

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему

Установка ректифікації суміші ацетон-вода продуктивністю 8,5 т/год по вихідній суміші з розробкою кип'ятильника

Листів – 90, ілюстрацій – 9, таблиць – 4, посилань – 21.

Об'єктом дослідження є кип'ятильник установки ректифікації суміші ацетон-вода продуктивністю 8,5 т/год.

Метою роботи є розробка кип'ятильника установки ректифікації суміші ацетон-вода продуктивністю 8,5 т/год.

Метод дослідження – теоретичний із застосуванням ЕОМ.

В результаті дослідження описано процес ректифікації суміші ацетон-вода продуктивністю 8,5 т/год, технологічна схема ректифікаційній установки та конструкція сітчастої колони і кип'ятильника. Наведено огляд літератури з перегонки рідини, апаратурного оформлення процесів перегонки рідини та огляд з конструкцій теплообмінного обладнання, дана стисла характеристика визначених процесів та обладнання (галузь застосування).

Ключові слова: перегонка рідини, теплообмінник, технологічна схема, сітчаста колона, кип'ятильник.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	5
Вступ.....	11
1. Аналітичний огляд	14
1.1 Перегонка рідини	14
1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини	17
1.3 Конструкція теплообмінного обладнання.....	19
2 Опис технологічної схеми та конструкції обладнання	21
2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони	21
2.2 Опис конструкції кип'ятильника.....	24
3. Конструкційні матеріали для виготовлення кип'ятильника	25
4 Визначення основних розмірів колони та кип'ятильника	26
4.1 Технологічні розрахунки колони	26
4.2 Теплові розрахунки кип'ятильника	44
5 Розрахунки на міцність елементів кип'ятильника	46
5.1 Вихідні дані	46
5.2 Розрахунки на міцність кип'ятильника.....	47
5.3 Розрахунки кожуха кип'ятильника	52
5.4 Визначення товщини трубних решіток.....	53
5.5 Визначення допоміжних величин.....	54
5.6 Розрахунки лінзового компенсатора	54
5.7 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість.....	58
6 Технологія виготовлення кип'ятильника.....	59
6.1 Виготовлення обичайок	59
6.2 Виготовлення еліптичних днищ	60
6.3 Встановлення штуцерів.....	60
6.4 Збирання і зварювання корпусу	62
6.5 Кріплення труб в трубних решітках.....	62
6.6 Розвальцьовування труб.....	62
6.7 Зварювання труб з трубними решітками	62
6.8 Збирання кип'ятильника	63
6.9 Випробування після виготовлення	63
7 Ремонт кип'ятильника.....	65
7.1 Планово-попереджувальні ремонти для теплообмінного обладнання.....	65
7.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту	67
7.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів	68

7.4 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки	70
8 Техніка безпеки	75
Висновки.....	88
Перелік джерел посилання	89

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

G_W – продуктивність по кубового залишку, кг/год;

G_p – продуктивність по дистилляту, кг/год;

G_F – продуктивність по вихідній суміші, кг/год;

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

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

a_W – масова концентрація низько киплячого компонента в кубовій остачі, % (мас.);

X – концентрація низько киплячого компонента А в бінарній суміші, мол. частки;

M_A, M_B – молярна маса компонента А и В (відповідно), кг/кмоль;

R_{min} – мінімальне флегмове число;

K_R – коефіцієнт надлишку флегми;

R – дійсне флегмове число;

X_{cp}^n – середня мольна концентрація низько киплячого компонента в нижній частині колони, % (мол.);

X_{cp}^e – середня мольна концентрація низько киплячого компонента у верхній частині колони, % (мол.);

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

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

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

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

t_{xf} – температура вихідної суміші, °С;

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

t_{xp} – температура дистилляту, °С;

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

t_{Xcp} – середня температура по колоні, °С;

M_{Xcp} – середня мольна маса, кг/кмоль;

ρ_{Xcp} – середня щільність рідкої фази, кг/м³;

ρ_A – щільність компонента А при температурі t_{Xcp} , кг/м³;

ρ_B – щільність компонента В при температурі t_{Xcp} , кг/м³;

μ_{Xcp} – середня в'язкість, Па · с;

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

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

σ_{Xcp} – середнє поверхове натяжіння, Н/м;

σ_A – поверхневий натяг компонента А, Н/м;

σ_B – поверхневий натяг компонента В, Н/м;

$D_{x(t)}$ – коефіцієнт дифузії при середній температурі, м²/с;

$D_{x(20)}$ – коефіцієнт дифузії при $t = 20$ °С, м²/с;

V_A – мольний об'єм компонента А, см³/моль;

V_B – мольний об'єм компонента В, см³/моль;

U'_{cp} – середня мольна концентрація низько киплячого компонента в нижній частині колони, %(мол.);

U^e_{cp} – середня мольна концентрація низько киплячого компонента у верхній частині колони, %(мол.);

U_W – мольна концентрація низько киплячого компонента в кубовому залишку, %(мол.);

U_F – мольна концентрація низько киплячого компонента у вихідній суміші, %(мол.);

U_P – мольна концентрація низько киплячого компонента в дистилаті, %(мол.);

U_{cp} – середня мольна концентрація низько киплячого компонента по колоні, %(мол.);

t_{Ycp} – середня температура по колоні, °С;

t^e_{Ycp} – середня температура у верхній частині колони, °С;

$t_{y\text{cp}}^H$ – середня температура в нижній частині колони, °С;

$M_{y\text{cp}}$ – середня мольна маса, кг/кмоль;

$\rho_{y\text{cp}}$ – середня щільність, кг/м³;

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

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

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

D_y – коефіцієнт дифузії для парової фази, м²/с;

D_k^H – діаметр колони в нижньому перерізі, м;

W_y – швидкість пару, м/с;

β_{yf} – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі, кмоль/(м²·с·кмоль/кмоль);

Pr' – дифузійний критерій Прандтля, рівний;

β_{yf} – коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі, кмоль/(м²·с·кмоль/кмоль);

Re_y – критерій Рейнольдса, який дорівнює;

$H_{\text{кол}}$ – висота колони, м;

n – число дійсних тарілок у колоні;

h – відстань між тарілками, м;

$H_{\text{сеп}}$ – висота сепараційної частини колони, м;

$H_{\text{куб}}$ – висота кубової частини колон, м;

ΔP_k – гідравлічний опір ректифікаційної колони, Па;

ΔP_m – гідравлічний опір тарілки, Па;

W_0 – швидкість пару в отворах тарілки, м/с;

ζ – коефіцієнт опору, що залежить від вільного перетину отворів;

d_0 – діаметр отворів, м;

$h_{\text{пер}}$ – висота переливу, м;

L – витрата рідкої фази, м³/год;

$l_{\text{сл}}$ – довжина зливного борту, м;

m – коефіцієнт витрати через перелив;

d – діаметр штуцера, м;

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

W_{ϕ} – швидкість руху потоку, м/с;

C_F' – питома теплоємність вихідної суміші, Дж/кг·К;

C_p' – питома теплоємність дистилляту при його середній температурі, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

C_w' – питома теплоємність кубового залишку при його середній температурі, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

$G_{z.n.}$ – продуктивність по вихідній суміші, кг/с;

r – питома теплота пароутворення;

F – поверхня теплообміну, м²;

Q – кількості тепла, передане від одного носія іншому, Вт;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

Δt_{cp} – середня різниця температур, °С;

Q_D – кількість тепла, що віддається охолоджувальній воді при конденсації парів у дефлегматорі, Вт;

G_{δ} – витрата охолодної води, кг/с;

r_p – питома теплота паротворення дистилляту, кДж/кг;

C_B – питома теплоємність води, Дж/кг · К;

t_k – кінцева температура охолодної води, °С;

t_n – початкова температура охолодної води, °С;

$t_{p \text{ кін}}$ – кінцева температура дистилляту після холодильника, °С;

Q_K – кількість тепла, яку треба подати в куб колони, Вт;

C_w – питома теплоємність кубового залишку, Дж/кг · К;

C_p – питома теплоємність дистилляту, Дж/кг · К;

C_F – питома теплоємність вихідної суміші, Дж/кг · К;

$[\sigma]^{20}, [\sigma]^t$ – допустима напруга при 20°С та розрахунковій температурі, відповідно, МПа;

t_k – розрахункова температура апарату, °С;

P_k – тиск у сосуді під час дії запобіжного клапана, МПа;

P_p – розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску, МПа;

- P_z – гідростатичний тиск, МПа;
 ρ_c – щільність середовища в апараті, кг/м³;
 g – прискорення вільного падіння, м/с²;
 H – висота середовища в апараті, м;
 P – розрахунковий тиск, МПа;
 P_{np} – пробний тиск, МПа;
 P_u – розрахунковий тиск в умовах випробування, МПа;
 ϕ – коефіцієнт міцності зварених швів;
 C – прибавка до розрахункової товщини, мм;
 C_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії, мм
 C_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску, мм
 C_3 – прибавка технологічна, мм;
 P – швидкість проникнення корозії, мм/рік;
 τ – термін служби апарата, років;
 C_3 – прибавка для компенсації ерозії, мм;
 S_p – розрахункова товщина стінки обичайки, мм;
 S – виконавча товщина стінки обичайки, мм;
 $[P]$ – допустимий внутрішній надлишковий тиск, МПа;
 S_{1p} – розрахункова товщина стінки днища, мм;
 S_1 – виконавча товщина стінки днища, мм;
 t_k – розрахункова температура апарата, °С;
 D – внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;
 D_e – діаметр окружності, уписаної в максимальну безтрубну зону, мм;
 D_0 – діаметр окружності, за границю якої не повинні виступати теплообмінні труби, мм;
 i – кількість труб у решітках, шт;
 d_n – зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора, мм;
 D_n – зовнішній діаметр гребеня хвилі компенсатора, мм;

E – модуль поздовжньої пружності, МПа;

n_n – коефіцієнт запасу міцності по числу циклів напруги;

n_σ – коефіцієнт запасу міцності по напругах;

N – число циклів напруги;

δ – катет звареного шва в місці приварки труби до решіток, мм;

L – виконавча довжина компенсатора, мм;

l_k – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, мм.

