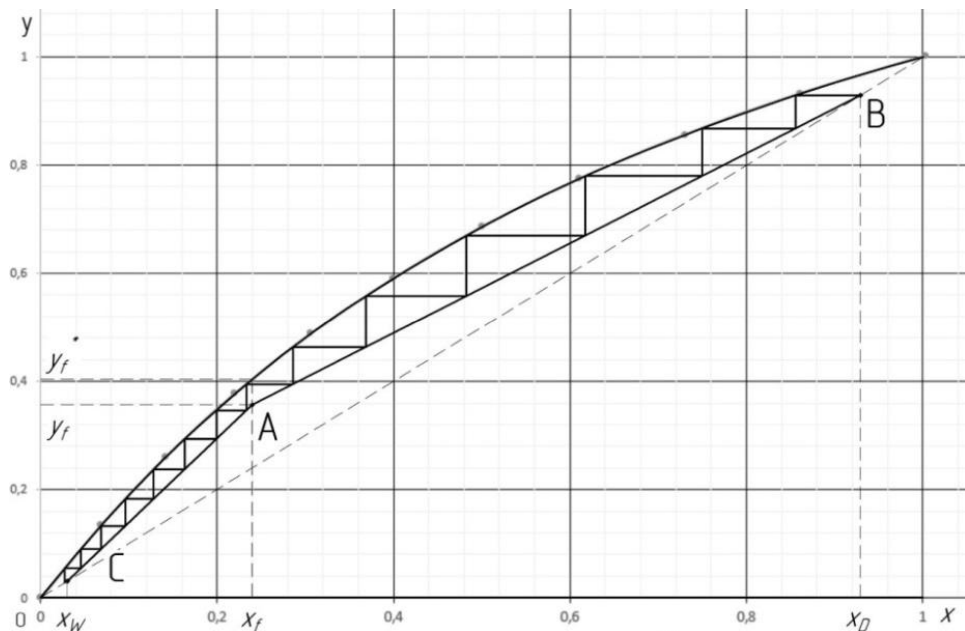


Рисунок 2.3 - Побудова рівноважної та робочих ліній на діаграмі $y - x$ і графічне визначення числа теоретичних тарілок в ректифікаційній колоні:

AB – робоча лінія верхньої частини колони; AC – робоча лінія нижньої частини колони.

По побудованому графіку (рис. 2.3) визначаємо число теоретичних тарілок в колоні:

- в концентраційній частині - 7 тарілок,
- в отгонній частині - 7 тарілок.

2.1.3 Фізико-хімічні властивості парової і рідкої фаз для верху і низу колони

Середні молярні концентрації рідини і пара:

$$x^e = \frac{x_F + x_D}{2} \quad (2.38)$$

$$x^e = \frac{0,24 + 0,93}{2} = 0,59 \text{ моль. дол.}$$

$$x^h = \frac{x_F + x_W}{2} \quad (2.39)$$

$$x^h = \frac{0,24 + 0,03}{2} = 0,13 \text{ моль. дол.}$$

За діаграмою $t - x, y$ (рис. 2.6), при середніх концентраціях рідини x^B і x^H , визначимо середні температури рідини: $t^e = 63,7^\circ\text{C}$ і $t^h = 75,6^\circ\text{C}$

$$y^e = \frac{y_D + y_F}{2} \quad (2.40)$$

$$y^h = \frac{y_F + y_W}{2} \quad (2.41)$$

де $y_D = x_D$; $y_W = x_W$; y_F – склад пари, відповідного складу вихідної суміші x_F

$$y^e = \frac{0,93 + 0,36}{2} = 0,65 \text{ моль. дол.},$$

$$y^h = \frac{0,36 + 0,03}{2} = 0,19 \text{ моль. дол.},$$

Побудуємо ізобарні температурні кривих в координатах $t - x, y$: по осі абсцис відкладаються молярний склад фаз по НКК, а по осі ординат – температури кипіння НКК і ВКК. За даними таблиці 2.2 будуємо графік кривих ізобар пара і рідини.

За діаграмою $t - x, y$ (рис. 2.4), при середніх концентраціях пара y^B і y^H визначимо середні температури пари: $t^e = 66,7^\circ\text{C}$ і $t^h = 76,6^\circ\text{C}$

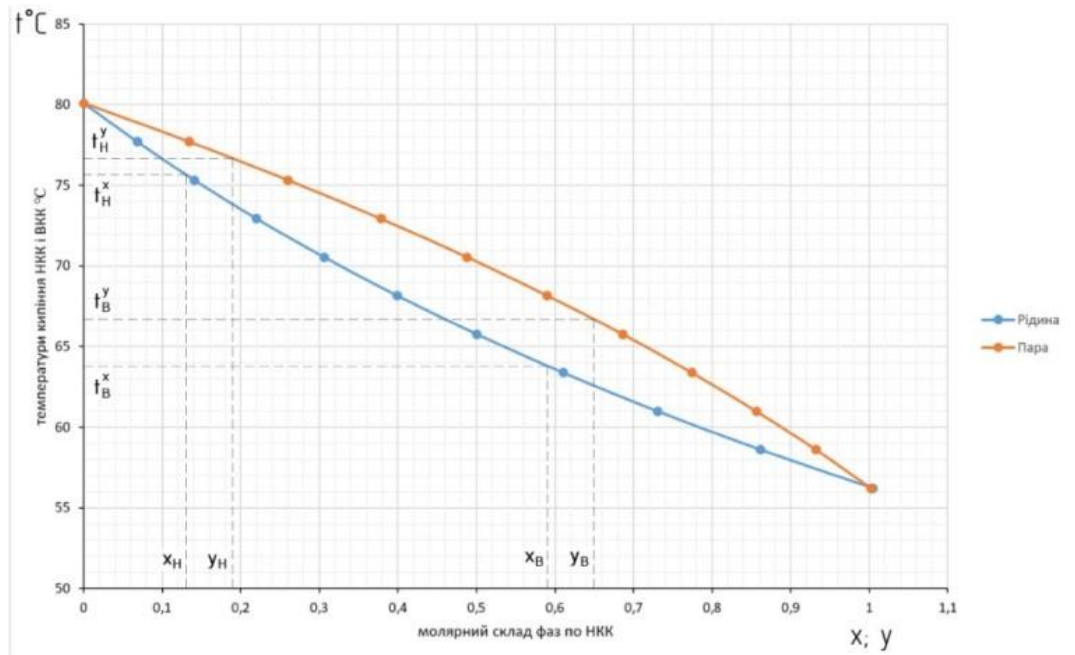


Рисунок 2.4 – Діаграма $t - x, y$

Середні молярні маси рідини і пара:

$$M_{жс}^g = x^g \cdot M_A + (1 - x^g) \cdot M_B \quad (2.42)$$

$$M_{жс}^g = 0,59 \cdot 58,05 + (1 - 0,59) \cdot 78,05 = 66,34 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{жс}^h = x^h \cdot M_A + (1 - x^h) \cdot M_B \quad (2.43)$$

$$M_{жс}^h = 0,13 \cdot 58,05 + (1 - 0,13) \cdot 78,05 = 75,39 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_n^g = y^g \cdot M_A + (1 - y^g) \cdot M_B \quad (2.44)$$

$$M_n^g = 0,65 \cdot 58,05 + (1 - 0,65) \cdot 78,05 = 65,10 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_n^h = y^h \cdot M_A + (1 - y^h) \cdot M_B \quad (2.45)$$

$$M_n^h = 0,19 \cdot 58,05 + (1 - 0,19) \cdot 78,05 = 74,15 \text{ кг/кмоль}$$

Середні щільності рідини і пари:

Перерахунок мольних концентрацій в масові:

$$\bar{x}^g = \frac{x^g \cdot M_A}{M_{жс}^g} \quad (2.46)$$

$$\bar{x}^g = \frac{0,59 \cdot 58,05}{66,34} = 0,51 \text{ масс. дол.}$$

$$\bar{x}^h = \frac{x^h \cdot M_A}{M_{жс}^h} \quad (2.47)$$

$$\bar{x}^h = \frac{0,13 \cdot 58,05}{75,39} = 0,10 \text{ масс. дол.}$$

$$\frac{1}{\rho_{жс}^g} = \frac{\bar{x}^g}{\rho_A} + \frac{(1 - \bar{x}^g)}{\rho_B} \quad (2.48)$$

де ρ_A и ρ_B – щільності рідини ацетону і бензолу відповідно при температурі

$$t^g = 63,7^\circ\text{C}, \rho_A = 737,3 \text{ кг/м}^3, \rho_B = 833,6 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{1}{\rho_{жс}^g} = \frac{0,51}{737} + \frac{(1 - 0,51)}{833,6} = 0,001280 \Rightarrow \rho_{жс}^g = 781,1 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{1}{\rho_{жс}^h} = \frac{\bar{x}^h}{\rho_A} + \frac{(1 - \bar{x}^h)}{\rho_B} \quad (2.49)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 29 |

де ρ_A и ρ_B – щільності рідини ацетону і бензолу відповідно при температурі

$$t^H = 75.6^\circ\text{C}, \rho_A = 722 \text{ кг/м}^3, \rho_B = 820,8 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{жс}}^H} = \frac{\bar{x}^H}{\rho_A} + \frac{(1-\bar{x}^H)}{\rho_B} = \frac{0,10}{722} + \frac{(1-0,10)}{820,8} = 0,001235 \Rightarrow \rho_{\text{жс}}^H = 809,4 \text{ кг/м}^3,$$

$$\rho_n^g = \frac{M_n^g \cdot T_0}{22,4 \cdot (T_0 + t^g)} \quad (2.50)$$

$$\rho_n^g = \frac{65,10 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 66,7 + 273)} = 1,29 \text{ кг/м}^3,$$

$$\rho_n^H = \frac{M_n^H \cdot T_0}{22,4 \cdot (T_0 + t^H)} \quad (2.51)$$

де T_0 – абсолютна температура, рівна 273К

$$\rho_n^H = \frac{74,15 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 76,6 + 273)} = 1,45 \text{ кг/м}^3,$$

Середні в'язкості рідини і пари:

$$\lg \mu_{\text{жс}}^g = x^g \cdot \lg \mu_A + (1-x^g) \cdot \lg \mu_B \quad (2.52)$$

де μ_A и μ_B – в'язкості рідини ацетону і бензолу відповідно при температурі

$$t^g = 63,7^\circ\text{C}, \mu_A = 0,222 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}, \mu_B = 0,73 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\lg \mu_{\text{жс}}^g = 0,59 \cdot \lg(0,222 \cdot 10^{-3}) + (1-0,59) \cdot \lg(0,73 \cdot 10^{-3}) = -3,44 \Rightarrow \mu_{\text{жс}}^g = 3,63 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\lg \mu_{\text{жс}}^H = x^H \cdot \lg \mu_A + (1-x^H) \cdot \lg \mu_B \quad (2.53)$$

де μ_A и μ_B – в'язкості рідини ацетону і бензолу відповідно при температурі

$$t^H = 75,6^\circ\text{C}, \mu_A = 0,203 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}, \mu_B = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\lg \mu_{\text{жс}}^H = 0,13 \cdot \lg(0,203 \cdot 10^{-3}) + (1-0,13) \cdot \lg(0,33 \cdot 10^{-3}) = -3,51 \Rightarrow \mu_{\text{жс}}^H = 3,09 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\frac{M_n^g}{\mu_n^g} = \frac{y^g \cdot M_A}{\mu_A} + \frac{(1-y^g) \cdot M_B}{\mu_B} \quad (2.54)$$

$$\frac{M_n^g}{\mu_n^g} = \frac{0,65 \cdot 58,05}{0,858 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1-0,65) \cdot 78,05}{0,865 \cdot 10^{-5}} = 7561880 \Rightarrow \mu_n^g = \frac{M_n^g}{7561880} = \frac{65,10}{7561880} = 0,86 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | | 30 |

де μ_A и μ_B – в'язкості пару ацетону і бензолу відповідно при температурі

$$t^e = 66,7 \text{ }^\circ\text{C}, \mu_A = 0,858 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}, \mu_B = 0,865 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\frac{M_n^H}{\mu_n^H} = \frac{y^H \cdot M_A}{\mu_A} + \frac{(1-y^H) \cdot M_B}{\mu_B} \quad (2.55)$$

$$\frac{M_n^H}{\mu_n^H} = \frac{0,19 \cdot 58,05}{0,884 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1-0,19) \cdot 78,05}{0,89 \cdot 10^{-5}} = 8340252 \Rightarrow \mu_n^H = \frac{M_n^H}{8340252} = \frac{71}{8340252} = 0,89 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

де μ_A и μ_B – в'язкості пару ацетону і бензолу відповідно при температурі

$$t^H = 76,6 \text{ }^\circ\text{C}, \mu_A = 0,884 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}, \mu_B = 0,89 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Масові і об'ємні витрати рідини і пара:

Мольна витрата рідини у верхній і нижній частині колони:

$$L_g = D \cdot R \quad (2.56)$$

$$L_g = 8,92/3600 \cdot 4,6 = 0,011 \text{ кмоль/с}$$

$$L_n = D \cdot R + F \quad (2.57)$$

$$L_n = 8,92 \cdot 4,6 + 37,54/3600 = 0,022 \text{ кмоль/с}$$

Мольна витрата пару в колоні:

$$G = D \cdot (R + 1) \quad (2.58)$$

$$G = 8,92/3600 \cdot (4,6 + 1) = 0,014 \text{ кмоль/с}$$

Середні масові витрати:

$$\bar{L}_g = L_g \cdot M_{ж}^g \quad (2.59)$$

$$\bar{L}_g = 0,011 \cdot 66,34 = 0,76 \text{ кг/с}$$

$$\bar{L}_n = L_n \cdot M_{ж}^H \quad (2.60)$$

$$\bar{L}_n = 0,022 \cdot 75,39 = 1,65 \text{ кг/с}$$

$$\bar{G}_g = G \cdot M_n^g \quad (2.61)$$

$$\bar{G}_g = G \cdot M_n^g = 0,014 \cdot 65,10 = 0,90 \text{ кг/с}$$

$$\bar{G}_H = G \cdot M_n^H \quad (2.62)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 31 |

$$\bar{G}_n = 0,014 \cdot 74,15 = 1,03 \text{ кг/с}$$

Об'ємні витрати:

$$V_{жс}^e = \bar{L}_e / \rho_{жс}^e \quad (2.63)$$

$$V_{жс}^e = 0,76/781,1 = 0,97 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V_{жс}^n = \bar{L}_n / \rho_{жс}^n \quad (2.64)$$

$$V_{жс}^n = 1,65/809,4 = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V_n^e = \bar{G}_e / \rho_n^e \quad (2.65)$$

$$V_n^e = 0,90/1,30 = 0,698 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V_n^n = \bar{G}_n / \rho_n^n \quad (2.66)$$

$$V_n^n = 1,03/1,45 = 0,71 \text{ м}^3/\text{с}$$

Таблиця 2.3 - Параметри потоків пари і рідини в колоні

| № п/п | Найменування потоків | Розмірність параметра | | | | |
|----------|--|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| | | кмоль/с | кг/кмоль | кг/м ³ | кг/с | м ³ /с |
| 1 | Рідина у верхній частині колони | L _в =0,011 | M ^в =66,34 | ρ _ж ^в =781,1 | L _в ^в =0,76 | V _ж ^в =0,97·10 ⁻³ |
| 2 | Рідина в нижній частині колони | L _н =0,022 | M ^н =75,39 | ρ _ж ^н =809,4 | L _н ^н =1,65 | V _ж ^н =0,20·10 ⁻² |
| 3 | Пар у верхній частині колони | G _в =0,014 | M ^в =65,10 | ρ _п ^в =1,30 | G _в ^в =0,90 | V _п ^в =0,698 |
| 4 | Пар в нижній частині колони | G _н =0,014 | M ^н =74,15 | ρ _п ^н =1,45 | G _н ^н =1,03 | V _п ^н =0,71 |

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |
|------|------|----------|---------|------|

ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ

Лист

32

2.2 Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки

2.2.1 Побудова ентальпійної діаграми

Ентальпія рідини і пари:

$$h = \left[(0,403 + 0,000405 \cdot t) \cdot t \cdot \frac{4,19}{\sqrt{\rho_4^{20}}} \right] \quad (2.67)$$

$$H = \left[(50,2 + 0,109 \cdot t + 0,00014 \cdot t^2) \cdot (4 - \rho_4^{20}) - 73,8 \right] \cdot 4,19 \quad (2.68)$$

Для 56,24°C:

$$h_A = \left[(0,403 + 0,000405 \cdot 56,24) \cdot 56,24 \cdot \frac{4,19}{\sqrt{0,789}} \right] = 112,9544 \text{ кДж/кг}$$

$$h_B = \left[(0,403 + 0,000405 \cdot 56,24) \cdot 56,24 \cdot \frac{4,19}{\sqrt{0,879}} \right] = 107,0157 \text{ кДж/кг}$$

$$H_A = \left[(50,2 + 0,109 \cdot 56,24 + 0,00014 \cdot 56,24^2) \cdot (4 - 0,789) - 73,8 \right] \cdot 4,19 = 454,6067 \text{ кДж/кг}$$

$$H_B = \left[(50,2 + 0,109 \cdot 56,24 + 0,00014 \cdot 56,24^2) \cdot (4 - 0,879) - 73,8 \right] \cdot 4,19 = 433,1976 \text{ кДж/кг}$$

Для інших температур розрахунок аналогічний. Результати зведемо в таблицю 2.4.