ВСТУП

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Процес ректифікації здійснюється в протivotочних апаратах-колонах: пари рідини, що переганяється, протікають знизу нагору, назустріч парам зверху вниз протікає рідина, що подавати у верхній елемент колони. Між рідкої й паровий фазами виникає масообмін, внаслідок якого пари в міру їх просування по колоні збагачуються легколетючим компонентом, а рідина – менш летучим компонентом. В остаточному підсумку пар, що виходить із верхньої частини колони, являє собою більш-менш чистий легколетучий компонент, конденсація якого дає готовий продукт-дистилят, а з нижньої частини колони впливає порівняно чистий менш летучий компонент, так званий кубовий залишок, який, так само, як і дистилят, може бути кінцевим продуктом перегонки.

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

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

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Перегонка рідини

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

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

Насадочні ректифікаційні колони широко поширені в різних галузях хімічної й харчової промисловості.

Насадочні ректифікаційні колони застосовуються головним чином невеликого діаметра (приблизно до 1 м), а також при ректифікації у вакуумі й для поділу хімічно агресивних речовин.

Насадочні ректифікаційні колони мають менше в порівнянні з тарілчастими колонами гідравлічний опір, що припадає на одну теоретичну тарілку. По цьому показникові вони цілком придатні для поділу сумішей під вакуумом.

Насадочна ректифікаційна колона являє собою циліндричний вертикальний апарат, заповнений по всій висоті або на окремих ділянках так званою насадкою - певних розмірів і конфігурації тілами з інертних матеріалів. Призначення насадки полягає в створенні великої поверхні контакту між стікаючою по ній рідиною потоком пару, що піднімається і інтенсивному перемішуванні їх. Особливістю контакту й масообміну в насадочній колоні є їхня безперервність на всій ділянці апарата, заповненому насадкою.

Насадочні ректифікаційні колони дотепер залишаються (поряд з тарілчастими колонами) основним типом колонних апаратів у всіляких галузях хімічної й нафтохімічної промисловості. При створенні відповідних гідродинамічних умов ефективність насадочних колон може бути досить високої, в порівнянні з ефективністю тарілчастих апаратів.

Насадочні ректифікаційні колони роблять у теперішній час порівняно рідко.

Насадочні ректифікаційні колони застосовують в основному в малотоннажних виробництвах і для вакуумної ректифікації. Насадки в порівнянні з тарілками мають більш низький гідравлічний опір. Застосовують насадки двох типів: насипні й регулярні.

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

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

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

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

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

Основні області промислового застосування ректифікації — одержання окремих фракцій і індивідуальних вуглеводнів з нафтової сировини в нафтопереробній і нафтохімічній промисловості, окисі етилену, акрилонітрилу, акрилхлорсиланів - у хімічній промисловості. Ректифікація

широко використовується й в інших галузях народного господарства: коксохімічної, лісохімічної, харчовий, хіміко-фармацевтичної промисловостях.

1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини

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

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

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

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

Гідродинамічні режими в насадочних колонах:

1) Плівковий режим – спостерігається при невеликих щільності зрошення на малих швидкостях газу. У цьому режимі відсутній вплив парового потоку на швидкість стекання рідкої плівки по насадці, і, отже, на кількість утримуваної в насадці рідини.

2) Режим підвисання (або гальмування) – підвищення швидкості пари приводить до загальмовування рідини газовим потоком, тобто швидкість плин плівки рідини зменшується. Отже, збільшується товщина плівки й кількість утримуваної рідини в насадці. У режимі підвисання зі збільшенням швидкості пари порушується спокійний плин плівки рідини, з'являються

завихрення, бризи, збільшується змочена поверхня насадки й, відповідно, інтенсивність процесу масопередавання.

3) Режим емульгування – виникає при ще більших швидкостях пари. У результаті відбувається нагромадження рідини у вільному об'ємі насадки доти, поки сила тертя між стікаючою рідиною, що піднімаються по колоні паром не зрівноважить силу ваги рідини, що перебуває в насадці. При цьому настає обіг, або інверсія, фаз (рідина стає суцільною фазою, а пара – дисперсною). Режим емульгування відповідає максимальній ефективності насадочних колон внаслідок збільшення площі контакту фаз. Однак, збільшення ефективності супроводжується різким збільшенням гідравлічного опору.

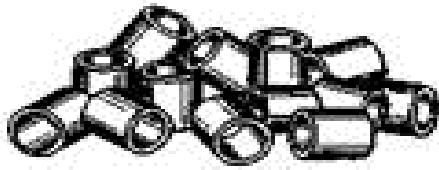
Для того, щоб насадка працювала ефективно, вона повинна задовольняти наступним вимогам:

- 1) більша поверхня в одиниці об'єму;
- 2) гарне змочування рідиною, що зрошує;
- 3) малий гідравлічний опір паровому потоку;
- 4) рівномірний розподіл рідиною, що зрошує;
- 5) стійкість до хімічного впливу поділюваної суміші;
- 6) мала питома вага;
- 7) висока механічна міцність;
- 8) невисока вартість.

У промисловості використовують велике число різноманітних за формою і розміром насадок, виготовлених з різних матеріалів (металу, кераміки, пластичних мас і ін.) (рисунок 1.1).

По способу розміщення насадки виділяють 2 групи: нерегулярна насадка – завантажують в апарат навалом; регулярна насадка – характеризується впорядкованим розташуванням елементів.

Нерегулярні насадки



Регулярні насадки

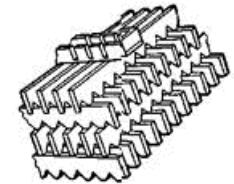
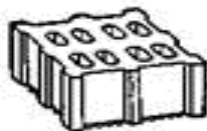


Рисунок 1.1 - Типи насадок

До основних переваг насадочних колон відноситься простота обладнання і низький гідравлічний опір, а до недоліків – складність підведення теплоти, погану змочування при низькій щільності зрошення, більші об'єми насадки внаслідок недостатньо високої її ефективності (в порівнянні з тарілчастими апаратами).

1.3 Конструкція теплообмінного обладнання

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

- конструкція апарату має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією терміну служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі і експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої поверхні), очищення, промивання, продування і ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої кресленням;
- застосування конкретного типорозміру апарату повинне забезпечувати передачу потрібної кількості тепла від одного середовища до іншого з отриманням необхідних кінцевих температур кожного робочого середовища при заданому рівні гідравлічних опорів.

Теплообмінні апарати класифікуються за такими основними ознаками:

- за конструкцією - апарати з поверхнею теплообміну, виготовлюваною з труб (кожухотрубчасті, “труба в трубі”, зрошувальні, повітряного охолодження, занурювальні змійовикові); апарати, поверхня теплообміну яких виконується з листового прокату (пластинчасті, спіральні) та апарати, що виготовляються з неметалевих матеріалів;
- за призначенням - теплообмінники, холодильники, конденсатори та випарники;
- за взаємним напрямом робочих середовищ - прямотечийні, протитечійні та змішаного току.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати класифікуються наступним чином:

- за призначенням - теплообмінники (Т), холодильники (Х), конденсатори (К) та випарники (И);
- за конструкцією - апарати з нерухомими трубними решітками (тип Н), температурним компенсатором на кожусі (тип К), з розширником на кожусі (з нерухомими трубними решітками і температурним компенсатором на кожусі), з плаваючою головкою (тип П), Ц-подібними трубами (тип У) та для підвищених тисків і температур (тип ГЖ);
- за розташуванням у просторі - вертикальні (В) і горизонтальні (Г);
- за числом ходів у трубному просторі - одноходові та багатоходові;
- за компонованням - одинарні та здвоєні;
- за матеріальним виконанням - основні вузли і деталі з вуглецевої, низьколегованої, корозійностійкої сталі, латуні та титану.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ

2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони

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

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

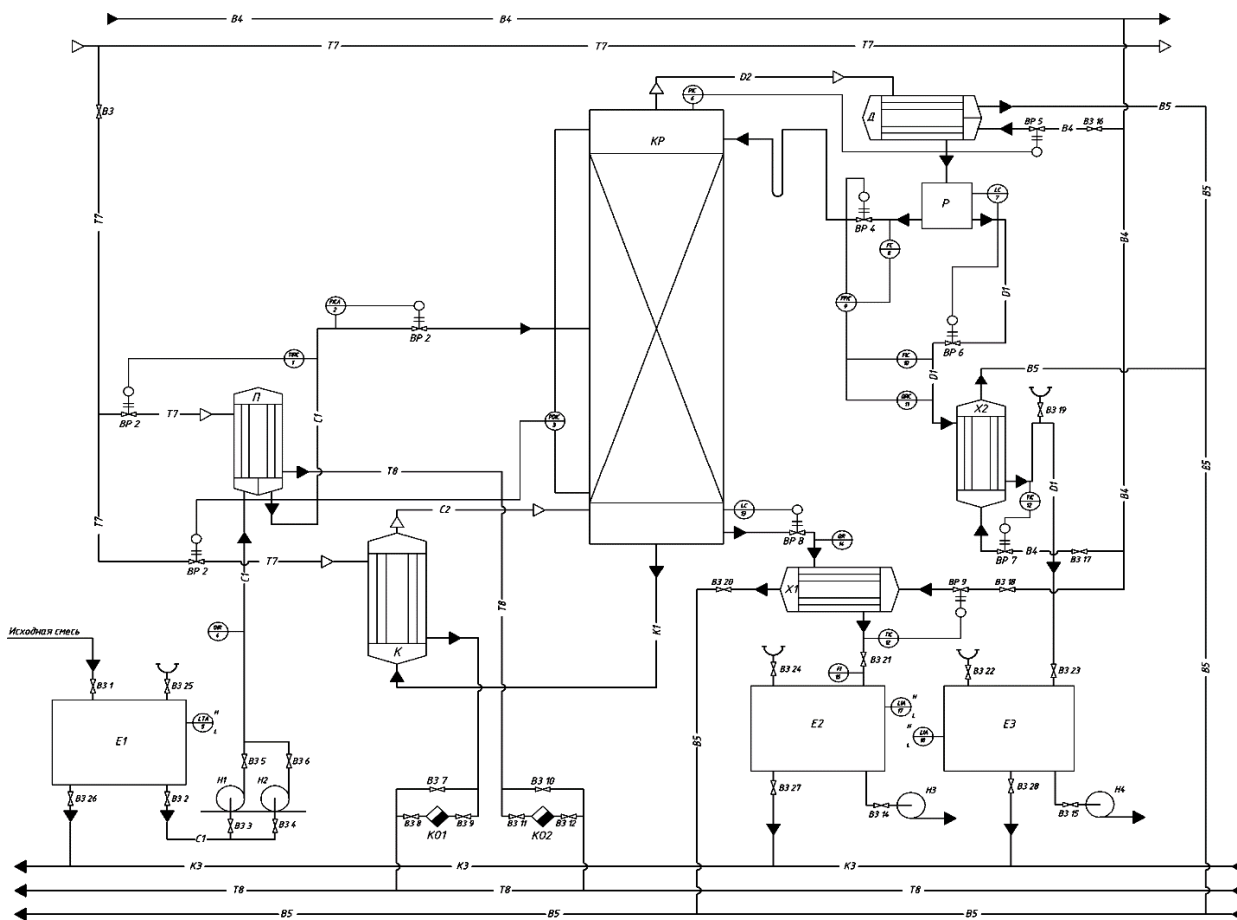


Рисунок 2.1 – Схема ректифікаційній установки

Установка працює наступним чином:

Вихідна суміш із проміжної ємності $E1$ відцентровими насосами $H1$ і $H2$ подається в теплообмінник Π , де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш надходить на розділення у середину ректифікаційної колони KP на тарілку живлення, де сполука рідини дорівнює сполуці вихідної суміші.

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з паром, що піднімається нагору та утворюються при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику K . Початкова сполука пари приблизно дорівнює сполуці кубового залишку, тобто збіднений легколетучим компонентом. У результаті масообміну з рідиною пар збагачується легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмовим числом рідиною (флегмою), одержуваною в дефлегматорі D шляхом конденсації пари, що виходить із колони. Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту поділу – дистилату, який проохолоджується в теплообміннику $X2$ і направляється в проміжну ємність $E3$.

З кубової частини колони насосом $H3$ безупинно виводиться кубова рідина – продукт, збагачений важколетучим компонентом, який проохолоджується в теплообміннику $X1$ і направляється в ємність $E2$.

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

Насадочна колона (рисунок 2.2) призначена для розділення суміші ацетон-вода продуктивністю 8,5 т/рік.

Насадочна колона (рисунок 2.2) являє собою колону I , заповнену насадкою 3 – твердими тілами різної форми. Насадка укладається на опорні решітки 4 з отворами. У цих колонах рідина тече по елементу насадки у вигляді тонкої плівки, а пара у вигляді суцільного потоку піднімається нагору через вільний об'єм насадки. Тому поверхнею контакту фаз є змочена поверхня насадки. Однак рівномірного розподілу рідини по всій висоті насадки по перетину колони

не досягається, що пояснюється пристеночним ефектом. Внаслідок цього рідина має тенденцію розтікатися від центральної частини колони до її стінок. Тому часто насадку в колону завантажують секціями, а між секціями встановлюють перерозподільники рідини 5 (рисунок 2.2 б).

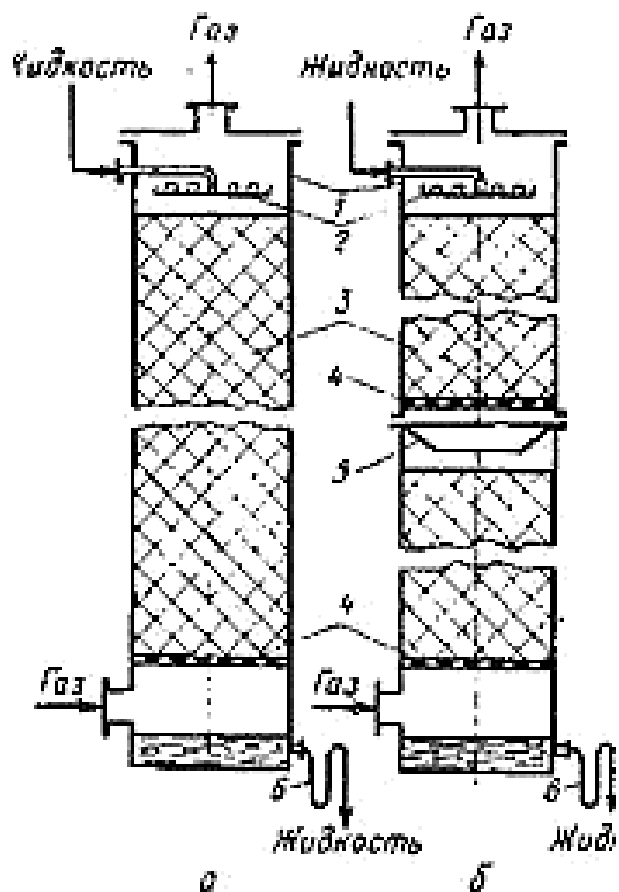


Рисунок 2.2 – Насадочна колона

2.2 Опис конструкції кип'ятильника

Кип'ятильник зображено на рисунку 2.3. Він призначений для підігріву кубового залишку, після чого він направляється в куб колони. Кип'ятильник являє собою кожухотрубчастий теплообмінник, у трубному просторі якого кубовий залишок, а в міжтрубному – пара. Однак питання про напрямок кубового залишку і пари усередину або зовні труб слід вирішувати в кожному конкретному випадку, враховуючи бажаність підвищення коефіцієнта теплопередачі й зручність очищення поверхні теплообміну.

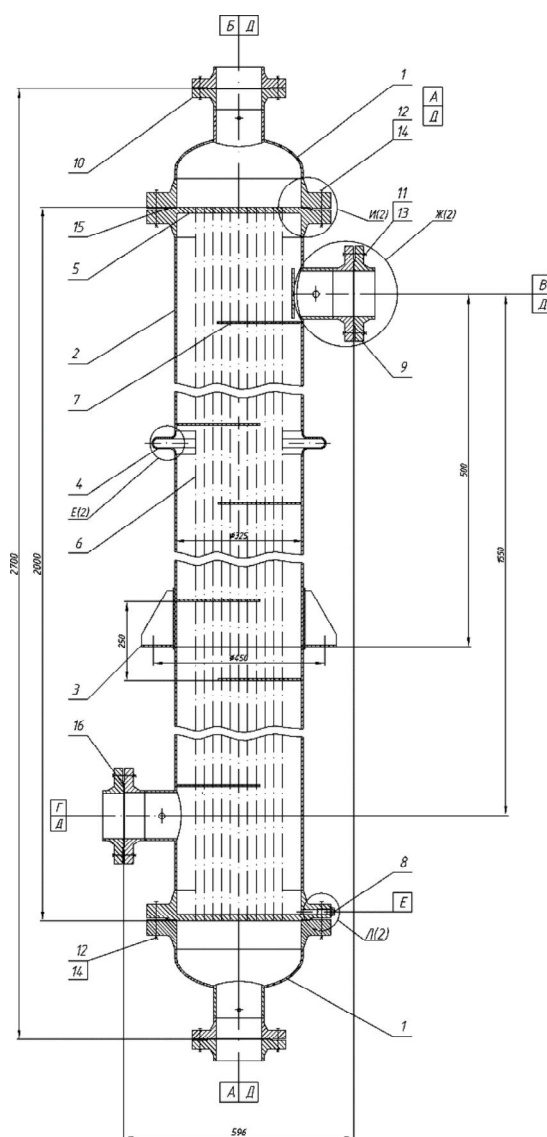


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат (кип'ятильник)

Кип'ятильник, як правило розташовують безпосередньо біля куба колони, щоб забезпечити більшу компактність установки.