Визначаємо ентальпії рідких і парових сумішей:

$$h_{см} = h_A \cdot x + h_B \cdot (1 - x) \quad (2.69)$$

$$H_{см} = H_A \cdot y + H_B \cdot (1 - y) \quad (2.70)$$

Для 56,24°C:

$$h_{см} = 107,0157 \cdot 1,004 + 112,9544 \cdot (1 - 1,004) = 112,9803 \text{ кДж/кг}$$

$$H_{см} = 454,6067 \cdot 1,002 + 433,1976 \cdot (1 - 1,002) = 454,6466 \text{ кДж/кг}$$

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 33 |

Таблиця 2.4 – Ентальпія ацетона и бензола

| | | h_{cm} | H_{cm} | h_A | H_A | h_B | H_B |
|-----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| t_{HKK} | 56,24 | 112,9803 | 454,6486 | 112,9544 | 454,6067 | 107,0157 | 433,1976 |
| t_1 | 58,63 | 117,1538 | 457,1582 | 118,0144 | 458,6225 | 111,8096 | 437,1008 |
| t_2 | 61,01 | 121,3513 | 459,5463 | 123,0962 | 462,6597 | 116,6242 | 441,0249 |
| t_3 | 63,4 | 125,5739 | 461,8042 | 128,1997 | 466,7184 | 121,4594 | 444,9698 |
| t_4 | 65,79 | 129,8224 | 463,9229 | 133,325 | 470,7986 | 126,3152 | 448,9356 |
| t_5 | 68,17 | 134,0975 | 465,8929 | 138,472 | 474,9002 | 131,1916 | 452,9223 |
| t_6 | 70,56 | 138,3995 | 467,7047 | 143,6408 | 479,0232 | 136,0886 | 456,9298 |
| t_7 | 72,94 | 142,7289 | 469,3483 | 148,8313 | 483,1677 | 141,0063 | 460,9581 |
| t_8 | 75,33 | 147,0857 | 470,8131 | 154,0436 | 487,3337 | 145,9445 | 465,0073 |
| t_9 | 77,72 | 151,4701 | 472,0886 | 159,2777 | 491,5211 | 150,9034 | 469,0773 |
| t_{BKK} | 80,103 | 155,8829 | 473,1682 | 164,5335 | 495,73 | 155,8829 | 473,1682 |

2.2.2 Подання матеріально-теплого балансу колони на ентальпійній діаграмі

Перенесемо координати X_W и Y_D на ентальпійну діаграму і отримаємо координати h_W і H_D .

На ентальпійній діаграмі будемо точки, що проходять через (x_F^1, h) і (y_F^*, H) и x_F зеднуємо їх і в точку схреснення визначаємо ентальпію сировини.

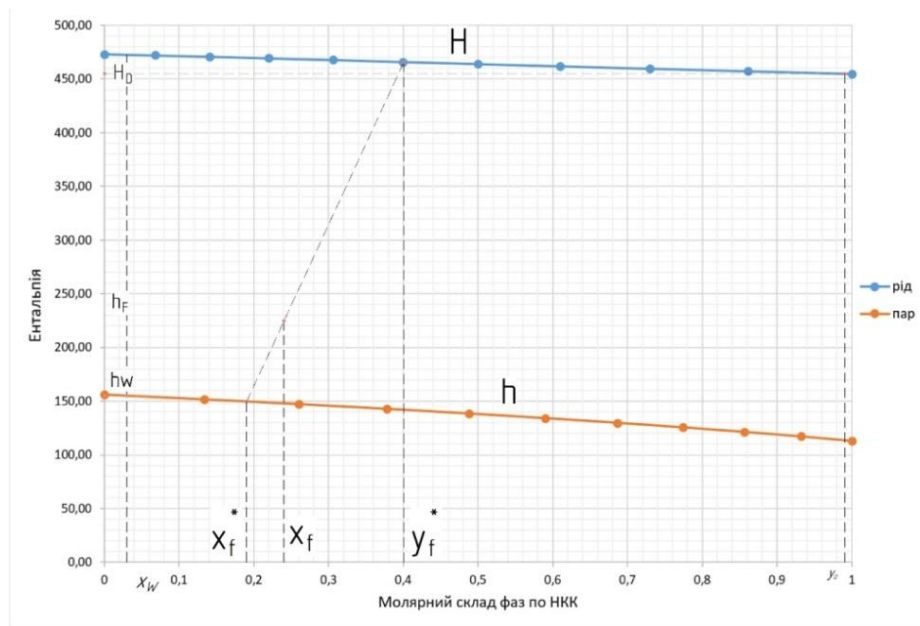


Рисунок 2.5 – Ентальпійна діаграма

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ

Лист

34

2.2.3 Тепловий розрахунок блоку графічним і чисельним методом

Складання рівняння теплового балансу, визначення теплових втрат

Рівняння теплового балансу:

$$Q_F + Q_B = Q_D + Q_W + Q_d \quad (2.71)$$

де Q_F - тепло, що приходить з сировиною

Q_B - кількість тепла, що підводиться в низ колони (в кипятильник)

Q_D - тепло, виносиме дистилятом

Q_W - кількість тепла, виносиме залишком

Q_d - кількість тепла, що відводиться в верху колони (через конденсатор)

$$Q_F = G_F \cdot h_F \quad (2.72)$$

де h_F - ентальпія сировини, визначив за ентальпійною діаграмою, $h_F=225$ кДж/кг

$$Q_F = 2750 \cdot 225 = 618\,750 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_B = G_W \cdot q_{\text{исп}} = (Q_B/W) \cdot G_W \quad (2.73)$$

де (Q_B/W) - відносна кількість тепла, що підводиться в низ колони, визначаємо за ентальпійною діаграмою $(Q_B/W) = 360$ кДж/кг

$$Q_B = 360 \cdot 2220 = 792\,000 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_D = G_D \cdot H_D \quad (2.74)$$

де H_D - ентальпія дистиляту, визначв за ентальпійною діаграмою, $H_D = 455,6$ кДж/кг

$$Q_D = 455,6 \cdot 530 = 241\,468 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_W = G_W \cdot h_W \quad (2.75)$$

де h_W - ентальпія залишку, визначв за ентальпійною діаграмою, $h_W = 155$ кДж/кг

$$Q_W = 2220 \cdot 155 = 341\,000 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_d = g'_d \cdot q_{\text{конд}} = (Q_d/D) \cdot G_D \quad (2.76)$$

$$Q_d = (Q_d/D) \cdot D = 898,6 \cdot 2220 = 801\,551 \text{ кДж/ч}$$

де (Q_d/D) - відносна кількість тепла, що підводиться в низ колони, визначаємо за ентальпійною діаграмою, $(Q_d/D) = 898,6$ кДж/кг

$$Q_d = 898,6 \cdot 2220 = 801\,551 \text{ кДж/ч}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 35 |

Рівняння теплового балансу:

$$G_F \cdot h_F + Q_B = g_d \cdot g_{\text{конд}} + W \cdot h_W + Q_D \quad (2.77)$$

Прихід тепла:

$$G_F \cdot h_F + Q_B = 618\,750 + 792\,000 = 1\,410\,750 \text{ кДж/ч}$$

Витрата тепла:

$$G_D \cdot h_D + G_W \cdot h_W + Q_d = 241\,468 + 341\,000 + 801\,551 = 1\,384\,019 \text{ кДж/ч}$$

Похибка:

$$\varepsilon = \frac{1410750 - 1384019}{1410750} \cdot 100\% = 1,89\%$$

Теплові втрати складають:

$$\text{Витрата тепла} - \text{Прихід тепла} = 1\,410\,750 - 1\,384\,019 = 26\,730 \text{ кДж/ч}$$

2.3 Конструктивний розрахунок

2.3.1 Визначення діаметру колони

Приймаємо відстань між тарілками 0,5 м [1]. За графіком рисунка 2.6 визначаємо значення коефіцієнта С - величина залежить від навантаження тарілки, відстані між тарілками і поверхневого натягу рідини.

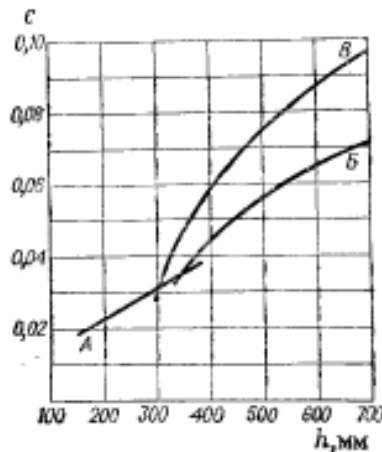


Рисунок 2.6 – Значення коефіцієнта С[5]: А, Б – ковпачкові тарілки,

Значення коефіцієнта С:

- Ковпачкові тарілки $C_K = 0,055$.

Визначаємо граничну швидкість пари в тарілчастій колоні визначаємо:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 36 |

для верхньої частини колони:

$$w_{zp}^g = C \sqrt{(\rho_{жс}^g - \rho_n^g) / \rho_n^g} \quad (2.78)$$

$$w_{zp}^g = 0,055 \cdot \sqrt{(781,1 - 1,3) / 1,3} = 1,35 \text{ м/с}$$

для нижньої частини колони:

$$w_{zp}^h = C \sqrt{(\rho_{жс}^h - \rho_n^h) / \rho_n^h} \quad (2.79)$$

$$w_{zp}^h = 0,055 \cdot \sqrt{(809,4 - 1,45) / 1,45} = 1,30 \text{ м/с}$$

Визначаємо діаметр колони:

для верхньої частини колони:

$$D_g = \sqrt{4V_n^g / \pi w_{оц}^g} \quad (2.80)$$

$$D_g = \sqrt{4 \cdot 0,698 / 3,14 \cdot 1,35} = 0,81 \text{ м}$$

для нижньої частини колони:

$$D_n = \sqrt{4V_n^h / \pi w_{оц}^h} \quad (2.81)$$

$$D_n = \sqrt{4 \cdot 0,71 / 3,14 \cdot 1,3} = 0,83 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр колони $D_K = 1000 \text{ мм}$

2.3.2 Визначення ККД ковпачкових тарілок для вибраного діаметру колони.

Швидкість пару при заданих діаметрах:

$$w_K^g = \frac{V_n^g}{0,785 \cdot D_K^2} \quad (2.82)$$

$$w_K^g = \frac{0,698}{0,785 \cdot 1^2} = 0,896 \text{ м/с}$$

$$w_K^h = \frac{V_n^h}{0,785 \cdot D_K^2} \quad (2.83)$$

$$w_K^h = \frac{0,71}{0,785 \cdot 1^2} = 0,90 \text{ м/с}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 37 |

По графіку на рисунку 2.7 визначаємо ККД тарілок

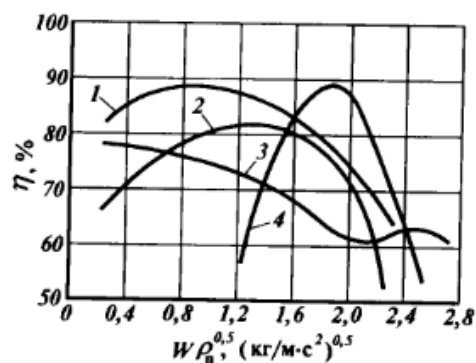


Рисунок 2.7 – Залежність ефективності тарілок різних конструкцій від швидкості пара в повному перерізі колони: 1 - клапанна тарілка; 2 - ковпачкова тарілка; 3 - сітчаста тарілка; 4 - провальна ґратчаста тарілка.

Приймаємо ККД ковпачкової тарілки 0,8

Основні параметри ковпачкової розбірної тарілки [1, с.258]:

- діаметр – 1000 мм;
- загальна довжина зливу – 682 мм;
- робоча площа тарілки – 57,9%;
- вільний перетин тарілки – 11,3%;
- число ковпачків – 43;
- діаметр ковпачка – 80 мм;
- крок ковпачків – 110 мм;
- вага тарілки – 90 кг.

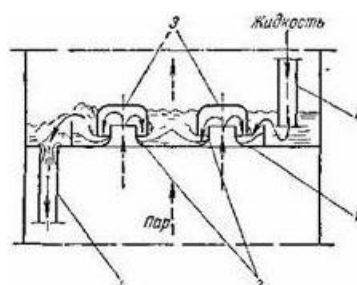


Рисунок 2.8 – Схема роботи ковпачкової тарілки

1 - тарілка; 2 - газові патрубки; 3 - ковпачки; 4 - зливні трубки

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 38 |

2.3.3 Визначення дійсного числа тарілок і висоти колони

Для секцій колони число реальних тарілок визначається за такою формулою:

$$N_p = \frac{N_T}{КПД_T} \quad (2.84)$$

Для концентраційної частини:

$$N_{p.конц.} = 7/0.8 \approx 9 \text{ тарілок.}$$

Для відгінної секції:

$$N_{p.отг.} = 7/0.8 \approx 9 \text{ тарілок.}$$

Сумарне число реальних тарілок:

$$N_{p.сумм.} = N_{p.конц.} + N_{p.отг.} = 9 + 9 = 18 \text{ тарілок.}$$

Висота колони розраховується за формулою:

$$H = H_B + H_Y + H_X + H_{3П} + H_K \quad (2.85)$$

де H_B - висота зони над верхньою тарілкою, необхідна для монтажу штуцера розподільника рідини і сепарації потоків, $H_B = 1\text{ м}$,

H_Y - висота відгонної частини колони, $H_Y = N_{отг.} \cdot h = 9 \cdot 0,5 = 4,5 \text{ м}$,

$N_{отг.}$ - число дійсних тарілок в отгонній частини колони, $N_{отг.} = 9$,

$h = 0,5\text{ м}$ - відстань між тарілками,

H_X - висота концентраційної частини колони, $H_X = (N_{конц.} - 1) \cdot h = 8 \cdot 0,5 = 4$

$N_{конц.}$ - число дійсних тарілок в концентраційної частини колони, $N_{конц.} = 9$,

$H_{3П}$ - висота зони сепарації сировинного парожіdkостного потоку, а також для монтажу відбійників, $H_{3П} = 1 \text{ м}$,

H_K - висота зони під нижньою тарілкою, необхідна для створення стовпа рідини, що забезпечує самоплив, $H_K = 1,5 \text{ м}$.

$H_{оп}$ - висота опори, $H_{оп} = 2\text{ м}$

$$H = 1 + 4,5 + 4 + 1 + 1,5 + 2 = 14 \text{ м}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 39 |

2.3.4 Розрахунок діаметра штуцерів

Діаметри штуцерів визначаються в залежності від об'ємної витрати допустимої лінійної швидкості потоку. Допустима лінійна швидкість в штуцерах залежить від агрегатного стану потоку, фактичного напору, допустимої втрати напору. Схема розташування штуцерів представлена на рисунку 2.9.

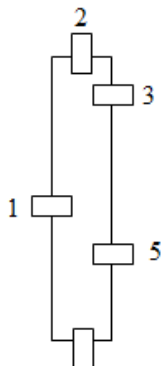


Рисунок 2.9 - Схема розташування штуцерів:

1 - штуцер для введення сировини; 2 - штуцер для виведення парів з верху колони; 3 - штуцер для введення холодного зрошення; 4 - штуцер для виведення рідини з колони; 5 - штуцер для введення пари з кип'ятильника.