3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КИП'ЯТИЛЬНИКА

Враховуючи широкий діапазон тисків та температур робочих середовищ, а також різноманітність їхніх властивостей, до сучасних теплообмінних апаратів пред'являються такі основні вимоги:

– конструкція апарата має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією строку служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі та експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої поверхні), очистки, промивки, продувки та ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої креслеником;

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

Основні елементи кожухотрубчатих теплообмінних апаратів: кожух (корпус), розподільна камера й трубний пучок. Останній складається із труб, трубних решіток і перегородок. Елементи сталевих кожухотрубчатих апаратів виготовляють зі сталі. Зі сталі можна виконувати й деякі елементи мідних (ГОСТ 11971-77) апаратів, наприклад кожух.

Для кожного типу сталевих кожухотрубчатих апаратів у залежності від їх призначення матеріали регламентовано відповідними ГОСТами.

Середа в кип'ятильнику не є корозійною, тому в якості конструкційного матеріалу для основних деталей апарата вибираємо сталь 09Г2С (ГОСТ 5520-79), що відрізняється помірною міцністю та використовується для виготовлення деталей хімічної апаратури при роботі в розчинах ацетону і води.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА КИП'ЯТИЛЬНИКА

4.1 Технологічні розрахунки колони

4.1.1 Вихідні дані:

Продуктивність по вихідній суміші – 8500 кг/год;

Концентрація НКК:

у вихідній суміші	$a_f = 66 \%$ (мас.)
у дистилляті	$a_p = 99 \%$ (мас.)
у кубовому залишку	$a_w = 12,2 \%$ (мас.)

Температура:

вихідної суміші	19 °С
дистилляту після холодильника	26 °С
кубового залишку після холодильника	27 °С
охолодної води	11 °С

Тиск насиченої водяної пари 5 ата

Коефіцієнт надлишку флегми 4,0

Колона працює під атмосферним тиском.

4.1.2 Визначення продуктивності по дистилляту й кубовому залишку

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо по формулі:

$$G_w = G_f \cdot \frac{\alpha_p - \alpha_f}{\alpha_p - \alpha_w}, \quad (4.1)$$

де G_f – продуктивність по вихідній суміші, кг/год;

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

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

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

$$G_W = 8500 \cdot \frac{0,99 - 0,66}{0,99 - 0,122} = 3232 \quad (\text{кг/ГОД})$$

Продуктивність колони по дистилляту визначаємо з рівняння:

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

де G_W – продуктивність по кубовому залишкові, кг/год;

G_P – продуктивність по дистилляту, кг/год;

G_F – продуктивність по вихідній суміші, кг/год.

$$G_P = 8500 - 3232 = 5268 \text{ кг/год}$$

Перевірка:

$$8500 \cdot 0,66 = 5268 \cdot 0,99 + 3232 \cdot 0,122$$

$$5610 = 5610$$

4.1.3 Визначення мінімального й дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні по формулі:

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

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

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

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

Молярні маси: ацетон – 58 кг/кмоль.

вода – 18 кг/кмоль.

Тоді концентрація вихідної суміші рівна:

$$X_F = \frac{\frac{0,66}{58}}{\frac{0,66}{58} + \frac{1-0,66}{18}} = 0,38$$

дистиляту:

$$X_p = \frac{\frac{0,99}{58}}{\frac{0,99}{58} + \frac{1-0,99}{18}} = 0,94$$

кубового залишку:

$$X_w = \frac{\frac{0,122}{58}}{\frac{0,122}{58} + \frac{1-0,122}{18}} = 0,04$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графоаналітичним способом. Для цього на підставі досвідчених даних, у координатах у-х будуємо криву рівноваги для суміші ацетон–вода при атмосферному тиску (рисунок 4.1) і криву температур кипіння й конденсації (рисунок 4.2).

Таблиця 4.1. Рівноважні дані для суміші ацетон–вода

Зміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °С
у рідині (x)	у парі (y)	
0	0	100
5	60,3	77,9
10	72	69,6
20	80,3	64,5
30	82,7	62,6
40	84,2	61,6
50	85,5	60,7
60	86,4	59,8
70	88,2	59
80	90,4	58,2
90	94,3	57,5
100	100	56,9

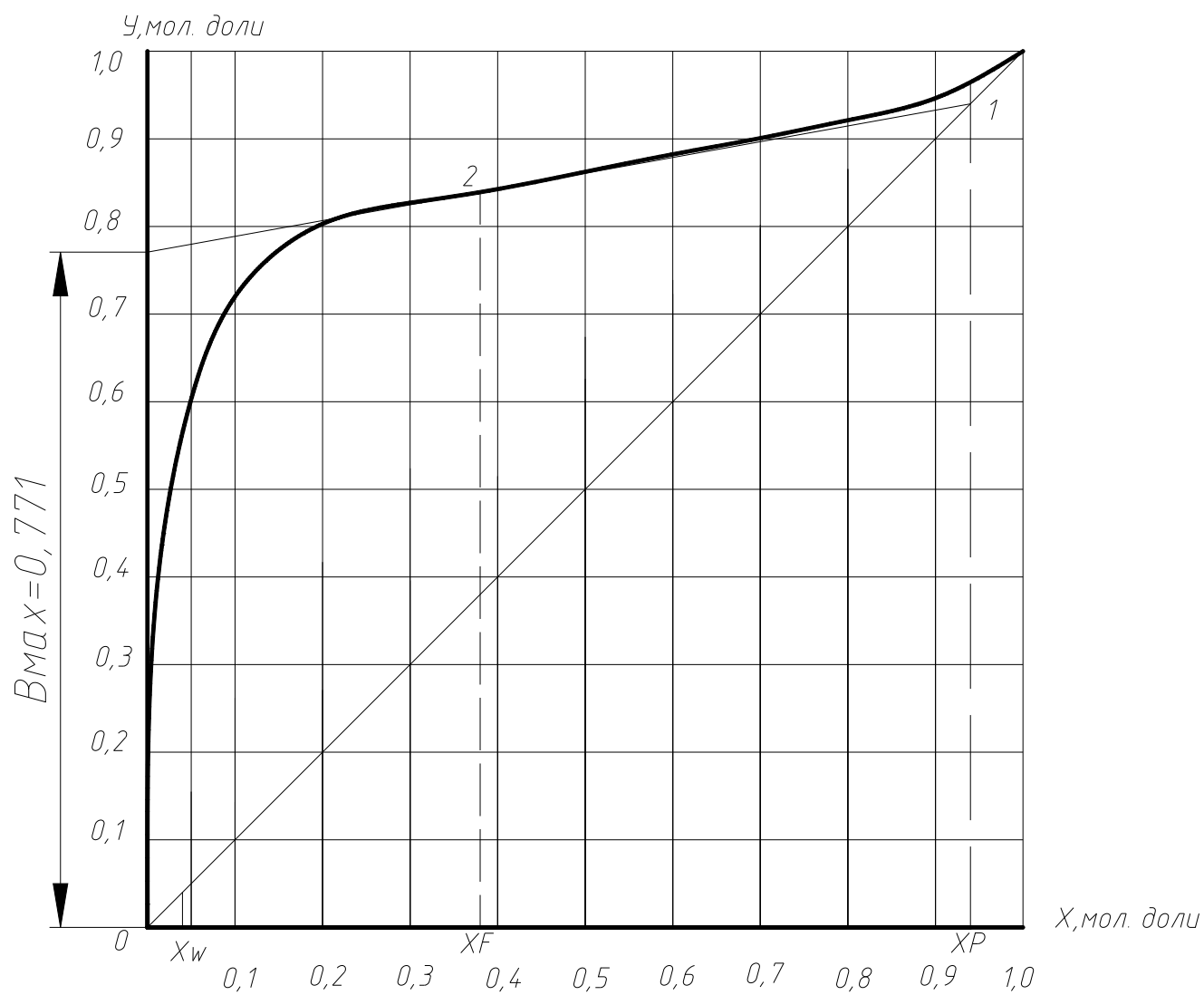


Рисунок 4.1 – До визначення мінімального флегмового числа

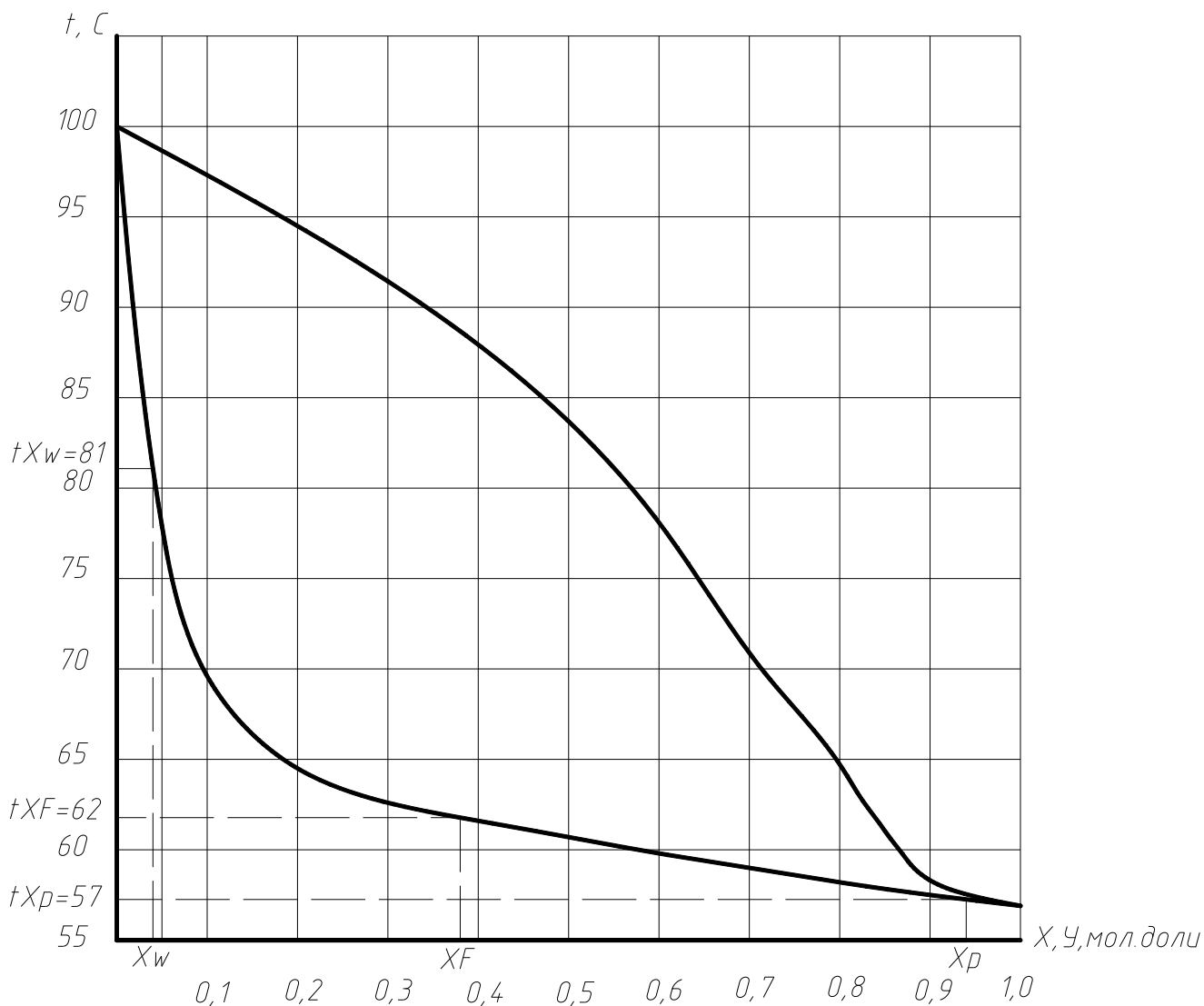


Рисунок 4.2 – Ізобара температур кипіння й конденсації

На діаграмі $y-x$ із точки 1 ($x_p = y_p$) через точку 2' (x_F, y_F^*) проводимо пряму лінію до перетинання з віссю y . Відрізок, що відтинається на осі y , позначимо через $B_{\max} = 0,771$. По величині цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число:

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

де R_{\min} – мінімальне флегмове число;

X_P - концентрація низькокиплячого компонента в дистилаті, %(мол.).

$$R_{\min} = \frac{0,94}{0,771} - 1 = 0,065$$

Дійсне флегмове число:

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

де R_{\min} – мінімальне флегмове число;

K_R – коефіцієнт надлишку флегми.

$$R = 4 \cdot 0,065 = 0,26$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа $R = 0,26$ (рисунок 4.1): для цього на осі у відкладаємо відрізок $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,94}{0,26+1} = 0,732$, кінець якого з'єднуємо прямою із крапкою 1 ($x_p = y_p$); крапку перетинання цієї прямої з вертикальною лінією, проведеної з абсциси x_F , позначимо крапкою 2 (x_F, y_F) і, нарешті, крапку 2 з'єднуємо із крапкою 3 ($x_w = y_w$). Лінії 1-2 і 2-3 є робочими лініями для верхньої й нижньої частин колони, відповідно.

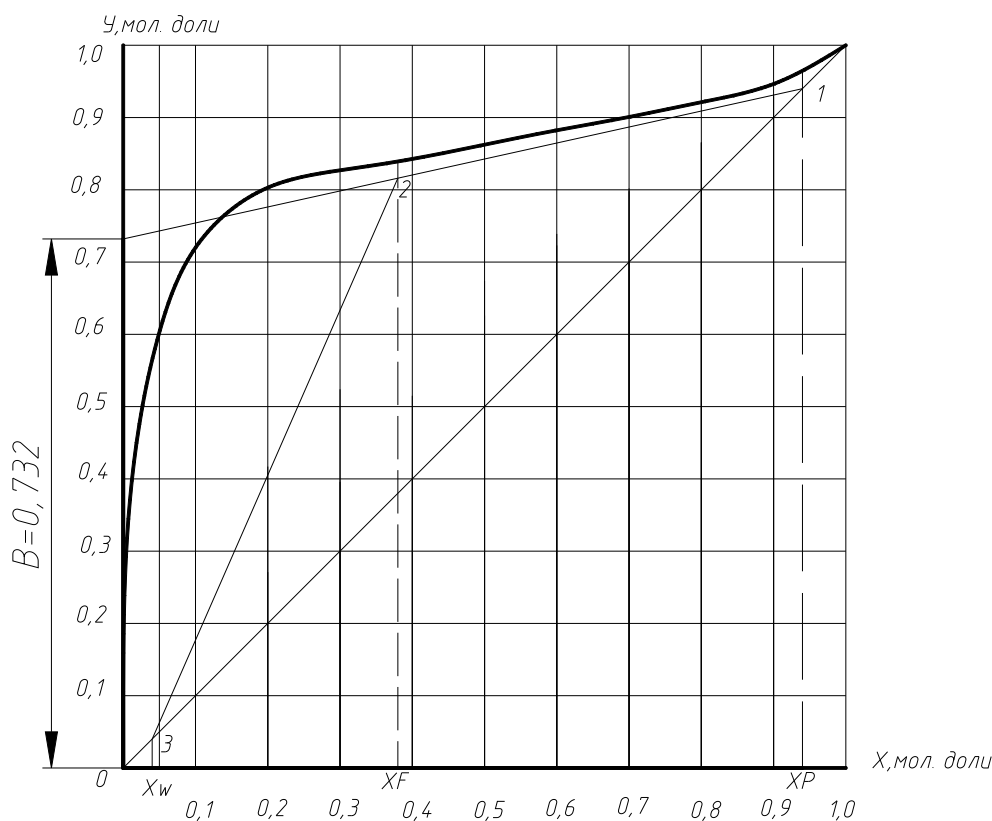


Рисунок 4.3 – Побудова кінетичної кривої (масштаб 1:1).

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

Рідка фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

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

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

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

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

$$X_{cp}^n = \frac{0,04 + 0,38}{2} = 0,21$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

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

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

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

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

$$X_{cp}^e = \frac{0,38 + 0,94}{2} = 0,66$$

Середня мольна концентрація по колоні:

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

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

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

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

$$X_{cp} = \frac{0,21 + 0,66}{2} = 0,435$$

Середня масова концентрація по колоні:

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

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

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

M_A – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

M_B – молярна маса компонента В, кг/кмоль.

$$a_{cp} = \frac{0,435 \cdot 58}{0,435 \cdot 58 + (1 - 0,435) \cdot 18} = 0,71$$

Середня температура в нижній частині колони:

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

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

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

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

$$t_{xcp}^H = \frac{81 + 62}{2} = 71,5 \text{ °С}$$

Середня температура у верхній частині колони:

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

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

t_{XP} – температура дистилату, °С;

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

$$t_{x\text{cp}}^6 = \frac{62 + 57}{2} = 59,5^\circ\text{C}$$

Середня температура по колоні:

$$t_{X\text{cp}} = \frac{t_{x\text{cp}}^H + t_{x\text{cp}}^6}{2}, \quad (4.12)$$

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

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

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

$$t_{x\text{cp}} = \frac{71,5 + 59,5}{2} = 65,5^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

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

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

M_A – молярна маса компонента А, кг/кмоль ;

M_B – молярна маса компонента В, кг/кмоль .

$$M_{x\text{cp}} = 58 \cdot 0,435 + 18 \cdot (1 - 0,435) = 35,4 \text{ кг/кмоль.}$$

Середня щільність визначається по формулі:

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

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

ρ_A – щільність компонента А при температурі $t_{X\text{cp}}$, кг/м^3 ;

ρ_B – щільність компонента В при температурі $t_{X\text{cp}}$, кг/м^3 ;

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

$$\rho_A = 740 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_{X\text{cp}} = 65,5^\circ\text{C};$$

$$\rho_B = 980,5 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_{X\text{cp}} = 65,5^\circ\text{C}.$$

$$\rho_{x\text{cp}} = \frac{740 \cdot 980,5}{980,5 \cdot 0,71 + 740 \cdot (1 - 0,71)} = 796,7 \text{ кг/м}^3.$$

Середню в'язкість розраховуємо по рівнянню:

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

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

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

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

$$\mu_A = 0,22 \text{ МПа} \cdot \text{с при } t_{X_{cp}} = 65,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\mu_B = 0,441 \text{ МПа} \cdot \text{с при } t_{X_{cp}} = 65,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\lg \mu_{X_{cp}} = 0,435 \cdot \lg 0,22 + (1 - 0,435) \cdot \lg 0,441 = -0,487$$

$$\mu_{X_{cp}} = 0,33 \text{ МПа} \cdot \text{с} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Середній поверхневий натяг визначаємо по рівнянню:

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

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

σ_B – поверхневий натяг компонента В, Н/м;

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

$$\sigma_A = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м при } t_{X_{cp}} = 65,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\sigma_B = 65,3 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м при } t_{X_{cp}} = 65,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\sigma_{X_{cp}} = 18 \cdot 10^{-3} \cdot 0,435 + 65,3 \cdot 10^{-3} (1 - 0,435) = 44,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}.$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаємо:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

А, В – коефіцієнти, що залежать від властивостей компонентів, $A = 1,15$;

$B = 4,7$

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

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

$V_A = 14,8 + 6.3,7 + 7,4 = 74 \text{ см}^3/\text{моль}$;

$V_B = 18,9 \text{ см}^3/\text{моль}$.