Штуцер 1 - для введення сировини

Так як, в колону надходить рідка суміш ацетон-бензолу, необхідно визначити секундну витрату рідини.

Визначимо густину рідкої фази при $t_F = 20^\circ\text{C}$:

$$\rho_{20} = \frac{1}{\frac{\bar{x}_F}{\rho_{\text{нкк}}} + \frac{1-\bar{x}_F}{\rho_{\text{вкк}}}} \quad (2.86)$$

$$\rho_{20} = \frac{1}{\frac{0,19}{0,789} + \frac{1-0,19}{0,879}} = 843 \text{ кг/м}^3$$

Розрахуємо секундний об'єм рідини:

$$V_{\text{жс}} = \frac{F}{\rho_t \cdot 3600} \quad (2.87)$$

$$V_{\text{жс}} = \frac{2750}{843 \cdot 3600} = 0,0009 \text{ м}^3/\text{с}$$

Допустима швидкість пари приймається за [10,с.16] 1 м/с, $W_D = 1 \text{ м/с}$, і розраховується переріз по рідині:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | 40 |

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{жс}}{\pi \cdot W_D}} \quad (2.88)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0009}{3,14 \cdot 1}} = 0,03 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера для входу сировини $d_1 = 0,1$ м.

Штуцер 2 – для виводу пари дистилляту

Діаметр штуцера 2 для виводу з колони пари:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_n^g}{\pi \cdot W_D}} \quad (2.89)$$

де W_D - допустима швидкість парів, $W_D = 30$ м/с

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,698}{3,14 \cdot 30}} = 0,17 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера для виведення з колони пари $d_2 = 0,2$ м

Штуцер 3 - Для введення холодного зрошення

Допустима швидкість рідини $W_D = 0,4$ м/с

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{жс}}{\pi \cdot W_D}} \quad (2.90)$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00097}{3,14 \cdot 0,4}} = 0,06 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера для введення холодного зрошення $d_3 = 0,1$ м.

Штуцер 4 – для виводу залишку

Допустима швидкість рідини приймається $W_D = 0,4$ м/с

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{жс}^H}{\pi \cdot W_D}} \quad (2.91)$$

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,002}{3,14 \cdot 0,4}} = 0,08 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера для виведення залишку $d_4 = 0,1$ м.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 41 |

Штуцер 5 - для введення пари з кип'ятильника

Допустима швидкість пари приймається $W_D = 10$ м/с

$$D_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_n^H}{\pi \cdot W_D}} \quad (2.92)$$

$$D_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,55}{3,14 \cdot 10}} = 0,29 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера для введення пари з кип'ятильника $d_5 = 0,3$ м.

2.3.5 Розрахунок вагових характеристик і вибір опори

Загальна вага апарату оцінимо шляхом розрахунку ваги його частин:

$$Q_{об} = Q_K + Q_{вод} + Q_{тар} + 0,1 \cdot (Q_K + Q_{тар}) \quad (2.93)$$

де Q_K - вага корпусу;

$Q_{вод}$ - вага рідини в колоні;

$Q_{тар}$ - вага тарілок.

$$Q_K = Q_{ц} + Q_{д} \quad (2.94)$$

де $Q_{ц}$ - вага циліндричної частини корпусу;

$Q_{д}$ - вага днища і кришки.

$$Q_{ц} = \pi(D + s) \cdot s \cdot H_{ц} \cdot \rho_m \cdot g \quad (2.95)$$

$$Q_{ц} = 3,14 \cdot (1,0 + 0,006) \cdot 0,006 \cdot 12 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 1669,5 \text{ Н}$$

де $H_{ц}$ - висота циліндричної частини корпусу;

ρ_m - щільність сталі, 7850 кг/м^3 .

$$Q_{д} = 2 \cdot m_{дн} \cdot g \quad (2.96)$$

де $m_{дн}$ - маса днища за ГОСТ 6533-78, $m_{дн} = 55,5$ кг

$$Q_{д} = 2 \cdot 55,5 \cdot 9,81 = 1079,1 \text{ Н}$$

$$Q_K = 1669,5 + 1079,1 = 2748,5$$

$$Q_{вод} = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_{ж} + V_{д} \right) \cdot \rho_{ж} \cdot g \quad (2.97)$$

де $V_{д}$ - об'єм днища за ГОСТ 6533-78, $V_{д} = 0,15 \text{ м}^3$

$H_{ж}$ - висота рідини в апараті

$\rho_{ж}$ - щільність води, 715 кг/м^3 .

$$H_{ж} = n \cdot h_{пор} + 1,3(\text{переливний порог}) \quad (2.98)$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 42 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | |

де $h_{пор}$ - висота зливного порогу ковпачкової тарілки $h_{пор} = 50$ мм.

$$H_{ж} = 18 \cdot 0,05 + 1,3 = 2,2 \text{ м}$$

$$Q_{вод} = \left(\frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 2,2 + 0,15 \right) \cdot 715 \cdot 9,81 = 12064,3 \text{ Н}$$

$$Q_{тар} = m_{тар} \cdot n \cdot g \quad (2.99)$$

$$Q_{тар} = 90 \cdot 14 \cdot 9,81 = 12360,6 \text{ Н}$$

$$Q_{обц} = 2748,6 + 12064,3 + 12360,6 + 0,1 \cdot (2748,6 + 12360,6) = 28684,4 \text{ Н}$$

Товщина стінки циліндричної опори

$$s_{ц.о.} = \frac{2,24 \cdot Q_{обц}}{\sigma_g \cdot (\pi D - d_{лаза})} \quad (2.100)$$

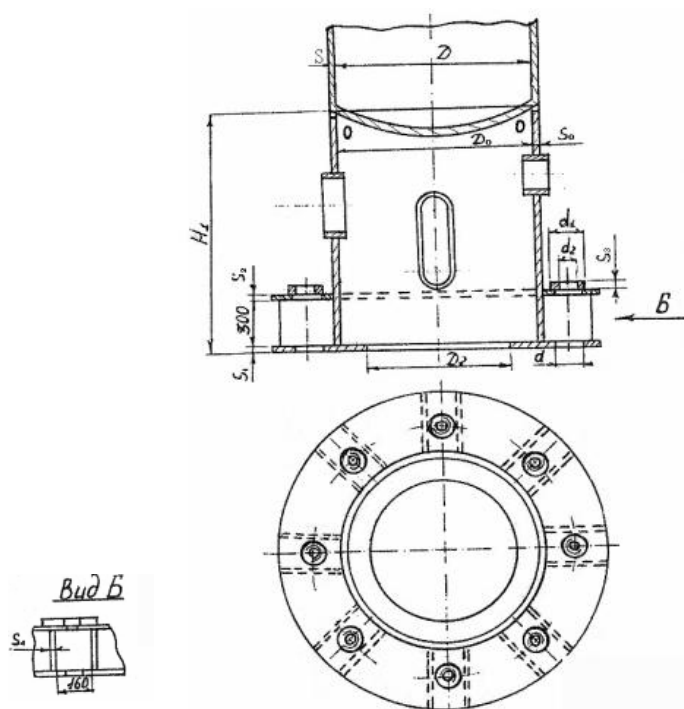
де σ_g - допустиме напруження стиснення стали, 100 МПа

$d_{лаза}$ - діаметр люка Лаза, приймаємо $d_{лаза} = 0,5$ м

$$s_{ц.о.} = \frac{2,24 \cdot 28684,4}{100 \cdot 10^6 \cdot (3,14 \cdot 1 - 0,5)} = 0,00024 \text{ м}$$

Приймаємо товщину циліндричної опори 6 мм.

Вибираємо стандартну конструкцію циліндричної опори за ОСТ 26-467-78 (див. рис. 2.10)



Основні розміри опори:

$$D = 1000 \text{ мм}$$

$$S_0 = 8$$

$$S_1 = 20$$

$$S_2 = 20$$

$$d_2 = 35$$

$$d_6 - \text{М30}$$

Кількість болтів – 6 шт.

Рисунок 2.10 - Конструкція стандартної циліндричної опори

типу 3 – з кільцевим опорним поясом за ОСТ26-467-78

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 43 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | | |

2.4 Гідравлічний розрахунок

Розрахувавши величину комплексу

$$\frac{G_p}{G_n} \cdot \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_p}} \quad (2.101)$$

де G_p - масові витрати рідини, $G_p = \bar{L}_H = 1,65$ кг/с;

G_n - масові витрати пари, $G_n = \bar{G}_H = 1,03$ кг/с;

ρ_n - густина пари, $\rho_n = \rho_n^H = 1,45$ кг/м³

ρ_p - густина рідини, $\rho_p = \rho_{ж}^H = 809,4$ кг/м³

$$\frac{1,65}{1,03} \cdot \sqrt{\frac{1,45}{809,4}} = 0,068$$

за [11, рис. 8.2] знайдемо значення коефіцієнта $C = 0,07$.

Швидкість пари у робочому перерізі колони відповідно за [11, (8.3)] буде

$$w_p = \varphi \cdot c \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}} \quad (2.102)$$

де φ - коефіцієнт спінуваності [11, табл 8.5] , приймаємо $\varphi = 0,8$

$$w_p = 0,8 \cdot 0,07 \sqrt{\frac{809,4 - 1,45}{1,45}} = 1,32 \text{ м/с.}$$

За даними [11, табл.8.6] раніше вибраної тарілки типу ТСК-Р для колони діаметром $D = 1000$ мм. Ця тарілка має такі параметри: периметр зливу $\Pi = 0,682$ м; площа зливу $F_{зл} = 0,064$ м²; довжину шляху рідини по тарілці $l_p = 0,722$ м; зазор під зливним стаканом $a = 0,06$ м; кількість ковпачків $m = 43$; діаметр ковпачка $d_k = 80$ мм.

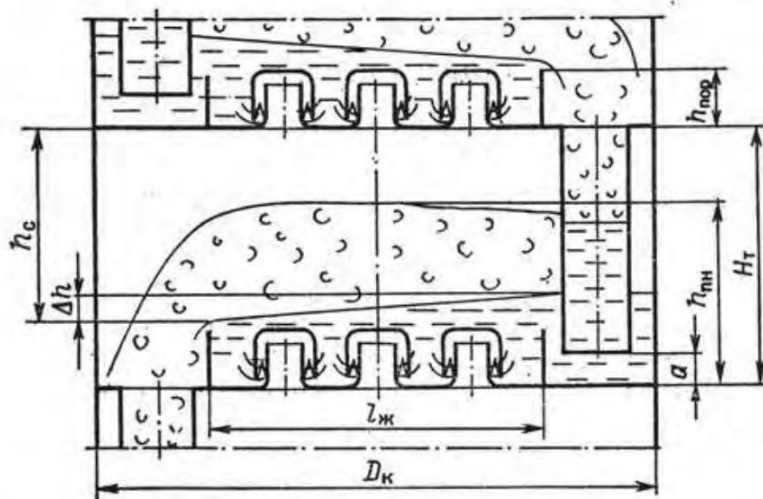


Рисунок 2.11 – Основні параметри ковпачкової тарілки

У задачу подальших гідравлічних розрахунків основних параметрів тарілки входе знаходження висоти зливного порогу $h_{пор}$, підпору рідини над зливним порогом $h_{зл}$, висоти прорізів ковпачка $h_{пр}$ та опір тарілки Δp .

Величину $h_{зл}$ розрахуємо попередньо за [11, (8.6)] без урахування винесення рідини, тоді

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | | 44 |

$$h_{зл} = 0,68(V_p/\Pi)^{0,67} \quad (2.103)$$

де V_p - об'ємні витрати рідини, $V_p = V_{ж}^H = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$;

$$h_{зл} = 0,68(0,002/0,682)^{0,67} = 0,014 \text{ м},$$

Для знаходження висоти зливного порогу розрахуємо за [11, (8.11)] висоту прорізів у ковпачках.

Візьмемо ковпачок з прямокутними прорізами шириною $b = 4 \text{ мм}$. Кількість прорізів в одному ковпачку $z_{кп} = 20$. Загальна кількість ковпачків на тарілці $m = 43$ [11, табл.8.6].

При цих даних [11, (8.11)] маємо

$$h_{пр} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_{п}}{m \cdot z \cdot b}\right)^2 \frac{\rho_{п}}{\rho_{р} - \rho_{п}}} \quad (2.104)$$

де $V_{п}$ - об'ємні витрати пари, $V_{п} = V_{п}^H = 0,71 \text{ м}^3/\text{с}$

$$h_{пр} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,71}{20 \cdot 43 \cdot 0,004}\right)^2 \frac{1,45}{809,4 - 1,45}} = 0,0195 \text{ м}.$$

Візьмемо [1, табл.8.4] висоту прорізу $h_{пр} = 20 \text{ мм}$.

У цьому випадку пара буде проходити через повністю відкриті прорізи і частково через нижню крайку ковпачка. Для забезпечення цього візьмемо висоту пристрою ковпачка $h_y = 10 \text{ мм}$.

Глибина барботажу при абсолютному тиску (атмосферному) $p = 98100 \text{ Па}$ відповідно до [11, (8.9)] буде

$$h_{г.б} = \frac{0,7}{\rho_p} p^{0,35} \quad (2.105)$$

$$h_{г.б} = \frac{0,7}{800} 98100^{0,35} = 0,05 \text{ м}.$$

Знайдемо [11, (8.8)] висоту зливного порогу:

$$h_{пор} = h_{г.б} - h_{зл} + h_{пр} + h_y \quad (2.106)$$

$$h_{пор} = 0,05 - 0,014 + 0,02 + 0,01 = 0,064 \text{ м}.$$

Для подальших розрахунків нам знадобляться коефіцієнти $k_1; k_2; k_3; k_4; n_1$, які ми приймаємо за [11, табл.8.3] $23 \cdot 10^{-5}; 0,23; 440; 4,6; 1,16$. відповідно

Висота піни, що утвориться на тарілці, відповідно до [11, (8.5)] складе

$$h_{пн} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} (k_3 \cdot w_p^2 \cdot \rho_{п} + k_4 \cdot h_{зл} + h_{пор}) \quad (2.107)$$

де σ - поверхневий натяг, $\sigma = 0,032 \text{ Дж/м}^2$

$$h_{пн} = \frac{0,23}{0,032^{0,33}} (0,044 \cdot 1,32^2 \cdot 1,45 + 4,6 \cdot 0,014 + 0,064) = 0,17 \text{ м};$$

величина відносного винесення рідини відповідно до [11, (8.4)] буде

$$y = \frac{k_1}{\sigma} \left(\frac{w_p}{H_T - h_{пн}} \right)^{1,16} \quad (2.108)$$

$$y = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{0,032} \left(\frac{1,32}{0,5 - 0,17} \right)^{1,16} = 0,034 < 0,1.$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | | 45 |

Отже, відстань між тарілками вибрана правильно.

Дійсне навантаження зливного пристрою за рідиною розраховуємо [11, (8.7)]:

$$V_{p.д} = V_p + \frac{G_n \cdot Y}{\rho_p} \quad (2.109)$$

$$V_{p.д} = 0,002 + \frac{1,03 \cdot 0,034}{809,4} = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Дійсна висота підпору рідини над зливним порогом

$$h_{зл} = 0,68 \left(\frac{0,002}{0,064} \right)^{2/3} = 0,014 \text{ м}$$

не відрізняється від раніше розрахованої $h_{зл} = 0,014 \text{ м}$.

Перевіримо працездатність зливного пристрою тарілки за [11, (8.12), (8.13)]. Для цього розраховуємо [11, (8.12)] швидкість рідини у зливному пристрої:

$$w_{p.зл} = V_{p.д} / F_{зл} \quad (2.110)$$

$$w_{p.зл} = 0,002 / (0,064) = 0,03 \text{ м/с},$$

де $F_{зл} = 0,064$ – площа зливного пристрою [11, табл. 8.6].

Відповідно до залежності [11, (8.12)] комплекс $k_5 H_T^{n_2} = 0,250 \cdot 0,5^{0,65} = 0,16$.

де k_5 ; n_2 – коефіцієнти які ми вибираємо за [11, табл. 8.5], що дорівнюють 0,250; 0,65 відповідно.

Отже, вимоги [11, (8.12)] $w_{p.зл} < k_5 H_T^{n_2}$ дотримуються і захливання зливного пристрою не відбудеться.

Швидкість рідини у зазорі між основою тарілки та нижньою крайкою зливного стакана розраховуємо за [11, (8.13)]:

$$w_{p.з} = V_{p.д} / (\Pi \cdot a) \quad (2.111)$$

$$w_{p.з} = 0,002 / (0,682 \cdot 0,06) = 0,05 \text{ м/с} < 0,45 \text{ м/с}.$$

З наведених розрахунків випливає, що вибрана тарілка забезпечує нормальну роботу зливних пристроїв.

Опір сухої тарілки визначаємо за [11, (8.16)]:

$$\Delta p_{сух} = \zeta \frac{\rho_n \cdot w_o^2}{2} \quad (2.112)$$

де швидкість пари у парових патрубках дорівнює

$$w_o = \frac{V_{п}}{F_o} \quad (2.113)$$

де F_o - площа проходу пари, за [11, табл. 8.6] $F_o = 0,090 \text{ м}^2$

$$w_o = \frac{0,71}{0,90} = 7,9 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт опору для ковпачка діаметром $D_{кл} = 80 \text{ мм}$ буде

$$\zeta = 1,73 D_{кл}^{-0,25} \quad (2.114)$$

$$\zeta = 1,73 \cdot 0,08^{-0,25} = 3,25;$$

$$\Delta p_{сух} = 3,25 \frac{1,45 \cdot 7,9^2}{2} = 147 \text{ Па},$$

Коефіцієнт перепаду рівня рідини на тарілці відповідно до [11, (8.17)]:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 46 |

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_e \frac{l_p \cdot V_p^2}{\Pi^2 (h_{пор} + h_{зл})^3 \cdot g} \quad (2.115)$$

де $\lambda_e = 16$

$$\Delta h = \frac{0,1 \cdot 16 \cdot 0,722 \cdot 0,002^2}{0,682^2 \cdot (0,064 + 0,014)^3 \cdot 9,81} = 0,002 \text{ м}$$

Опір шару рідини на тарілці розраховуємо за [11, (8.16)]:

$$\Delta p_p = \left(h_{пор} + \frac{h_{зл} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_p \cdot g \quad (2.116)$$

$$\Delta p_p = \left(0,064 + \frac{0,014 + 0,002}{2} \right) \cdot 809,4 \cdot 9,81 = 630 \text{ Па}$$

Загальний опір тарілки дорівнює :

$$\Delta p_T = \Delta p_{сух} + \Delta p_p \quad (2.117)$$

$$\Delta p = 147 + 692 = 776 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір робочої частини колони:

$$\Delta p_K = \Delta p_T \cdot n \quad (2.118)$$

$$\Delta p_K = 776 \cdot 18 = 13970 \text{ Па}$$

2.5 Вибір допоміжного обладнання

2.5.1 Розрахунок кип'ятильника [5]

Поверхня кип'ятильника визначається за формулою:

$$F_K = Q_B / (K \cdot \Delta t_{cp}) \quad (2.119)$$

де Q_B – кількість тепла, що вноситься гарячим струменем,

$$Q_B = 792\,000 \text{ кДж/ч} = 220\,000 \text{ Вт};$$

K - коефіцієнт теплопередачі, прийнятий за [2], $K = 500 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}$;

Тиск насиченої водяної пари дорівнює 0,4 МПа, температура пара при цьому тиску 140 °С

Так як насичена водяна пара конденсується при постійній температурі $t_{ВП}$, що відповідає її тиску, то середня різниця температур визначається так:

$$\Delta t_{cp} = t_{ВП} - t_w = 140 - 75,6 = 64,4 \text{ °С} - \text{середня різниця температур,}$$

де t_w – температура залишку, що входить в кип'ятильник і виходить з кип'ятильника.

$$F_K = 220\,000 / (500 \cdot 64,4) = 6,9 \text{ м}^2$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 47 |

Витрата водяної пари:

$$G_{ВП} = Q_B / r \quad (2.120)$$

$$G_{ВП} = 792\,000 / 2141 = 370 \text{ кг/ч},$$

де r – теплота конденсації водяного пара, кДж/кг.

Приймаємо по ГОСТ 15121-79 [6] теплообмінник типу ТН з площею поверхні теплообміну $F = 7,5 \text{ м}^2$, 1-о ходовий, діаметром $D = 273 \text{ мм}$ і довжиною труб $l = 2 \text{ м}$.

2.5.2 Розрахунок дефлегматора [5]

Для розрахунку поверхні конденсатора-холодильника обчислюється середній температурний напір між теплообмін. середовищами - дистиллятом і водою.

Беручи температуру води на вході в конденсатор 15°C , а на виході із конденсата – 35°C при температурі верха $76,6^\circ\text{C}$ (при протivotочному русі середовищ), отримуємо різниці температур і обчислюємо середній температурний напір:

$$\Delta t_1 = 76,6 - 35 = 41,6^\circ\text{C}; \quad \Delta t_2 = 35 - 15 = 20^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} \quad (2.121)$$

$$\Delta t_{CP} = \frac{41,6 + 20}{2} = 30,8^\circ\text{C}$$

Поверхня конденсатора-холодильника визначаємо за формулою:

$$F_{КХ} = Q_d / K \cdot \Delta t_{CP}, \quad (2.122)$$

де Q_d – теплове навантаження на конденсатор-холодильник ,

$$Q_d = 801\,551 \text{ кДж/ч} = 222\,653 \text{ Вт};$$

$$K = 300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К} - \text{коефіцієнт теплопередачі [2], } K = 300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К};$$

$$F_{КХ} = 222\,653 / (300 \cdot 30,8) = 24 \text{ м}^2;$$

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 48 |

Приймаємо по ГОСТ 15121-79 [6] теплообмінник типу ТН з площею поверхні теплообміну $F = 26 \text{ м}^2$, 1-о ходовий, діаметром $D=400 \text{ мм}$ і довжиною труб $l=3 \text{ м}$.

Розрахунок витрати води на охолодження дистилляту:

$$G_B = \frac{Q_d}{C_B \cdot (t_H - t_K)} \quad (2.123)$$

де C_B – теплоємність води, $C_B=4.19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$

$$G_B = Q_d / 4,19 \cdot (35 - 15) = 801\,551 / 4,19 \cdot (35 - 15) = 9\,565 \text{ кг/ч.}$$

2.5.3 Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [5].

Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,85$.

Розрахунковий об'єм ємності розраховують за формулою:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho} \quad (2.124)$$

$$V_{EP} = \frac{2750 \cdot 8}{0,85 \cdot 843} = 30 \text{ м}^3$$

За розрахунковим об'ємом вибираю ємкісний горизонтальний цільнозварний апарат з еліптичними днищами ГЕЕ1-1-40-0,6 (номінальний об'єм 40 м^3) виготовлений за ТУ 3615-001-25491312-2006.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 49 |

3 Розрахунки на міцність апарату

3.1 Розрахунок товщини стіни корпусу і кришки апарату

Розрахунок допустимих напружень

Допустимі напруження для матеріалу корпусу сталь 09Г2С:

$[\sigma]$ – напруження, що допускається, для сталі 09Г2С, з якої виготовлена обичайка при $t = 77^\circ\text{C}$; $[\sigma] = 182$ МПа

$[\sigma]_{20}$ – напруження, що допускається, для сталі 09Г2С, з якої виготовлена обичайка при $t = 20^\circ\text{C}$; $[\sigma]_{20} = 196$ МПа

Розрахункове значення межі текучості для при $t = 20^\circ\text{C}$ сталі 09Г2С:

$\sigma_{T20} = 300$ МПа

Допустиме напруження в умовах гідравлічних випробувань розрховується за формулою:

$$[\sigma]_{\text{н}} = \sigma_{T20} / 1,1 \quad (3.1)$$

$[\sigma]_{\text{н}} = 300 / 1,1 = 273$ МПа

Розрахунковий та пробний тиск корпусу

Розрахунковий тиск в апараті за робочих умов,

$$P_p = p + p_r \quad (3.2)$$

де p - робочий тиск в апараті, $p = 1 \text{ атм} = 0,1$ МПа;

p_r – гідростатичний тиск робочого середовища

Максимальне значення гідростатичного тиску робочого середовища :

$$p_r = \rho \cdot g \cdot h \quad (3.3)$$

де ρ - щільність води при температурі $t = 20^\circ\text{C}$ (гідровипробування проводять водою); $\rho = 998$ кг/м³

g - прискорення вільного падіння;

h – висота колони, без урахування опори $h = 14$ м

$p_r = 998 \cdot 9,8 \cdot 14 = 0,1$ МПа $> 5\%p$

Оскільки гідростатичний тиск більше 5% від тиску у середині апарату ($p = 1 \text{ атм}$), то розрахунковий тиск розраховується за формулою:

$P_p = 0,1 + 0,1 = 0,2$ МПа

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні корпусу:

$$P_{\text{пр}}^{\text{к}} = \begin{cases} 1,5 \cdot [\sigma]_{20} \cdot P_p / [\sigma] \\ 0,2 \end{cases} \quad (3.4)$$

$P_{\text{пр}}^{\text{к}} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 196 \cdot 0,2}{182}, 0,2 \right\} = \left\{ \frac{0,31}{0,2} \right\} = 0,31$ МПа

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 50 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

Розрахунок товщини стінки обичайки

Викновчу товщину стінки апарату, навантаженої внутрішнім тиском розраховують за формулою:

$$S_p^k = \max \left\{ \begin{array}{l} P_p \cdot D_p / 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_p \\ P_{np}^k \cdot D_p / 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{и} - P_p \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

де φ - коефіцієнт міцності кільцевого зварного шва, $\varphi = 0,9$

$$S_p^k = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot 1000 / 2 \cdot 0,9 \cdot 182 - 0,2 \\ 0,31 \cdot 1000 / 2 \cdot 0,9 \cdot 273 - 0,2 \end{array} \right\} = \begin{array}{l} 0,61 \\ 0,65 \end{array} = 0,65 \text{ мм}$$

Визначаємо виконавчу товщину стінки корпусу:

$$S \geq S_p^k + c \quad (3.6)$$

де C – прибавка до розрахунковим товщинам; $C = \Pi T_a + c_2 = 0,1 \cdot 20 + 0,8 = 2,8 \text{ мм}$;

c_2 - надбавка для компенсації мінусового допуску;

$\Pi = 0,1 \text{ мм/рік}$ – швидкість корозії;

$T_a = 20 \text{ років}$ – срок служби апарату;

$$s \geq 0,65 + 2,8 \geq 3,45 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки з урахуванням забезпечення жорсткості $s = 6,0 \text{ мм}$.

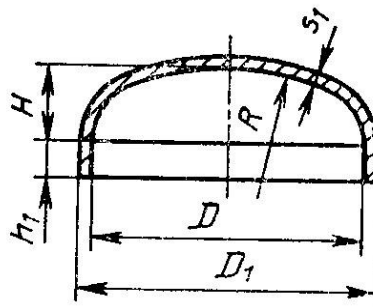
Перевіряємо умову безмоментної теорії:

$$(S - c) / D_p \leq 0,1 \quad (3.7)$$

$$(6 - 2,8) / 1000 \leq 0,1$$

$0,003 \leq 0,1$ - умова виконана

Розрахунок товщини стінки еліптичного днища



Рисисунок 3.1 – Еліптичне днище

Товщина стінки днища розраховується за формулою

$$S_p^d = \max \left\{ \begin{array}{l} P_p \cdot R / 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 P_p \\ P_{np} \cdot R / 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{и} - 0,5 P_p \end{array} \right\} \quad (3.8)$$

де R – радіус кривизни в вершині днища, $R = 1000 \text{ мм}$;

$R = D$ – для еліптичних днищ з $H = 0,25 \cdot D = 250 \text{ мм}$.

$$S_p^d = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot 1000 / 2 \cdot 0,9 \cdot 182 - 0,5 \cdot 0,2 \\ 0,31 \cdot 1000 / 2 \cdot 0,9 \cdot 273 - 0,5 \cdot 0,2 \end{array} \right\} = \begin{array}{l} 0,61 \\ 0,65 \end{array} = 0,65 \text{ мм}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 51 |

Визначаємо виконавчу товщину стінки днища:

$$S \geq S_p^d + c \quad (3.9)$$

$$s \geq 0,65 + 2,8 \geq 3,45 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину днища рівною товщині стінки 6мм.

Перевіряємо умови застосування формул:

$$0,002 \leq \frac{S_d - c}{D} \leq 0,1 \quad (3.10)$$

$$0,2 \leq \frac{H}{D} \leq 0,5 \quad (3.11)$$

$$0,002 \leq \frac{6-2,8}{1000} \leq 0,1 \Rightarrow 0,002 \leq 0,003 \leq 0,1$$

$$0,2 \leq \frac{0,25 \cdot 1000}{1000} \leq 0,5 \Rightarrow 0,2 \leq 0,25 \leq 0,5$$

Довжину циліндричної відбортованої частини днища приймаємо $h_1 = 50$ мм.

Допустимий тиск для обичайки корпусу

Перевіряємо працездатність обичайки на внутрішній надлишковий тиск, що допускається, за робочих умов:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi \cdot (s-c)}{D_p + (s-c)} \quad (3.12)$$

де $(s - c)$ – товщина стінки обичайки у кінці терміну служби апарату

$$[P]_p = \frac{2 \cdot 182 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2,8)}{1000 + (6 - 2,8)} = 1,04 \text{ МПа};$$

$$[P]_{и} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot \phi \cdot (s-c)}{D_p + (s-c)} \quad (3.13)$$

$$[P]_{и} = \frac{2 \cdot 273 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2,8)}{1000 + (6 - 2,8)} = 1,56 \text{ МПа};$$

Перевіряємо працездатність днища на внутрішній надлишковий тиск, що допускається, за робочих умов:

$$[P]_{рд} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi \cdot (s-2 \cdot c)}{R+0,5 \cdot (s-2 \cdot c)} \quad (3.14)$$

$$[P]_{рд} = \frac{2 \cdot 182 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2,8)}{1000 + 0,5 \cdot (6 - 2,8)} = 1,04 \text{ МПа};$$

$$[P]_{и}^{рд} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot \phi \cdot (s-2 \cdot c)}{R+0,5 \cdot (s-2 \cdot c)} \quad (3.15)$$

$$[P]_{и}^{рд} = \frac{2 \cdot 273 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2,8)}{1000 + 0,5 \cdot (6 - 2,8)} = 1,56 \text{ МПа};$$

$$P_p > [P]_p (1,04 \text{ МПа} > 0,2 \text{ Мпа}); [P]_{и} > P_{пр} (1,56 \text{ МПа} > 0,31 \text{ Мпа})$$

$$P_p > [P]_{рд} (1,04 \text{ МПа} > 0,2 \text{ Мпа}); [P]_{и}^{рд} > P_{пр} (1,56 \text{ МПа} > 0,31 \text{ Мпа})$$

Умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінок в апараті задовольняє умові міцності в робочих умовах і в умовах гідровипробувань.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 52 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | | |

3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

За ОСТ 26-426-79 відповідно до вхідних даних вибираємо конструкцію фланця – сталевий плоский приварний з ущільнювальною поверхнею «шип-паз», ізольований.

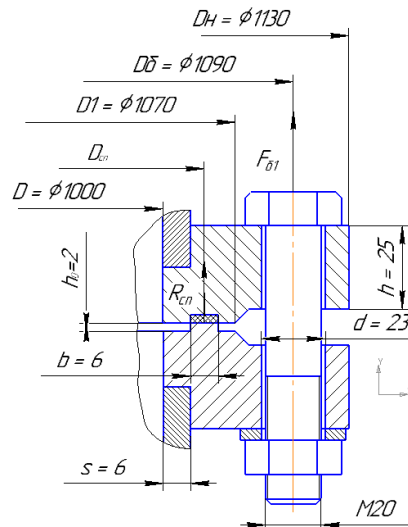


Рисунок 3.2 – Схема фланцевого з'єднання з позначеннями вхідних даних

Записуємо основні розміри до таблиці

Таблиця 3.1 – Основні розміри фланцевого з'єднання

| | |
|--|------------|
| Зовнішній діаметр фланця, мм | $D_n=1130$ |
| Діаметр болтової окружності фланця, мм | $D_b=1090$ |
| Діаметр фланця до шипа, мм | $D_1=1070$ |
| Висота фланця, мм | $h=25$ |
| Діаметр отвору під болти, мм | $d=23$ |
| Кількість болтів, шт. | 20 |

Матеріал фланців – сталь 10X17H13M2T.