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 2 \cdot \sqrt{1,005} \cdot (74^{1/3} + 18,9^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{58} + \frac{1}{18}} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$Dx_{(t)} = 1,0 \cdot 10^{-9} [1 + 0,02 (65,5 - 20)] = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Парова фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{cp}^n = \frac{y_W + y_F}{2}, \quad (4.19)$$

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

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

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

$$y_{cp}^n = \frac{0,04 + 0,82}{2} = 0,43$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{cp}^s = \frac{y_F + y_P}{2}, \quad (4.20)$$

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

y_P – мольна концентрація низькокиплячого компонента в дистилляті,

%(мол.);

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

$$Y_{cp}^e = \frac{0,82 + 0,94}{2} = 0,88$$

Середня мольна концентрація по колоні:

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

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

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

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

$$Y_{cp} = \frac{0,43 + 0,88}{2} = 0,655$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^H = 87 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^B = 59 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

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

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

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

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

$$t_{y_{cp}} = \frac{87 + 59}{2} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

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

де Y_{cp} – середня мольна концентрація низькокиплячого компонента по

колони, %(мол.);

M_A – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

M_B – молярна маса компонента В, кг/кмоль .

$$M_{y\text{cp}} = 58 \cdot 0,655 + 18 \cdot (1 - 0,655) = 44,2 \text{ кг/кмоль.}$$

Середня щільність:

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

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

$$\rho_{y\text{cp}} = \frac{44,2}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 70)} = 1,52 \text{ кг/м}^3.$$

Середня в'язкість:

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

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

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

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

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

M_A – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

M_B – молярна маса компонента В, кг/кмоль;

$M_{y\text{cp}}$ – середня мольна маса, кг/кмоль.

$$\mu_{yA} = 0,97 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с при } t_{y\text{cp}} = 70 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\mu_{yB} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с при } t_{y\text{cp}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\frac{44,2}{\mu_{y\text{cp}}} = \frac{0,655 \cdot 58}{0,97 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,655) \cdot 18}{1,2 \cdot 10^{-5}}$$

$$\mu_{y\text{cp}} = 0,997 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначаємо по рівнянню:

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

де P – тиск кгс/см² (тиск у колоні атмосферне);

$$T = 273 + t_{y \text{ ср}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 343^{3/2}}{1 \cdot (74^{1/3} + 18,9^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{58} + \frac{1}{18}} = 15,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

4.1.5 Визначення робочої швидкості пари й діаметра колони.

Тип колони – насадочна з керамічними кільцями Рашига $25 \times 25 \times 3$ мм, у яких вільний об'єм $\varepsilon = 0,74 \text{ м}^3 / \text{м}^3$, а питома поверхня $\sigma = 200 \text{ м}^2 / \text{м}^3$.

Швидкість пари визначаємо по формулі:

$$R_{ey} = 0,045 \cdot A_r^{0,57} \cdot \left(\frac{G_y}{G_x} \right)^{0,43} \quad (4.27)$$

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{\sigma} = \frac{4 \cdot 0,74}{200} = 0,0148 \text{ м}$$

$$A_r = \frac{g \cdot d_{\text{екв}}^3 \cdot (\rho_{\text{хсп}} - \rho_{\text{усп}}) \cdot \rho_{\text{усп}}}{\mu_{\text{усп}}^2}, \quad (4.28)$$

$$A_r = \frac{9,81 \cdot 0,0148^3 \cdot (796,7 - 1,52) \cdot 1,52}{(0,997 \cdot 10^{-5})^2} = 3,87 \cdot 10^8$$

Кількість пару:

$$G_y = G_p \cdot (R + 1) = 1,463 \cdot (0,26 + 1) = 1,63 \text{ кг} / \text{с} \quad (4.29)$$

Кількість рідини, що стікає у верхній частині колони:

$$G_x' = G_p \cdot R = 1,463 \cdot 0,26 = 0,34 \text{ кг} / \text{с} \quad (4.30)$$

Кількість рідини, що стікає в нижній частині колони:

$$G_x'' = G_p \cdot (R + F), \quad (4.31)$$

$$\text{де } F = \frac{G_F}{G_p} = \frac{2,361}{1,463} = 1,56$$

$$G_x'' = 1,463 \cdot (0,26 + 1,56) = 2,35$$

З рівняння (4.27) знаходимо оптимальну швидкість для верхнього й нижнього перетину колони.

Для верхнього перетину:

$$R_{ey}' = 0,045 \cdot (3,87 \cdot 10^8)^{0,57} \cdot \left(\frac{1,63}{0,34}\right)^{0,43} = 6933$$

З рівняння $R_{ey}' = \frac{4 \cdot W_{onm}^e \cdot \rho_{уср}}{\sigma \cdot \mu_{уср}}$ визначимо:

$$W_{onm}^e = \frac{R_{ey}' \cdot \sigma \cdot \mu_{уср}}{4 \cdot \rho_{уср}} = \frac{6933 \cdot 200 \cdot 0,997 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 1,52} = 2,27 \text{ м / с} \quad (4.32)$$

По знайденій W_{onm}^e знаходимо діаметр колони у верхньому перетині:

$$D_{\kappa}^e = \sqrt{\frac{V_y^e}{0,785 \cdot W_{onm}^e}}, \quad (4.33)$$

$$\text{де } V_y^e = \frac{G_y}{\rho_{уср}} = \frac{1,63}{1,52} = 1,07$$

$$D_{\kappa}^e = \sqrt{\frac{1,07}{0,785 \cdot 2,27}} = 0,78 \text{ м}$$

Для нижнього перетину:

$$R_{ey}'' = 0,045 \cdot (3,87 \cdot 10^8)^{0,57} \cdot \left(\frac{1,63}{2,35}\right)^{0,43} = 3019$$

Кількість пар у нижній частині колони знаходимо їхні відносини:

$$\frac{G_y}{M_a} = \frac{X}{M_g}, \quad (4.34)$$

$$X = \frac{G_y \cdot M_a}{M_g} = \frac{1,63 \cdot 58}{18} = 5,25 \text{ кг / с} \quad (4.35)$$

З рівняння $R_{ey}'' = \frac{4 \cdot W_{onm}^n \cdot \rho_{уср}}{\sigma \cdot \mu_{уср}}$ визначаємо:

$$W_{onm}^n = \frac{3019 \cdot 200 \cdot 0,997 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 1,52} = 0,99 \text{ м / с}$$

По знайденій W_{onm}^n знаходимо діаметр колони в нижньому перетині:

$$D_{\kappa}^n = \sqrt{\frac{V_y^n}{0,785 \cdot W_{onm}^n}}, \quad (4.36)$$

$$\text{де } V_y^n = V_y^e \cdot \frac{M_g}{M_a} = 1,07 \cdot \frac{18}{58} = 0,33 \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$D_{\kappa}^n = \sqrt{\frac{0,33}{0,785 \cdot 0,99}} = 0,65 \text{ м.}$$

Ухвалюємо стандартний діаметр колони $D = 1,2 \text{ м.}$

Уточнюємо швидкість пари:

$$W_y^e = \frac{V_y^e}{0,785 \cdot D_{\kappa}^2} = \frac{1,07}{0,785 \cdot 1,2^2} = 0,95 \text{ м/с} \quad (4.37)$$

$$W_y^n = \frac{V_y^n}{0,785 \cdot D_{\kappa}^2} = \frac{0,33}{0,785 \cdot 1,2^2} = 0,3 \text{ м/с} \quad (4.38)$$

4.1.6 Визначення висоти шару насадки через ВЕП і ЧЕП

$$H_{нас} = ВЕП \cdot ЧЕП, \quad (4.39)$$

Висота одиниці переносу ВЕП:

$$ВЕП = 28,6 \cdot d_{экг} \cdot R_{ey}^{0,2} \cdot \left(R_{ry}' \right)^{0,65}, \quad (4.40)$$

Висота насадки:

$$H_{нас} = H_{в.ч.к.} + H_{н.ч.к.}, \quad (4.41)$$

де $H_{в.ч.к.}$ - висота насадки верхньої частини колони, м

$$H_{в.ч.к.} = ВЕП_{в.ч.к.} \cdot ЧЕП_{в.ч.к.}, \quad (4.42)$$

$H_{н.ч.к.}$ - висота насадки нижньої частини колони, м

$$H_{н.ч.к.} = ВЕП_{н.ч.к.} \cdot ЧЕП_{н.ч.к.}, \quad (4.43)$$

Для верхньої частини колони:

$$R_{ey} = \frac{4 \cdot W_y^e \cdot \rho_{yep}}{\sigma \cdot \mu_{yep}} = \frac{4 \cdot 0,95 \cdot 1,52}{200 \cdot 0,997 \cdot 10^{-5}} = 6403,$$

$$R_{ry}' = \frac{\mu_{yep}}{\rho_{yep} \cdot D_y} = \frac{0,997 \cdot 10^{-5}}{1,52 \cdot 1,57 \cdot 10^{-5}} = 0,42,$$

$$ВЕП_{в.ч.к.} = 28,6 \cdot 0,0148 \cdot 6403^{0,2} \cdot 0,42^{0,65} = 1,39 \text{ м}$$

Таблиця 4.2 – Для графічного інтегрування (визначення ЧЕП)

№	x	y*	y	y*-y	1/(y*-y)
1	0,04	0,56	0,04	0,520	1,92
2	0,1	0,72	0,177	0,543	1,84

№	x	y*	y	y*-y	1/(y*-y)
3	0,2	0,803	0,405	0,398	2,51
4	0,3	0,827	0,634	0,193	5,18
5	0,4	0,842	0,821	0,021	47,62
6	0,5	0,862	0,843	0,019	52,63
7	0,6	0,882	0,865	0,017	58,82
8	0,7	0,901	0,887	0,014	71,43
9	0,8	0,921	0,909	0,012	83,33
10	0,9	0,947	0,929	0,018	55,56
11	0,94	0,964	0,94	0,024	41,67

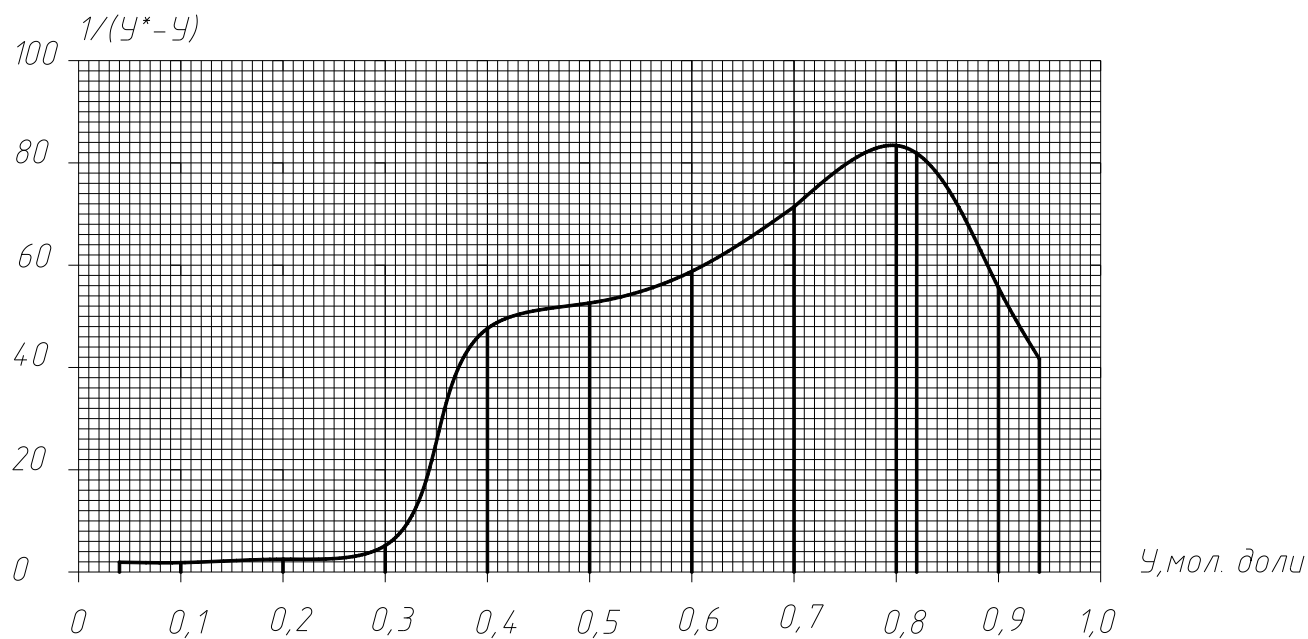


Рисунок 4.4 – До визначення числа одиниць переносу.

Число одиниць переносу верхньої частини колони $ЧЕП_{в.к.ч.}$ визначаємо із графіка (рисунок 4.4) у координатах $\frac{1}{y^* - y}$ як функцію "y" у межах $y_f - y_p$, де $y_f = 0,82$ й $y_p = 0,94$ (рисунок 4.3).

$$ЧЕП_{в.к.ч.} = M \cdot N = 0,02 \cdot 374 = 7,48$$

де M – масштаб;

N – число кліток.

Тоді висота верхньої частини колони:

$$H_{в.ч.к.} = 1,39 \cdot 7,48 = 10,4 \text{ м}$$

Для нижньої частини колони:

$$R_{ey} = \frac{4 \cdot W_y^n \cdot \rho_{yep}}{\sigma \cdot \mu_{yep}} = \frac{4 \cdot 0,3 \cdot 1,52}{200 \cdot 0,997 \cdot 10^{-5}} = 2012$$

$$P'_{ry} = \frac{\mu_{yep}}{\rho_{yep} \cdot D_y} = \frac{0,997 \cdot 10^{-5}}{1,52 \cdot 1,57 \cdot 10^{-5}} = 0,42$$

$$BEP_{н.ч.к.} = 28,6 \cdot 0,0148 \cdot 2012^{0,2} \cdot 0,42^{0,65} = 1,1 \text{ м}$$

Число одиниць переносу нижньої частини колони $ЧЕП_{н.ч.к.}$ визначаємо із графіка (рисунок 4.4) у координатах $\frac{1}{y^* - y}$ як функцію "у" у межах $y_w - y_f$, де $y_w = 0,04$ й $y_f = 0,82$ (рисунок 4.3).

$$ЧЕП_{в.ч.к.} = M \cdot N = 0,02 \cdot 1488 = 29,76$$

Висота нижньої частини колони:

$$H_{н.ч.к.} = 1,1 \cdot 29,76 = 32,7 \text{ м}$$

Висота шару насадки:

$$H_{нас} = H_{в.ч.к.} + H_{н.ч.к.} = 10,4 + 32,7 = 43,1 \text{ м}$$

Загальна висота ректифікаційної колони:

$$H_{кол} = h \cdot n + (n - 1) \cdot h_p + h_6 + h_H, \quad (4.44)$$

де $h = 3 \text{ м}$ - висота насадки в одній секції;

n - число секцій;

$$n = \frac{H_{нас}}{h} = \frac{43,1}{3} = 14,4$$

Ухвалюємо $n = 14$

$h_p = 0,15 \text{ м}$ - висота проміжків між секціями насадки, у яким установлюються розподільники рідини.

$h_6 = 1,0 \text{ м}$ - висота сепараційного простору над насадкою.

$h_n = 2,0 \text{ м}$ - відстань між днищем колони й насадкою.

$$H_{\text{кол}} = 3 \cdot 14 + (14 - 1) \cdot 0,15 + 1 + 2 = 47 \text{ м}$$

4.2 Теплові розрахунки кип'ятильника

Кількість теплоти Q_K , яке треба подати в куб колони, визначається з рівняння теплового балансу колони:

$$Q_K = (Q_D + G_P \cdot C_P \cdot t_{X_P} + G_W \cdot C_W \cdot t_{X_W} - G_F \cdot C_F \cdot t_{X_F}) \cdot Q_{\text{пот}}, \quad (4.32)$$

де C_P – питома теплоємність дистиляту, Дж/кг · К;

C_F – питома теплоємність вихідної суміші, Дж/кг · К;

Q_D – кількість тепла, що віддається охолодній воді при конденсації пар у дефлегматорі, Вт;

Q_K – теплові втрати, які ухвалюємо 3% від корисно затрачуваної теплоти, Вт.

Питомі теплоємності взяті відповідно при $t_{X_P}=57^\circ\text{C}$, $t_{X_F}=59,6^\circ\text{C}$, $t_{X_W}=81^\circ\text{C}$.

Питома теплоємність дистиляту рівна:

$$\begin{aligned} C_P &= a_p \cdot C_A + (1 - a_p) \cdot C_B = 0,99 \cdot 0,547 + (1 - 0,99) \cdot 1,0 = \\ &= 0,565 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2368 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \end{aligned}$$

Питома теплоємність вихідної суміші рівна:

$$\begin{aligned} C_F &= a_F \cdot C_A + (1 - a_F) \cdot C_B = 0,66 \cdot 0,55 + (1 - 0,66) \cdot 1,0 = \\ &= 0,808 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 3386 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \end{aligned}$$

Питома теплоємність кубового залишку рівна:

$$\begin{aligned} C_W &= a_W \cdot C_A + (1 - a_W) \cdot C_B = 0,122 \cdot 0,568 + (1 - 0,122) \cdot 1,0 = \\ &= 0,992 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 4158 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \end{aligned}$$

Таким чином, кількість тепла, яку треба подати в куб колони складе:

$$\begin{aligned} Q_K &= 1,03 \cdot (3498439 + 1,463 \cdot 2368 \cdot 57 + 0,898 \cdot 4158 \cdot 81 - \\ &- 2,361 \cdot 3386 \cdot 59,6) = 3614334 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Витрата пари, що гріє, при $P = 5,0 \text{ кгс/см}^2$:

$$G_{\text{с.п}} = \frac{Q_{\kappa}}{r} = \frac{3614334}{2117 \cdot 10^3} = 1,7 \text{ кг/с}$$

Середня різниця температур дорівнює різниці між температурою насиченого пари при $P = 5,0 \text{ кгс/см}^2$ і температурою кипіння кубового залишку:

$$\Delta t_{\text{cp}} = 151,1 - 81 = 70,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При орієнтовно прийнятому коефіцієнті теплопередачі $K=2000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, [6,с.47], поверхня кип'ятильника складе:

$$F = \frac{Q_{\kappa}}{K \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{3614334}{2000 \cdot 70,1} = 15,6 \text{ м}^2$$

Ухвалюємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 400 мм;
- труба 25x2 мм;
- кількість труб у теплообміннику 111 шт;
- довжина труб 2 м;
- поверхня теплообміну 17,0 м².