Матеріал болтів – сталь 35.

Матеріал прокладки – пароніт.

Допустимі напруги для матеріалу фланці і болтів при температурі 20 і 50°С:

$$[\sigma_{\phi}^{20}] = 190 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{\phi}] = 180 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_6^{20}] = 145 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_6] = 130 \text{ МПа}$$

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ

Лист

53

Модуль пружності матеріалу фланців і болтів:

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}; E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}; t = 50^\circ;$$

$$E_6^{20} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}; E_6 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Коефіцієнт лінійного розширення фланців та болтів при температурі $t = 50^\circ$:

$$\alpha_\phi = 16,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}; \alpha_6 = 11,9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}};$$

Коефіцієнти та параметри для прокладки:

$$m = 2,5; q_{\text{обж}} = 20 \text{ МПа}; k = 0,9; E_n = 2 \cdot 10^3 \text{ МПа}; b_n = 10 \text{ мм.}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_1 - \left(\frac{b_n}{2}\right) \quad (3.16)$$

$$D_{\text{сп}} = 1070 - \frac{10}{2} = 1065 \text{ мм}$$

Податливість прокладки:

$$y_n = \frac{h_o \cdot K}{E_n \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_n} \quad (3.17)$$

$$y_n = \frac{2 \cdot 0,9}{2 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 1065 \cdot 10} = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Довжина болтів:

$$L_6 = 2h + h_o + 0,28d \quad (3.18)$$

$$L_6 = 2 \cdot 25 + 2 + 0,28 \cdot 23 = 58,4 \text{ мм}$$

Податливість болтів

$$y_6 = \frac{L_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} \quad (3.19)$$

де f_6 – площа поперечного перерізу болта

$$f_6 = 0,785d_o^2 \quad (3.20)$$

$$f_6 = 0,785 \cdot 23^2 = 415 \text{ мм}^2$$

$$y_6 = \frac{58,4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 415 \cdot 20} = 3,4 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Конструктивні коефіцієнти для фланця

$$K_\phi = D_H/D \quad (3.21)$$

$$K_\phi = 1130/1000 = 1,13$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{D \cdot s}} \quad (3.22)$$

$$\lambda = \frac{25}{\sqrt{1000 \cdot 6}} = 0,32$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 54 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | |

Поправочний коефіцієнт

$$\Psi_1 = 1,28 \cdot \lg K\phi \quad (3.23)$$

$$\Psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,13 = 0,16$$

Геометричний параметр фланцю:

$$j = \frac{h}{s} \quad (3.24)$$

$$j = \frac{25}{6} = 4,1$$

Безрозмірний параметр

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \Psi_1 \cdot j^2)} \quad (3.25)$$

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,32 \cdot (1 + 0,16 \cdot 4,1^2)} = 0,48$$

Кутова податливість фланця

$$y_\phi = \frac{[1 - \omega(1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \Psi_1}{E^{20} \cdot h^3} \quad (3.26)$$

$$y_\phi = \frac{[1 - 0,48(1 + 0,9 \cdot 0,32)] \cdot 0,16}{2 \cdot 10^5 \cdot 25^3} = 1,95 \cdot 10^{-11} \text{ 1/(Н} \cdot \text{мм)}$$

Плечі моменту

$$b = 0,5(D_6 - D_{cn}) \quad (3.27)$$

$$b = 0,5(1090 - 1065) = 12,5 \text{ мм}$$

$$e = 0,5(D_{cn} - D - s) \quad (3.28)$$

$$e = 0,5(1065 - 1000 - 6) = 29,5 \text{ мм}$$

Коефіцієнти жорсткості фланцевого з'єднання.

Фланцеве з'єднання, навантажене внутрішнім тиском та зовнішньою осьювою силою.

$$\eta = y_n + y_6 + 2 \cdot y_\phi \cdot b^2 \quad (3.29)$$

$$\eta = 2,7 \cdot 10^{-8} + 3,35 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 1,95 \cdot 10^{-11} \cdot 12,5^2 = 6,7 \cdot 10^{-8}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha = 1 - \frac{y_n - 2 \cdot y_\phi \cdot b \cdot e}{\eta} \quad (3.31)$$

$$\alpha = 1 - \frac{2,7 \cdot 10^{-8} + 1,95 \cdot 10^{-11} \cdot 31 \cdot 15,5}{6,7 \cdot 10^{-8}} = 0,81$$

Розрахунок навантажень

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{cn}^2 \cdot p \quad (3.32)$$

$$Q_d = 0,785 \cdot 1065^2 \cdot 0,2 = 178073 \text{ Н}$$

Реакція прокладки у робочих умовах:

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b \cdot m \cdot p \quad (3.33)$$

$$R_n = 3,14 \cdot 1065 \cdot 10 \cdot 2,5 \cdot 0,2 = 16720 \text{ Н}$$

Навантаження, що виникає від температурних деформацій

$$\eta_1 = \gamma_n + \gamma_\delta \cdot \frac{E_\delta}{E_\delta^{20}} + 2 \cdot \gamma_\phi \cdot \frac{E}{E^{20}} \cdot b^2 \quad (3.33)$$

$$\eta_1 = 2,69 \cdot 10^{-8} + 3,35 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^5} + 2 \cdot 1,95 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^5} \cdot 10^2 = 6,4 \cdot 10^{-8}$$

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} (2 \cdot \alpha_\phi \cdot h \cdot t_\phi - \alpha_\delta \cdot L_\delta \cdot t_\delta) \quad (3.34)$$

$$t_\phi = 0,96 \cdot 50 = 48$$

$$t_\delta = 0,85 \cdot 50 = 42,5$$

$$Q_t = \frac{1}{6,4 \cdot 10^{-8}} \cdot (2 \cdot 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 48 - 11,9 \cdot 10^{-6} \cdot 58,4 \cdot 42,5) = 160183 \text{ Н}$$

Болтове навантаження P_δ в умовах монтажу приймається найбільша із слідючих значень.

$$P_{\delta 1} = \alpha(Q_d) + R_n - Q_t \quad (3.35)$$

$$P_{\delta 1} = 0,81 \cdot 178073 + 16720 - 160183 = 1158 \text{ Н}$$

$$P_{\delta 2} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot q_{обж} \quad (3.36)$$

$$P_{\delta 2} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1065 \cdot 10 \cdot 20 = 334410 \text{ Н}$$

$$P_{\delta 3} = 0,4 \cdot [\sigma]_\delta^{20} \cdot n \cdot f_\delta \quad (3.37)$$

$$P_{\delta 3} = 0,4 \cdot 130 \cdot 20 \cdot 415 = 431876 \text{ Н}$$

Приймаємо $P_{\delta 3} = 431876 \text{ Н}$

Приріст навантаження у болтах у робочих умовах

$$\Delta P_\delta = (1 - \alpha) \cdot Q_d + Q_t \quad (3.38)$$

$$\Delta P_\delta = (1 - 0,81) \cdot 178073 + 160183 = 193\,636 \text{ Н}$$

Розрахунок болтів

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta 3}}{n \cdot f_\delta} \quad (3.39)$$

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{431876}{20 \cdot 415} = 52 \text{ МПа} \leq [\sigma]_\delta^{20} = 130 \text{ МПа}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 56 |

$$\sigma_{62} = \frac{P_{63} + \Delta P_6}{n \cdot f_6} \quad (3.40)$$

$$\sigma_{62} = \frac{431876 + 193636}{20 \cdot 415} = 75 \leq [\sigma]_6 = 128 \text{ МПа}$$

Розрахунок прокладок

$$q = \frac{P_{63}}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b_n} \quad (3.41)$$

$$q = \frac{431876}{3,14 \cdot 1065 \cdot 10} = 13 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа}$$

Момент, що скручує при затягуванні гайок

$$M_{скр} = f_1 \frac{\Delta P_6}{n} \cdot d_b \quad (3.42)$$

$$M_{скр} = 0,1 \frac{193636}{20} \cdot 0,022 = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$\tau_B = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_0^3} \quad (3.43)$$

$$\tau_B = \frac{2,1 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,023^3} = 21 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження в болтах:

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{\sigma_{61}^2 + 3\tau_B^2} \quad (3.44)$$

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{52^2 + 3 \cdot 21^2} = 63 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{20} = 190 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{\sigma_{62}^2 + 3\tau_B^2} \quad (3.45)$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{75^2 + 3 \cdot 21^2} = 83 \text{ МПа} \leq [\sigma]_6 = 180 \text{ МПа}$$

Отже умова міцності болтів виконана

Зведений згинальний момент у діаметральному перерізі фланця в умовах монтажу:

$$M_{1\phi} = 0,5 \cdot P_{63} \cdot (D_6 - D_{cn}) \quad (3.46)$$

$$M_{1\phi} = 0,5 \cdot 0,431876 \cdot (1,090 - 1,065) = 0,014 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Зведений згинальний момент у діаметральному перерізі фланця в робочих умовах :

$$M_{2\phi} = 0,5 \cdot [P_{63} \cdot (D_6 - D_{cn}) + Q_d(D_{cn} - D - s)] \frac{[\sigma_\phi^{20}]}{[\sigma_\phi]} \quad (3.47)$$

$$M_{2\phi} = 0,5 \cdot [0,431 \cdot (1,090 - 1,065) + 0,178 \cdot (1,065 - 1 - 0,006)] \frac{190}{180} = 0,011 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий зведений момент у діаметральному перерізі фланця

$$M_{0\phi} = \max\{M_{1\phi}; M_{2\phi}\} = 0,014 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 57 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | | |

Допоміжна велечина

$$\varepsilon = 20s_1 = 20 \cdot 0,012 = 0,12 \quad (3.48)$$

$$s_1 = \beta_1 \cdot s \quad (3.49)$$

де $\beta_1=2$ при $D/s=128$

$$s_1 = 2 \cdot 6 = 12 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр при $D^*=D=1$ м при $D > 20s_1$

Максимальні напруження в перерізі s_1 від дії згинального моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{\phi 1} = \Psi_3 \frac{T_{\phi} M_{0\phi} \omega}{D^* (s_1 - c)^2} \quad (3.50)$$

де T_{ϕ} – безрозмірний параметр фланців;

Ψ_3 – поправочний коефіцієнт для перерізу s_1 для плоских приварних фланців, $\Psi_3 = 1$.

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 (1 + 8,55 \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 K_{\phi}^2) (K_{\phi} - 1)} \quad (3.51)$$

Де K_{ϕ} - конструктивний коефіцієнт для фланця;

$$K_{\phi} = D_{\phi} / D \quad (3.52)$$

$$K_{\phi} = \frac{1130}{1000} = 1,13$$

$$T_{\phi} = \frac{1,13^2 (1 + 8,55 \cdot \lg 1,13) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,13^2) (1,13 - 1)} = 3,51$$

$$\sigma_{\phi} = 1 \frac{3,51 \cdot 0,014 \cdot 0,49}{1,4 \cdot (0,012 - 0,0028)^2} = 290 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\phi 2} = \sigma_{\phi} \Psi_{3\phi} \quad (3.53)$$

де $\Psi_{3\phi}$ - поправочний коефіцієнт для перетину s_1 , $\Psi_{3\phi} = 1,53$

$$\sigma_{\phi 2} = 290 \cdot 1,53 = 444 \text{ Мпа}$$

$$\sigma_{\text{кф}1} = \sigma_{\text{кф}2} = \frac{M_{0\phi} (1 - \omega (1 + 0,9\lambda)) \Psi_{2\phi}}{D \cdot h^2} \quad (3.54)$$

де $\Psi_{2\phi}$ - поправочний коефіцієнт;

$$\Psi_{2\phi} = (K_{\phi} + 1) / (K_{\phi} - 1) \quad (3.55)$$

$$\Psi_{2\phi} = \frac{1,13 + 1}{1,13 - 1} = 16,3$$

$$\sigma_{\text{кф}1} = \sigma_{\text{кф}2} = \frac{0,014 \cdot (1 - 0,49 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)) \cdot 16,3}{1 \cdot 0,035^2} = 56 \text{ МПа}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 58 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | |

Еквівалентні напруження в перетині s_1

$$\sigma_{E\phi 1}^{s_1} = \sigma_{E\phi 2}^{s_1} = \sqrt{\sigma_{\phi}^2 + \sigma_{к\phi 1}^2 - \sigma_{\phi} \cdot \sigma_{к\phi 1}} \quad (3.56)$$

$$\sigma_{E\phi 1}^{s_1} = \sigma_{E\phi 2}^{s_1} = \sqrt{290^2 + 56^2 - 290 \cdot 56} = 267 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{х\phi 1} = \frac{pD}{2 \cdot (s_0 - c)} \quad (3.57)$$

$$\sigma_{х\phi 1} = \frac{0.1 \cdot 1}{2 \cdot (0.06 - 0.0028)} = 15 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{у\phi 1} = \frac{pD}{4 \cdot (s_0 - c)} \quad (3.58)$$

$$\sigma_{у\phi 1} = \frac{0.1 \cdot 1}{4 \cdot (0.06 - 0.0028)} = 7 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження в перетині s_0

$$\sigma_{E\phi 1}^{s_0} = \sigma_{E\phi 2}^{s_0} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{у\phi 1})^2 + \sigma_{х\phi 1}^2 - (\sigma_{\phi 2} \cdot \sigma_{у\phi 1}) \sigma_{х\phi 1}} \quad (3.59)$$

$$\sigma_{E\phi 1}^{s_0} = \sigma_{E\phi 2}^{s_0} = \sqrt{(444 + 7)^2 + 15^2 - (444 \cdot 7) \cdot 15} = 388 \text{ МПа}$$

Умови міцності:

$$\sigma_{E\phi 1}^{s_1} \leq \sigma_{т\phi 1}^t;$$

$$\sigma_{E\phi 1}^{s_0} \leq [\sigma_{\phi 1}^{s_0}] \varphi;$$

де $\sigma_{т\phi 1}^t$ - допустиме напруження для матеріалу фланців в перетині s_1 ; $\sigma_{т\phi 1}^t = 340 \text{ МПа}$

$[\sigma_{\phi 1}^{s_0}]$ - допустиме напруження для матеріалу фланців в перетині s_0 , $[\sigma_{\phi 1}^{s_0}] = 580 \text{ МПа}$

$267 \text{ МПа} \leq 340 \text{ МПа}$ - умова міцності виконана;

$388 \text{ МПа} \leq 580 \cdot 0.9 = 522 \text{ МПа}$ - умова міцності виконана.

Умова герметичності фланцевого з'єднання:

$$\frac{\sigma_{к\phi 1} \cdot D}{E\phi 1 \cdot h} \leq [\theta]$$

де $\leq [\theta] = 0.009 \text{ рад}$ - допустимий кут повороту фланця при $D \leq 2 \text{ м}$

$\frac{56 \cdot 1.4}{2 \cdot 10^2 \cdot 0.035} = 0.008 \leq 0.013 \text{ рад}$ - умова герметичності виконана

Отже остаточно вибираємо:

Фланець 4-1000-0,3-10X17Н13М2Т ГОСТ ГОСТ 28759.3-90

Фланець 5-1000-0,3-10X17Н13М2Т ГОСТ ГОСТ 28759.3-90

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 59 |

3.3 Розрахунок на вітрове навантаження

За відношенням висоти апарату до його діаметру $H/D = \frac{14}{1} \approx 15 \geq 15$, тому розрахункова схема апарату вибирається у вигляді консольного стержню з жорсткою посадкою у фундамент.

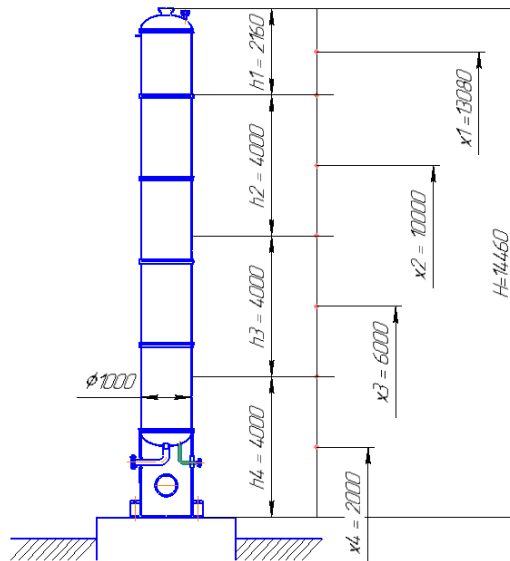


Рисунок 3.3 – Схема розбиття апарату на ділянки

Розраховуємо середній діаметр корпусу апарату:

$$D_{cp} = D + (s - c) \quad (3.60)$$

$$D_{cp} = 1 + (0,006 - 0,0028) = 1,0032 \text{ м}$$

Момент інерції поперечних перерізів корпусу розраховується за формулою:

$$J = \frac{\pi}{8} D_{cp}^3 (s - c) \quad (3.61)$$

$$J = \frac{3,14}{8} 1,0032^3 (0,006 - 0,0028) = 0,0013 \text{ м}^4$$

Період власних коливань апарату визначаємо за формулою [12,(29.27)]

$$T = 1,79H \sqrt{\frac{GH}{EJg}} \quad (3.62)$$

де G - вага апарату з рідиною, $G = Q_{\text{общ}} = 28684 \text{ Н}$

$$T = 1,79H \sqrt{\frac{0,029 \cdot 14160}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,0013 \cdot 9,8}} = 0,33 \text{ с}$$

Визначаємо за [12,рис.29.14] географічний район II, для цього району нормативний швидкісний напір для ділянок за [12,табл. 29.14] дорівнює $q = 0,035 \cdot 10^{-2} \text{ Мн/м}^2$

Поправочний коефіцієнт до нормативного швидкісного напору для ділянок апарату $H > 10 \text{ м}$ визначаємо за графіком [12,рис.29.15] $\theta = 1,2$.

Розрахунковий швидкісний напір за ділянками:

$$q_1 = q_2 = q_3 = \theta q \quad (3.63)$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = 1,2 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} = 0,0042 \text{ Мн/м}^2$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 60 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | | |

$$q_4 = q = 0,035 \cdot 10^{-2} \text{ МН/м}^2$$

Коефіцієнт динамічності визначаємо за графіком [12,рис.29.16] $\varepsilon = 1,3$

Коефіцієнт пульсації швидкісного напору визначаємо за графіком [12,рис.29.17] для всіх ділянок $m = 0,35$.

Коефіцієнт збільшення швидкісного напору визначаємо за формулою [12,(29.26)]:

$$\beta = 1 + \varepsilon m \quad (3.64)$$

$$\beta = 1 + 1,3 \cdot 0,35 = 1,42$$

Силу вітрової нагрузки, що діє на кожну ділянку апарату визначаємо за формулою [12,(29.34)]:

$$P = 0,6 \cdot \beta \cdot q_i \cdot D \cdot h_i \quad (3.65)$$

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,42 \cdot 0,0042 \cdot 1 \cdot 2,16 = 0,0008 \text{ МН}$$

$$P_2 = P_3 = 0,6 \cdot 1,42 \cdot 0,0042 \cdot 1 \cdot 4 = 0,0014 \text{ МН}$$

$$P_4 = 0,6 \cdot 1,42 \cdot 0,0035 \cdot 1 \cdot 4 = 0,0012 \text{ МН}$$

Згинальний момент від вітрового навантаження на апарат відносно його основи визначаємо за формулою [12,(29.35)]:

$$M_{Bi} = P_i \cdot x_i \quad (3.66)$$

$$M_{B1} = 0,0008 \cdot 13,08 = 0,012 \text{ МН}$$

$$M_{B2} = 0,0014 \cdot 10 = 0,014 \text{ МН}$$

$$M_{B3} = 0,0014 \cdot 6 = 0,009 \text{ МН}$$

$$M_{B4} = 0,0012 \cdot 2 = 0,0024 \text{ МН}$$

$$\sum M_B = 0,012 + 0,014 + 0,009 + 0,0024 = 0,037 \text{ МН}$$

Проведемо розрахунок вибраної опори апарата

Напруга стиснення в стінці опори визначаємо за формулою [12,(15.52)]:

$$\sigma_c = \frac{G}{[\pi(D+s) - d_L](s-c)} \quad (3.67)$$

$$\sigma_c = \frac{0,029}{[3,14(1 + 0,006) - 0,5](0,006 - 0,0028)} = 3,4 \text{ МН/м}^2$$

Напруження на згиб у стінці опори визначаємо за формулою [12,(15.53)]:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 61 |

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{4 \sum M_{\text{в}}}{\pi(D+s)^2(s-c)} \quad (3.68)$$

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{4 \cdot 0,037}{3,14 \cdot (1+0,006)^2 (0,006-0,0028)} = 14,5 \text{ МН/м}^2$$

Розрахуємо відношення $\frac{D}{2(s-c)} = \frac{1}{2(0,006-0,0028)} = 156$. Для цього відношення визначемо коефіцієнти за графіком [12,рис.15.8]: $k_c = 0,14$; $k_{\text{и}} = 0,15$.

Коефіцієнт K_c визначаємо за формулою [12,(15.38)]:

$$K_c = 875 \frac{\sigma_{\text{т}}}{E} k_c \quad (3.69)$$

$$K_c = 875 \cdot \frac{185}{2 \cdot 10^5} \cdot 0,14 = 0,11$$

Коефіцієнт $K_{\text{и}}$ визначаємо за формулою [12,(15.47)]:

$$K_{\text{и}} = 875 \frac{\sigma_{\text{т}}}{E} k_{\text{и}} \quad (3.70)$$

$$K_{\text{и}} = 875 \cdot \frac{185}{2 \cdot 10^5} \cdot 0,15 = 0,12$$

Допустимі напруження на стиснення в обичайці опори визначаємо за формулою [12,(15.35)]:

$$\sigma_{\text{сд}} = K_c \cdot E \frac{s-c}{D} \quad (3.71)$$

$$\sigma_{\text{сд}} = 0,11 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{(0,006-0,0028)}{1} = 72,5 \text{ МН/м}^2$$

Допустимі напруження на згиб в обичайці опори визначаємо за формулою [12,(15.44)]:

$$\sigma_{\text{ид}} = K_{\text{и}} \cdot E \frac{s-c}{D} \quad (3.72)$$

$$\sigma_{\text{ид}} = 0,12 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{(0,006-0,0028)}{1} = 77,7 \text{ МН/м}^2$$

Умова стійкості циліндричної опори визначаємо за формулою [12,(15.51)]:

$$\frac{\sigma_{\text{с}}}{\sigma_{\text{сд}}} + \frac{\sigma_{\text{и}}}{\sigma_{\text{ид}}} < 1 \quad (3.73)$$

$$\frac{3,4}{72,5} + \frac{14,5}{77,7} = 0,23 < 1$$

Отже, умова виконана, тобто стійкість забезпечена.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 62 |

3.4 Розрахунок опори апарату

Максимальне напруження на стиснення у зварному шві, з'єднуючим циліндричну опору з корпусом апарату, при коефіцієнті $\phi = 0,9$ визначаємо за формулою :

$$\sigma_{\max} = \frac{G_{\max}}{\phi\pi(D+s) \cdot (s-c)} + \frac{4 \sum M_B}{\phi\pi(D+s)^2 \cdot (s-c)} \quad (3.74)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{0,029}{0,9 \cdot 3,14 \cdot (0,006 + 0,0028) \cdot (0,006 - 0,0028)} + \frac{4 \cdot 0,037}{0,9 \cdot 3,14 \cdot (0,006 + 0,0028)^2 \cdot (0,006 - 0,0028)} =$$
$$= 24,8 \text{ Мн/м}^2 < \sigma_{\text{ид}} = 160 \text{ Мн/м}^2 - \text{ умова виконана}$$

де $\sigma_{\text{ид}}$ – допустиме напруження на згиб для матеріала кільця, $\sigma_{\text{ид}} = 160 \text{ Мн/м}^2$;

Внутрішній діаметр опорного кільця визначаємо за формулою [12,(29.38)]:

$$D_2 = D - 0,06 \quad (3.75)$$

$$D_2 = 1 - 0,06 = 0,94 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр опорного кільця визначаємо за формулою [12,(29.39)]:

$$D_1 = D + 2s + 0,2 \quad (3.76)$$

$$D_1 = 1 + 2 \cdot 0,006 + 0,2 = 1,212 \text{ м}$$

Опорну площу кільця визначаємо за формулою [12,(29.40)]:

$$F = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \quad (3.77)$$

$$F = \frac{3,14}{4} (1,212^2 - 0,94^2) = 0,46 \text{ м}^2$$

Момент опору опорної площі кільця визначаємо за формулою [12,(29.41)]:

$$W = \frac{\pi}{32} \frac{(D_1^4 - D_2^4)}{D_1} \quad (3.78)$$

$$W = \frac{3,14}{32} \frac{(1,212^4 - 0,94^4)}{1,212} = 0,11 \text{ м}^3$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 63 |

Максимальні напруження стиснення на опорній поверхні кільця визначаємо за формулою [12,(29.42)]:

$$\sigma_{\max} = \frac{G_{\max}}{F} + \frac{\sum M_B}{W} \quad (3.79)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{0.029}{0.46} + \frac{0.037}{0.11} = 0,4 \text{ МН/м}^2 < 10 \text{ МН/м}^2 - \text{ умова виконана}$$

Номінальна розрахункова товщина опорного кільця $l=0,1\text{м}$ за формулою [12,(29.43)]:

$$s'_k = 1.73l \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{нд}}}} \quad (3.80)$$

$$s'_k = 1.73 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{160}} = 0,01 \text{ м}$$

Приймаємо $s_k = 20$ мм з урахуванням на корозію

Найменші напруження на опорній поверхні кільця визначаємо за формулою [12,(29.46)]:

$$\sigma_{\max} = \frac{G_{\max}}{F} - \frac{\sum M_B}{W} \quad (3.81)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{0.029}{0.46} - \frac{0.037}{0.11} = -0,27 \text{ МН/м}^2$$

Знак мінус показує необхідність установлення фундаментальних болтів.

Загальне розрахункове навантаження на фундаментальні болти визначаємо за формулою:

$$P_{\sigma} = 0,785 \cdot \sigma_{\max} (D_1^2 - D_2^2) \quad (3.82)$$

$$P_{\sigma} = 0,785 \cdot 0,27 (1,212^2 - 0,94^2) = 0,12 \text{ МН/м}^2$$

Навантаження на один болт:

$$P_{\sigma 1} = \frac{P_{\sigma}}{z} \quad (3.83)$$

$$P_{\sigma 1} = \frac{0,12}{8} = 0,02 \text{ МН/м}^2$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 64 |

Розрахунковий внутрішній діаметр різі болтів визначаємо за формулою:

$$d_{6\phi} = \sqrt{\frac{4P_{\sigma 1}}{\pi\sigma_{ид}}} \quad (3.84)$$

$$d_{6\phi} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 160}} = 14 \text{ мм}$$

За ОСТ 26-467–78 приймаємо беремо болт М30, що задовольняє умову.

Діаметр болтової окружності визначаємо за формулою:

$$D_{\phi} = D + 2s + 0,12 \quad (3.85)$$

$$D_{\phi} = 1 + 2 \cdot 0,006 + 0,12 = 1,35 \text{ м}$$

Отже вибрана конструкція стандартної циліндричної опори типу 3 – з кільцевим опорним поясом за ОСТ 26-467–78 задовольняє умову вхідних даних і забезпечує стійкість конструкції з урахуванням вагових і вітрових навантажень.

3.5 Укріплення отворів

Визначаємо розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не вимагає укріплення за формулою [12,(18.6)]:

$$d_d = 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \sqrt{D_p(s-c)} \quad (3.86)$$

$$d_d = 2 \cdot \left(\frac{6 - 2,8}{1,02} - 0,8 \right) \sqrt{1000(6 - 2,8)} = 265 \text{ мм}$$

Таблиця штуцерів

| Обозначення | Найменування | Кіл. | Прохід умовний D _н , мм |
|------------------|--------------------------------|------|------------------------------------|
| А ₁ | Введення сировини | 1 | 100 |
| Б ₁ | Виведення парів з верху колони | 1 | 200 |
| В ₁ | Вихід кубового залишку | 1 | 40 |
| Г ₁ | Виведення рідини з колони | 1 | 100 |
| Д ₁ | Введення пари з кип'ятильника | 1 | 300 |
| Е ₁ | Введення холодного зрошення | 1 | 100 |
| Ж ₁ | Для виміру рівня | 1 | 50 |
| И ₁₋₇ | Люк | 7 | 500 |
| К ₁₂ | Для камери рівнеміра | 2 | 50 |
| Л ₁₂₃ | Для заміру температури | 3 | M20x15 |
| М ₁₂ | Для заміру тиску | 2 | 50 |
| Н | Ліаз | 2 | 500 |
| П | Дренаж | 1 | M20x15 |
| Р | Резервний | 1 | 50 |

Рисунок 3.4 – Таблиця штуцерів апарату

За розрахунками отвір $D_1(D_y=300 \text{ мм})$ і $I_{1.7}(D_y=500 \text{ мм})$ вимагають укріпленнь.

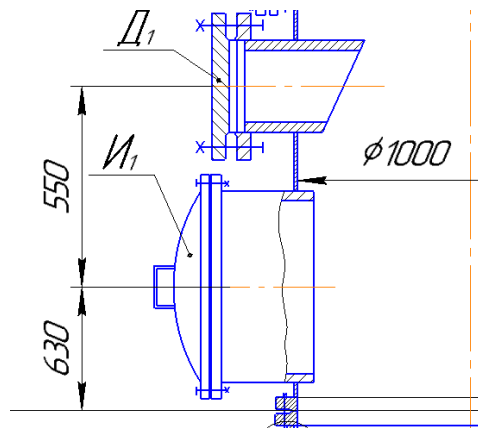


Рисунок 3.5 – Схема розташування штуцерів

Оскільки отвори знаходяться суміжно, треба визначити чи можна розраховувати їх як одиничні отвори.

Найменша допустима відстань між центрами двох суміжних отворів розраховується за формулою [12,(18.27)]:

$$A_d = 0,7(d_1 + d_2) + s_{ш1} + s_{ш2} \quad (3.87)$$

де $s_{ш1}$ і $s_{ш2}$ - товщини стінки штуцерів d_1 і d_2 відповідно, $s_{ш1} = 6 \text{ мм}$, $s_{ш2} = 6 \text{ мм}$;

$$A_d = 0,7 \cdot (500 + 300) + 6 + 6 = 572 \text{ мм}$$

Найменша допустима відстань між центрами двох суміжних отворів більше від дійсної, а отже отвори слід розраховувати як одиничні.

Укріплення отвору будемо проводити за схемою укріплення двустороннім (наскрізним) штуцером.

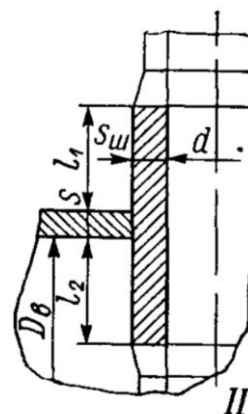


Рисунок 3.6 – Схема укріплення отвору

Визначемо номінальну розрахункову товщину стінки штуцера:

$$s'_{ш} = \frac{p \cdot (d+2c)}{2\varphi[\sigma] - p} \quad (3.88)$$

$$s'_{ш1} = \frac{0,1 \cdot (500 + 2 \cdot 2,8)}{2 \cdot 0,9 \cdot 166 - 0,1} = 0,17 \text{ мм}$$

$$s'_{ш2} = \frac{0,1 \cdot (300 + 2 \cdot 2,8)}{2 \cdot 0,9 \cdot 166 - 0,1} = 0,1 \text{ мм}$$

Визначемо розрахунковий розмір отвору:

$$d_r = d + 2c \quad (3.89)$$

$$d_{r1} = 500 + 2 \cdot 2,8 = 505,6 \text{ мм}$$

$$d_{r2} = 300 + 2 \cdot 2,8 = 305,6 \text{ мм}$$

Визначемо розрахункові довжини зовнішньої й внутрішньої (l_1 і l_2 відповідно) частини штуцера, що беруть участь в укріпленні отвори за формулами [12,(18.11)] та [12,(18.12)]:

$$l_1 = \min \left\{ 60; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш} - c)} \right\} \quad (3.90)$$

$$l_2 = \min \left\{ 40; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_{ш} - 2c)} \right\} \quad (3.91)$$

Для штуцера И₁₋₇:

$$l_1 = \min \left\{ 60; 1,25 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 2,8) \cdot (6 - 2,8)} \right\} = \min \{60; 50\} = 50 \text{ мм}$$

$$l_2 = \min \left\{ 40; 0,5 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 2,8) \cdot (6 - 2 \cdot 2,8)} \right\} = \min \{40; 7\} = 7 \text{ мм}$$

Для штуцера Д₁

$$l_1 = \min \left\{ 60; 1,25 \cdot \sqrt{(300 + 2 \cdot 2,8) \cdot (6 - 2,8)} \right\} = \min \{60; 39\} = 39 \text{ мм}$$

$$l_2 = \min \left\{ 40; 0,5 \cdot \sqrt{(300 + 2 \cdot 2,8) \cdot (6 - 2 \cdot 2,8)} \right\} = \min \{40; 5\} = 5 \text{ мм}$$

Умова при якій укріплення двостороннім штуцером достатня за формулою [12,(18.18)]:

$$(d_r - d_d)S_p \leq 2(l_1 + s - S_p - c)(s_{ш} - s'_{ш} - c) + 2l_2(s_{ш} - 2c) \quad (2.43)$$

Для штуцера И₁₋₇

$$(505,6 - 265) \cdot 1,02 \leq 2 \cdot (39 + 6 - 1,02 - 2,8)(6 - 0,1 - 2,8) + 2 \cdot 5(6 - 2 \cdot 2,8)$$

$$35 \leq 260 - \text{умова виконана}$$

Для штуцера Д₁

$$(305,6 - 265) \cdot 1,02 \leq 2 \cdot (50 + 6 - 1,02 - 2,8)(6 - 0,17 - 2,8) + 2 \cdot 7(6 - 2 \cdot 2,8)$$

$$238 \leq 324 - \text{умова виконана}$$

Отже, укріплення отворів за схемою укріплення двустороннім (наскрізним) штуцером і за рахунок надлишкової товщини апарату забезпечує міцність конструкції.

4 Монтаж та ремонт апарата [7]

4.1 Монтаж розробленого апарата

Вибір метода та способу монтажу апарата визначає трудомісткість, терміни, економічні показники та ступінь безпеки проведення цих робіт. Основний метод монтажу який застосовується в даний час описаний нижче за [7].

Монтаж ректифікаційної установки проводять за повною відповідністю із монтажною схемою. При розробці схеми, особливу увагу потрібно приділити на підбір запірної арматури. На гарячих продуктопроводах рекомендується ставити виключно бронзові пробкові фланцеві крани з сальниковими ущільнювачами. Поблизу робочого місця апаратчика розташовують ліхтарі для спирту та побічних продуктів розташовують в одному місці, що добре освітлюється денним світлом

Метод монтажу апаратів і механізмів в повністю зібраному вигляді. Цей метод найбільш економічно вигідний, оскільки виключає проведення робіт на висоті. Але для застосування методу необхідно мати вантажопідйомні засоби, які спроможні підняти повністю зібраний апарат. Установку обладнання на фундамент за обраним методом можна здійснити різними способами і з використанням різних вантажопідйомних механізмів

За даним методом монтажу апарат спочатку збирається з блоків(царг), а потім приварюється циліндрична опора. Стикуючи частини апарату підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок (рис. 4.1). Після прихватки стику напрямні планки зрізають газокисневим різанням. Стиковку виконують за контрольними рисками або кернами, що нанесені на блоках, а також за маркуванням на деталях, які ретельно з'єднують. В кільцевих швах зміщення кромки не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарату.

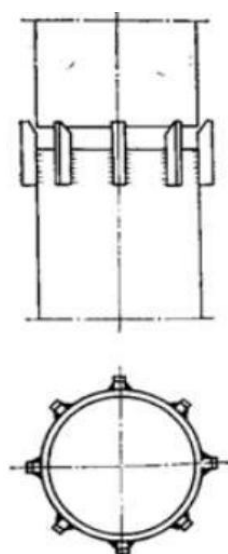


Рисунок 4.1 – Стиковка обичайок

| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |

ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ

Лист

68

Ретельно контролюють зазори зварюваних стиків, які повинні бути в межах 2–4 мм. Кромки зварних частин обережно очищають металевими щітками. Як і повне зварювання, приїватку виконують електродами, що передбачені проектом(кресленням). Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації. Територія, на якій проводиться зварювання, повинна бути захищена від вітру та атмосферних опадів для запобігання забрудненню шва.. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Контактні пристрої можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні апарату. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарату (рис. 4.2).

При горизонтальному положенні апарату тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°. В уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарату значно легше забезпечити суворе горизонтальне положення тарілок; У описаному випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

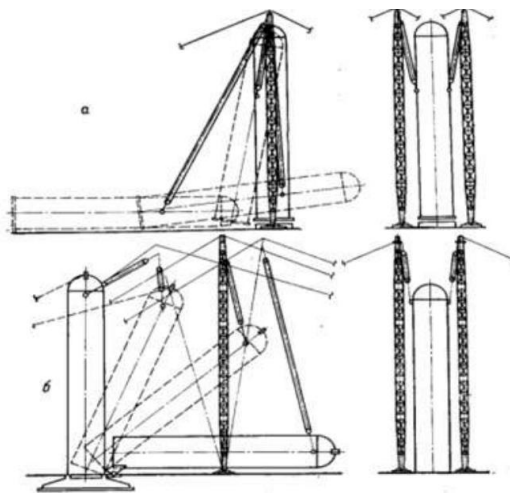


Рисунок 4.2 – Способи підйому колонного апарату:

а – способом ковзання опорної частини; б – поворотом навколо шарніра

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз'ємних деталей (кишень, зливів, дисків, глухих сегментів).

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 69 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | | | | | |

Зварювання виконують у суворій відповідності з технічними умовами, з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання.

Кожна тарілка перевіряється на барботаж після складання всіх елементів. Для перевірки барбатажу закривають люки, що розташовані нижче контрольованої тарілки, яку заливають водою. Тарілку заливають водою так, щоб надмірна кількість води зливалася через зливні пристрої. По всьому периметру злив повинен бути однаковим, тому можливість його регулювання передбачається. Товщину шара води на всіх ділянках тарілки повинен бути також однаковою. Після заповнення гідрозатворів в зливних кишнях перевіряється тарілка, компресором нагнітають повітря. Рівномірність барботажу контролюється візуально.

Лист тарілки повинен бути плоским, місцеві випучини та кривизна не повинні перебільшувати 2 мм. Відхилення верхніх торців зливних стаканів або зливних порогів відносно тарілки допускається не більше ± 2 мм.

При установці колони мінімальна висота фундаментна приймається рівною 0,6-0,8 м. Діаметр цоколя фундаменту приймається рівним $D+400$ мм, де D – діаметр колони, мм.

Після зачистки, шліфовки і поліровки зварних швів, апарат випробовуються гідравлічним або пневматичним способом. Перед випробуванням прибирають з приміщення всі сторонні предмети, проводять прибирання приміщення, маркують обладнання і арматуру на трубопроводах. Величина випробувального тиску при гідравлічному способі приймається за проектною документацією.

Після гідравлічного або пневматичного випробування усувають нещільності та проводять випробують апарат під навантаженням, тобто перевіряють роботу колони спочатку на водяній парі.

Апарат ретельно промивають, залишки води випускають через дренажні пристрої. Перевіряють щільність закриття всіх люків і лазів у колоні та допоміжному обладнанні: ущільнення кришок конденсаторів, теплообмінників, дефлегматорів. Перевіряють ще раз відповідність трубопроводів відповідно монтажної схеми.

В ході випробувань виявляють і усувають дефекти монтажу, а внутрішню поверхню всіх елементів установки і комунікацій пропарюють і промивають. Робота установки на воді та парі вважається нормальною, якщо немає течії, установка працює спокійно, тиск в колонах утримується стійко, рідина надходить плавно і легко піддається регулюванню, рівень рідини в кубової частини колон підтримується постійним

Робота установки в процесі випробуванні на парі і воді повинна тривати 8 год за умови повного усунення всіх дефектів. Після перевірки роботи апарату на парі і воді та усунення помічених недоліків, переходять на обігрів апарату за допомогою випарників.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 70 |

4.2 Ремонт апарата

В процесі роботи колони її елементи і вузли забруднюються, втрачають герметичність та виникає корозія. Ремонт залежить від діаметра колони і зносу її вузлів.

Підготовка колонних апаратів до ремонту полягає в наступному. Доводять тиск в колоні до атмосферного, видаляють з апарату робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, який витісняє залишки в колоні пари і газу. Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чергують кілька разів.

Промивання колон водою сприяє також більш швидкому їх охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50 ° С.

Пропарену і промиту колону від'єднують від всіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

Ремонт апарату починається з розкриття, яке слід проводити, суворо дотримуючись таких правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, в результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, так як за рахунок різниці температур відбувається сильна притока повітря в колону, що може привести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Після відкриття люків колона деякий час провітрюється в результаті природної конвекції повітря. Після закінчення провітрювання потрібно провести аналіз проб повітря, взятих з колони на різних висотних відмітках.

До робіт всередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і парів в ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм. Під час роботи у середині колони і розбирання тарілок працюють по двоє робочих у кожному люку: один всередині колони з сигнально-рятувальним поясом-мотузкою із шланговому протигазі, а другий спостерігаючий: ззовні поруч із люком із шланговим протигазом. Маска повинна бути в положенні "напоготові".

Корпус колони і її внутрішні пристрої піддають ретельному огляду.

Тарілки розбирають всередині колони, виносяться через люки на обслуговуючі майданчики і транспортуються для чищення та ремонту.

Спуск секцій тарілок проводиться встановленої у верхній частині колони поворотною кран-укосиною потрібної вантажопідйомності.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 71 |

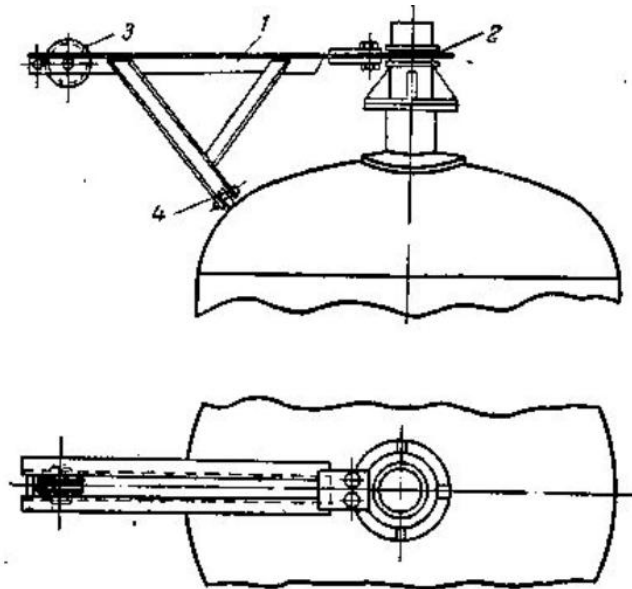


Рисунок 4.3 – Кран-укосина на корпусі апарату

1 – кронштейн; 2 – стойка; 3 – блок; 4 – ролик.

Ремонт тарілок пов'язаний в основному з їх очищенням і заміною зношених елементів. При чищенні тарілок користуються лопатками, скребками, пневматичними відбійними молотками.

Після чищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляють заново і збирають. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, так як при неспіввісності цих деталей правильна установка ковпачка виявляється неможливою. Співвісність деталей забезпечується за допомогою спеціальної оправки, яка дозволяє також змінювати висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки.

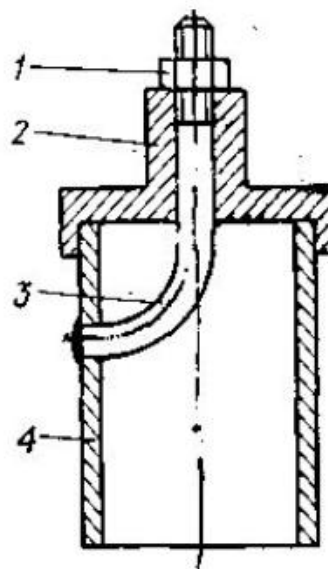


Рисунок 4.4 – Приварка шпильки до корпусу ковпачка

1 – гайка; 2 – оправка; 3 – шпилька; 4 – корпус ковпачка

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ

Лист

72

Після ремонту тарілки перевіряють на барботаж і монтують в корпус.

Ремонт корпусу колонних апаратів проводять в залежності від виявлених дефектів. Дефекти корпусу виявляють шляхом візуального огляду та ультразвукової дефектоскопії. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і зварюють відповідним електродом. Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими з обов'язковим встановленням зміцнювальних кілець.

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце ставлять нову ділянку, заздалегідь звальцьований по радіусу колони. Зварювання виробляють встик. Вирізання великих ділянок корпусу може привести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектного ділянки його зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число й перетин стійок, розміри опорних лап розраховують, виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами

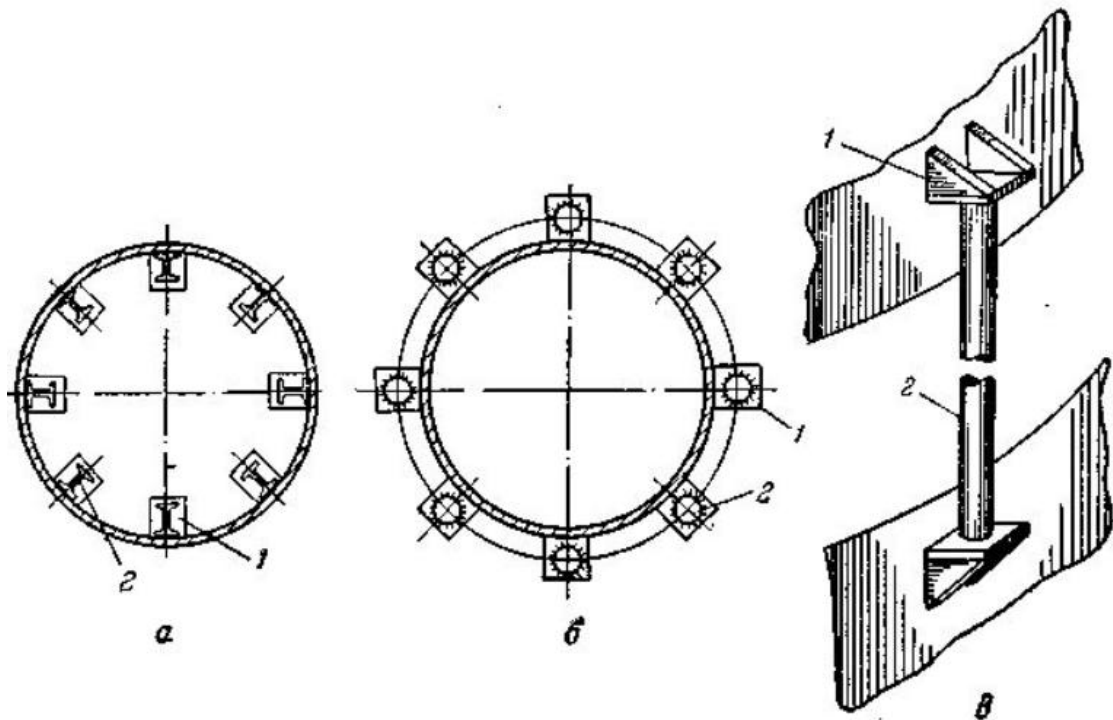


Рисунок 4.5 - Посилення колони в місцях вирізаних поясів

а - внутрішніми стійками; б - зовнішніми стійками; в - схема кріплення стійки;

1 - лапа; 2 - стійка.

Ремонт колони закінчується її випробуванням. При гідравлічному випробуванні колона заповнюється водою при відкритій воздушці, яка встановлюється на верху колони. Поява води в воздушці свідчить про заповнення колони. Після закриття воздушки тиск в колоні повільно підвищується до контрольної величини. При цьому тиску апарат витримується 5 хв, потім тиск знижується до робочого значення, при якому здійснюється обстукування зварних швів молотком і огляд корпусу колони. При проведенні пневматичного випробування обстукування зварних швів не допускається.

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

5 Охорона праці [3]

Причини забруднення і характер впливу повітря робочої зони на працівників

Оточуюче повітря (атмосфера) є найважливішим фактором забезпечення нашого життя. Без повітря, що надходить через дихальні шляхи в наші легені, вже через кілька хвилин настає смерть. В природних умовах ця залежність не приховує загрози життю, бо повітря, як правило, незабруднене отруйними речовинами. Тільки відтоді, як людина почала використовувати в своїй діяльності шкідливі речовини, з'явилася загроза життю. При цьому з'ясувалось, що наші органи чутливості не дозволяють з достатньою точністю визначати якість повітря. Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечити не лише комфортні метеорологічні умови, а й необхідну чистоту повітря.

Внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах.

Шкідлива речовина - це речовина, що контактуючи з організмом людини, може спричинювати захворювання чи відхилення у стані здоров'я як під час впливу речовини, так і в подальший період життя теперішнього і наступних поколінь.

Шкідливі речовини можуть потрапити в організм людини через органи дихання, органи травлення, а також шкіру та слизові оболонки. Через дихальні шляхи проникають пари, газо - та пилоподібні речовини, а через шкіру - переважно рідини. Через шлунково-кишкові шляхи потрапляють речовини під час ковтання або при внесенні їх у рот забрудненими руками.

Найчастіше промислові шкідливі речовини потрапляють в організм людини через дихальні шляхи. Завдяки величезній (понад 90 м²) всмоктувальній поверхні легень утворюються сприятливі умови для надходження шкідливих речовин у кров, яка розносить їх по всьому організму.

Слід зазначити, що ураження шкіри (порізи, рани) прискорюють проникнення шкідливих речовин в організм людини. Шкідливі речовини, що потрапили тим чи іншим шляхом у організм, можуть зумовлювати отруєння (гострі чи хронічні). Ступінь отруєння залежить від токсичності речовин, їх кількості, часу дії, шляху, яким вони потрапили в організм, метеорологічних умов, індивідуальних особливостей організму та ін.

Гострі отруєння виникають у результаті короткочасної (протягом доби) дії значних доз шкідливих речовин.

Хронічні отруєння виникають унаслідок тривалої дії на людину невеликих концентрацій шкідливих речовин, що дещо перевищують ГДК. Шкідливі речовини, потрапивши в організм, розподіляються в ньому нерівномірно.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 74 |

Найбільша кількість свинцю накопичується в кістках, фтору - у зубах, марганцю - у печінці і т. ін. Такі речовини мають властивість утворювати в організмі так зване депо і затримуватись у ньому тривалий час.

При хронічному отруєнні шкідливі речовини можуть не лише накопичуватись в організмі (матеріальна кумуляція), але й спричинювати "накопичення" функціональних ефектів (функціональна кумуляція).

У санітарно-гігієнічній практиці прийнято поділяти шкідливі речовини на хімічні речовини та промисловий пил.

Хімічні речовини

(Шкідливі та небезпечні) відповідно до ГОСТу 12.0.003-2015 за характером впливу на організм людини поділяються на:

- загальнотоксичні, що викликають отруєння всього організму (ртуть, оксид вуглецю, толуол, анілін та ін.);

- подразнювальні, що зумовлюють подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок (хлор, аміак, сірководень, озон та ін.);

- сенсibiliзуючі, що діють як алергени (альдегіди, розчинники та лаки на основі нітросполук та ін.);

- канцерогенні, що спричинюють ракові захворювання (ароматичні вуглеводні, аміносполуки, азбест та ін.);

- мутагенні, що викликають зміни спадкової інформації (свинець, радіоактивні речовини, формальдегід та ін.);

- такі, що впливають на репродуктивну (відтворення потомства) функцію (бензол, свинець, марганець, нікотин та ін.).

Варто зазначити, що існують й інші різновиди класифікацій шкідливих речовин: за переважаючою дією на певні органи чи системи людини (серцеві, кишково-шлункові, печінкові, ниркові та ін.), за основною шкідливою дією (задушливі, наркотичні, подразнювальні та ін.), за тривалістю дії (летальні, тимчасові, короткочасні) та ін.

Виробничий пил

Досить поширений небезпечний та шкідливий виробничий чинник. Від пилу потерпають робітники гірничодобувної промисловості, машинобудування, металургії, текстильної промисловості, сільського господарства і т. ін. Залежно від походження пил може бути органічним (тваринний, рослинний, штучний), неорганічним (металевий, мінеральний) та змішаним.

Пил може чинити на людину фіброгенний вплив, через що у легенях спостерігається розростання сполучних тканин, що порушує нормальну будову та функцію органу. Шкідливість виробничого пилу зумовлена його здатністю викликати професійні захворювання легень, у першу чергу, пневмокониози.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| | | | | | | 75 |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | |

Уражаюча дія пилу, в основному, визначається його токсичністю та особливістю дії на організм людини, концентрацією, дисперсністю (розміром) частинок пилу, їх формою та твердістю, волокнистістю, питомою поверхнею та ін.

Необхідно враховувати, що у виробничих умовах працівники зазвичай зазнають одночасного впливу кількох шкідливих речовин, у тому числі й пилу.

При цьому їхня спільна дія може бути взаємопідсиленою, взаємопослабленою чи "незалежною". На дію шкідливих речовин впливають також інші шкідливі й небезпечні чинники. Наприклад, підвищена температура і вологість як і значне м'язове напруження, в більшості випадків підсилюють дію шкідливих речовин.

Суттєве значення мають індивідуальні особливості людини. З огляду на це для робітників, які працюють у шкідливих умовах, проводяться обов'язкові попередні (при прийнятті на роботу) та періодичні (1 раз на 3, 6, 12 та 24 міс, залежно від токсичності речовин) медичні огляди.

Гігієнічне нормування шкідливих речовин

Шкідливі речовини, що потрапили в організм людини, спричинюють порушення здоров'я лише в тому випадку, коли їхня кількість у повітрі перевищує граничну для кожної речовини величину. Під гранично допустимою концентрацією (ГДК) шкідливої речовини у повітрі робочої зони розуміють таку максимальну концентрацію даної речовини, яка при щоденній (крім вихідних днів) роботі протягом 8 год чи іншої тривалості (але не більше 40 год на тиждень) не призводить до зниження працездатності й захворювання в період трудової діяльності та у наступний період життя, а також не чинить несприятливого впливу на здоров'я нащадків.

Гранично допустима концентрація шкідливої речовини у повітрі робочої зони встановлюється для речовин, що здатні чинити шкідливий вплив на організм працюючих при інгаляційному надходженні.

За величиною ГДК у повітрі робочої зони шкідливі речовини поділяються на чотири класи безпеки (ДСТУ 2299-93):

- 1-й - речовини надзвичайно небезпечні, ГДК менше 0,1 мг/м³ (свинець, ртуть, озон та ін.);
- 2-й - речовини високонебезпечні, ГДК 0,1-1,0 мг/м³ (кислоти сірчана та соляна, хлор, фенол, їдкі луги та ін.);
- 3-й - речовини помірно небезпечні, ГДК 1,1-10,0 мг/м³ (вінілацетат, толуол, ксилол, спирт метиловий та ін.);
- 4-й - речовини малонебезпечні, ГДК понад 10,0 мг/м³ (аміак, бензин, ацетон, гас та ін.).

При вмісті в повітрі робочої зони кількох речовин односпрямованої дії необхідно дотримуватись наступної умови:

$$C_1/ГДК_1 + C_2/ГДК_2 + C_3/ГДК_3 + \dots + C_n/ГДК_n = 1 \quad (4.1)$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 76 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

де $C_1 C_2 C_3 \dots C_n$ – фактичні концентрації шкідливих речовин у повітрі, мг/м^3 ;

$\text{ГДК}_1 \text{ ГДК}_2 \text{ ГДК}_3 \dots + \text{ГДК}_n$ – гранично допустимі концентрації відповідних шкідливих речовин, мг/м^3

До шкідливих речовин односпрямованої дії належать шкідливі речовини, які є близькими за хімічною будовою та характером впливу на організм людини.

При одночасному вмісті в повітрі кількох шкідливих речовин, що не мають односпрямованої дії, ГДК залишаються такими самими, як і при їх ізольованій дії.

Для контролю концентрації шкідливих речовин у повітрі виробничих приміщень та робочих зон використовують наступні методи:

- експрес-метод, який ґрунтується на явищі колориметрії (зміні кольору індикаторного порошку в результаті дії відповідної шкідливої речовини) і дозволяє швидко та з достатньою точністю визначити концентрацію шкідливої речовини безпосередньо у робочій зоні. Для цього використовують газоаналізатори

- лабораторний метод, що полягає у відборі проб повітря з робочої зони і проведенні фізико-хімічного аналізу (хроматографічного, фотокolorиметричного та ін.) у лабораторних умовах. Цей метод дозволяє одержати точні результати, однак вимагає значного часу.

- метод неперервної автоматичної реєстрації вмісту в повітрі шкідливих хімічних речовин з використанням газоаналізаторів та газосигналізаторів.

Запиленість повітря можна визначити ваговим, електроіндукційним, фотометричним та іншими методами. Найчастіше використовують ваговий метод. Для цього зважують спеціальний фільтр до і після протягування через нього певного об'єму запиленого повітря, а потім вираховують вагу пилу в міліграмах на кубічний метр повітря.

Періодичність контролю стану повітряного середовища визначається класом небезпеки шкідливих речовин, їх кількістю, ступенем небезпеки ураження працюючих тощо. Контроль (вимірювання) може відбуватись неперервно, періодично протягом зміни, щоденно, щомісячно і т. ін. Неперервний контроль із сигналізацією (перевищення ГДК) повинен бути забезпечений, якщо в повітря виробничих приміщень можуть потрапити шкідливі речовини з гостроспрямованим механізмом дії

Методи боротьби зі шкідливими речовинами

До загальних заходів та засобів попередження забруднення повітряного середовища на виробництві та захисту працюючих належать:

- вилучення шкідливих речовин у технологічних процесах, заміна шкідливих речовин менш шкідливими і т. ін. Наприклад, свинцеві білила замінені на цинкові; метиловий спирт - іншими спиртами; органічні розчинники для знежирювання - мийними розчинами на основі води;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 77 |

- удосконалення технологічних процесів та устаткування (застосовування замкнених технологічних циклів, неперервних технологічних процесів, мокрих способів переробки пиломатеріалів тощо);
- автоматизація і дистанційне керування технологічними процесами, за яких можливий безпосередній контакт працюючих з шкідливими речовинами;
- герметизація виробничого устаткування, робота технологічного устаткування під розрідженням, локалізація шкідливих виділень за рахунок місцевої вентиляції, аспіраційних укриттів;
- нормальне функціонування систем опалення, загальнообмінної вентиляції, кондиціонування повітря, очищення викидів у атмосферу;
- попередні та періодичні медичні огляди робітників, які працюють у шкідливих умовах, профілактичне харчування, дотримання правил особистої гігієни;
- контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- використання засобів індивідуального захисту.

Вентиляція виробничих приміщень

Призначення та класифікація систем вентиляції

Одним з ефективних засобів нормалізації повітря у приміщенні є вентиляція.

Вентиляція - повітрообмін, завдяки якому забруднене повітря виводиться з приміщення, а замість нього вводиться свіже зовнішнє або очищене повітря.

Під вентиляцією виробничих приміщень розуміють сукупність заходів та засобів, призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам.

Основне завдання вентиляції - вилучити із приміщення забруднене, вологе або нагріте повітря та подати чисте і свіже.

Вентиляція класифікується за такими ознаками:

- за способом переміщення повітря - природна, штучна (механічна) і суміщена (природна та штучна одночасно);
- за напрямком потоку повітря - припливна, витяжна, припливно-витяжна;
- за місцем дії - загальнообмінна, місцева, комбінована;
- за призначенням - робоча, аварійна.

Припливна вентиляція слугує для подачі чистого повітря ззовні у приміщення. При витяжній вентиляції повітря вилучається з приміщення, а зовнішнє надходить через вікна, двері, нещільності будівельних конструкцій.

Припливно-витяжна вентиляція поєднує першу й другу.

Загальнообмінна вентиляція підтримує нормальне повітряне середовище у всьому об'ємі робочої зони виробничого приміщення (цеху). За допомогою

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 78 |

місцевої вентиляції шкідливі виділення вилучаються або розчиняються шляхом надходження чистого повітря безпосередньо у місцях їх утворення.

Комбінована вентиляція поєднує загальнообмінну та місцеву.

Аварійну вентиляцію влаштовують у тих виробничих приміщеннях, в яких можуть статися аварії з виділенням значної кількості шкідливостей, а також коли при виході з ладу робочої вентиляції в повітрі можуть утворюватись небезпечні для життя працівників або вибухонебезпечні концентрації. Аварійна вентиляція, як правило, проектується витяжною.

Природна вентиляція відбувається внаслідок теплового та вітрового напорів. Тепловий напір спричинений різницею температур, а значить, і густиною внутрішнього і зовнішнього повітря. Вітровий напір обумовлений тим, що при обдуванні вітром будівлі з її навітряної сторони утворюється підвищений тиск, а з підвітряної - розрідження

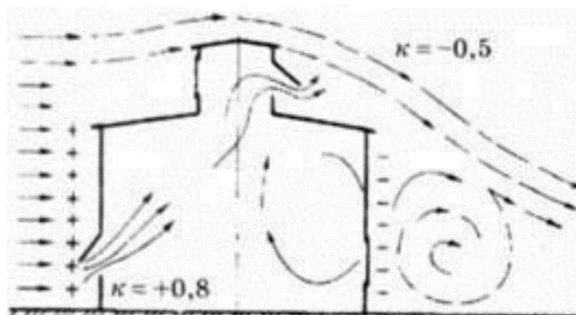


Рисунок 5.1 - Розподіл тиску повітря навколо будівлі при дії вітру

Природна вентиляція може бути неорганізованою і організованою. При неорганізованій вентиляції невідомі об'єми повітря, що надходять та вилучаються із приміщення, а власне повітрообмін залежить від випадкових чинників (напрямку та сили вітру, температури зовнішнього та внутрішнього повітря).

Неорганізована природна вентиляція включає інфільтрацію - просочування повітря через нещільності у вікнах, дверях, перекриттях тощо та провітрювання, що здійснюється при відкриванні вікон та кватирок.

Організована природна вентиляція називається аерацією. Для аерації в стінах будівлі роблять отвори для надходження зовнішнього повітря, а на даху чи у верхній частині будівлі встановлюють спеціальні пристрої (ліхтарі) для видалення відпрацьованого повітря. Для регулювання надходження та видалення повітря передбачено перекидання на необхідну величину аераційних отворів та ліхтарів. Це особливо важливо у холодну пору року.

У виробничих приміщеннях унаслідок надходження тепла від устаткування, нагрітих матеріалів та речовин, людей, температура повітря як в теплий, так і в холодний періоди року зазвичай вище температури зовнішнього повітря.

Перевагою природної вентиляції є її дешевизна та простота експлуатації. Основний її недолік у тому, що повітря надходить у приміщення без попереднього очищення, а видалене відпрацьоване повітря також не очищується і забруднює довкілля.

Висновок

В ході роботи по вхідним параметрам (подача сировини 2,75т/год вміст ацетону в сировині 24 %, в дистилаті 93% і в залишку 3%) було проведено розрахунок процесу ректифікації і ректифікаційної колони.

В процесі роботи отримані наступні результати:

| | |
|-----------------------------|----------|
| - число теоретичних тарілок | 14 |
| - число фактичних тарілок | 18 |
| - висота апарату | 14460 мм |
| - діаметр колони | 1000 мм |

Діаметри штуцерів:

| | |
|--------------------------------------|--------|
| - штуцер для вводу зрошення | 100 мм |
| - штуцер виводу пари з колони | 200 мм |
| - штуцер вводу пари із кип'ятильника | 300 мм |
| - штуцер для виводу залишку | 100 мм |
| - штуцер для подачі сировини | 100 мм |

Була вибрані наступні стандартні елементи:

- конструкція стандартної циліндричної опори типу 3 – з кільцевим опорним поясом за ОСТ26-467–78

- фланець 4-1000-0,3-10X17Н13М2Т ГОСТ ГОСТ 28759.3-90

фланець 5-1000-0,3-10X17Н13М2Т ГОСТ ГОСТ 28759.3-90

За розрахунками спроектована за вхідними даними конструкція задовільняє умові міцності (вибрана товщина стінок в апараті задовільняє умові міцності в робочих умовах і в умовах гідровипробувань), умові навантаження фланцевих з'єднань. Стійкість конструкції забезпечена.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 80 |