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КИП'ЯТИЛЬНИКА

5.1 Вихідні дані

Тип апарата — теплообмінник ТКВ, ТУ 3612-024-00220302-02

Діаметр кожуха D , мм	400
Довжина теплообмінних труб l , мм	2000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби d_m , мм	25
Товщина стінки труби S_m , мм	2
Число ходів по трубах	1
Розрахунковий тиск у трубному просторі, МПа	1,0
Розрахунковий тиск у міжтрубном просторі, МПа	1,0
Розрахункова температура труб, °С	110
Розрахункова температура кожуха, °С	150
Матеріал кожуха, розподільної камери, кришки	09Г2С
Матеріал трубних решіток	09Г2С
Матеріал теплообмінних труб	10Г2
Матеріал прокладки кожуха	пароніт
Матеріал прокладки розподільної камери	пароніт
Середовище в трубному просторі	Вибухопожежонебезпечне, 4 класу небезпеки
Середовище в міжтрубном просторі	Вибухопожежобезпечне, 4 класу небезпеки

Теплообмінник 400 ТКВ-1,0-М17/25-2-2-У ТУ 3612-024-00220302-02

5.2 Розрахунки на міцність теплообмінника

Розрахункова температура

Розрахункова температура розподільної камери:

$$t_{кам} = 2 t_m - t_k \quad (5.1)$$

$$t_{кам} = 2 \cdot 110 - 150 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункова температура ізолюваних фланців:

$$t_\phi = t_k \quad (5.2)$$

де t_k – розрахункова температура апарата, $^\circ\text{C}$.

Розрахункову температуру ізолюваних апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери теплообмінника приймаємо рівній температурі розподільної камери, тобто $t_\phi = t_{кам} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Розрахункову температуру ізолюваних фланців штуцерів кожуха ухвалюємо рівній температурі середовища міжтрубного простору, тобто

$$t_\phi = t_k = 150 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів ізолюваних фланцевих з'єднань:

$$t_\delta = 0,97 \cdot t \quad (5.3)$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань корпусів і фланців штуцерів розподільної камери дорівнює

$$t_\delta = 0,97 \cdot t_{кам} = 0,97 \cdot 70 = 67,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

$$t_\delta = 0,97 \cdot t_k = 0,97 \cdot 150 = 145,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Допустиме напруження.

Допустимі напруження при розрахунковій температурі $[\sigma]$ і при температурі 20°C $[\sigma]_{20}$, МПа, для матеріалів елементів апарата наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Допустимі напруження матеріалів елементів теплообмінника.

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напруження, МПа		Відношення допустимих напружень, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20 °С, $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі,	
Кожух	09Г2С	196	171	1,146
Трубні решітки	09Г2С	196	176	1,114
Труби	10Г2	180	159	1,132
Фланці апаратні	09Г2С	196	176	1,114
Фланці штуцерів трубного простору	09Г2С	196	176	1,114
Фланці штуцерів кожуха	09Г2С	196	171	1,146
Болти й гайки апаратних фланців і штуцерів трубного простору	35	130	127,5	1,02
Болти й гайки фланцевих з'єднань штуцерів кожуха	35	130	123	1,057

Пробний тиск, при якому проводиться випробування апарату, визначаємо по формулі:

$$P = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (5.4)$$

Відношення $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ ухвалюємо по тим з використаних матеріалів елементів кожної порожнини апарата, для яких воно є найменшим.

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружень $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,132$ пробний тиск становить

$$P_{np.m} = 1,25 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,132 = 1,42 \text{ МПа}$$

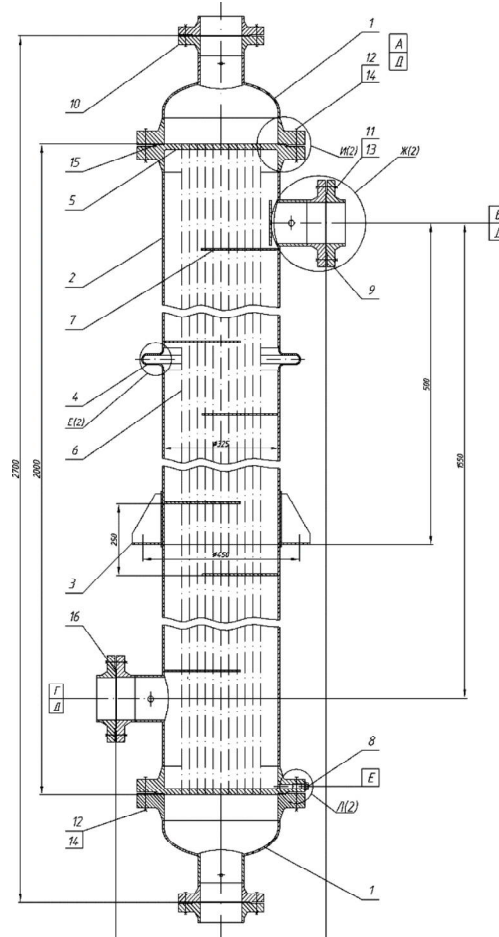


Рисунок 5.1 - Кожухотрубчастий теплообмінний апарат

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника становить

$$P_{г.тр} = \rho_e \cdot g \cdot H_T \cdot 10^{-6}, \quad (5.5)$$

де $H_T = 2,79$ м [13] - висота стовпа води в трубному просторі

$$P_{г.тр} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,79 \cdot 10^{-6} = 0,027 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{г.тр} = 0,027 \text{ МПа} < 0,05 P_{np.m} = 0,05 \cdot 1,42 = 0,071 \text{ МПа}$$

становить менш 5% від пробного, тому за розрахунковий тиск в умовах випробувань ухвалюємо пробне

$$P_{u.m} = P_{np.m} = 1,42 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{ump} = 1,42 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,132 = 1,53 \text{ МПа}$$

виконується, тому розрахунки елементів трубного простору в умовах гідравлічних випробувань проводити не потрібно.

Для міжтрубного простору (кожуха) при відношенні допустимих напружень $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,146$ пробний тиск становить:

$$P_{npk} = 1,25 \cdot P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (5.6)$$

$$P_{npk} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,146 = 1,43 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{zk} = \rho_g \cdot g \cdot H_k \cdot 10^{-6} \quad (5.7)$$

де $H_k = 2,0 \text{ м}$ [13]

$$P_{zk} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,0196 \text{ МПа}$$

$$P_{zk} = 0,0196 \text{ МПа} < 0,05 \cdot 1,43 = 0,0715 \text{ МПа}$$

$$P_{ук} = P_{npk} = 1,43 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{ук} = 1,43 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,146 = 1,55 \text{ МПа}$$

виконується, тому розрахунки елементів міжтрубного простору в умовах гідравлічних випробувань проводити не потрібно.

Коефіцієнти міцності зварених швів

Трубний простір теплообмінника по розрахунковому тискові, температурі і характеру робочого середовища відносяться до 1 групи судин, для яких довжина контрольованих швів становить не менш 100 % від їхньої загальної довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварених швів ухвалюємо рівним $\varphi_p = 1,0$ [14].

Міжтрубний простір теплообмінника по розрахунковому тискові, температурі і характеру робочого середовища відносяться до 1 групи судин, для яких довжина контрольованих швів становить не менш 100 % від їхньої загальної

довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварених швів ухвалюємо рівним $\varphi_p = 1,0$ [14].

Для стикових (кільцевих) швів, які доступні зварюванню лише з однієї сторони і мають у процесі зварювання металеву підкладку з боку кореня шва, яка прилягає по всій довжині шва до основного металу, при контрольованій довжині швів 100 %, коефіцієнт міцності зварених кільцевих швів кожуха ухвалюємо рівним $\varphi_m = 0,8$ [14].

Добавки до розрахункових величин

Суми добавок до розрахункових величин визначаємо по формулі:

$$C = C_1 + C_2, \quad (5.8)$$

де C_1 - добавка для компенсації корозії і ерозії, мм;

C_2 - добавка для компенсації мінусового допуску, мм.

Добавку для компенсації корозії і ерозії C_1 розраховуємо по формулі:

$$C_1 = P \cdot \tau + C_3, \quad (5.9)$$

де P - швидкість проникнення корозії;

$\tau = 10$ років - розрахунковий термін служби теплообмінника;

C_3 - добавка для компенсації ерозії, мм.

Добавку для компенсації ерозії не враховуємо, ухвалюючи, що теплообмінник працює із чистими рідкими середовищами (без твердих абразивних часток)

Швидкість проникнення корозії для матеріалу міжтрубного простору ухвалюємо $P_k = 0,1$ мм/рік, а трубного - $P_m = 0$ мм/рік.

Добавка для компенсації корозії становить:

- для труб з боку трубного і міжтрубного просторів

$$C_{1m} = 0 \text{ мм}$$

- для кожуха

$$C_{1k} = P_k \cdot \tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм}$$

Добавку для компенсації мінусового допуску C_2 , мм, ухвалюємо по стандарту [14].

5.3 Розрахунки кожуха кип'ятильника

Розрахункову товщину стінки кожуха від дії внутрішнього тиску визначаємо по формулі:

$$S_{pk} = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_p - P_k} \quad (5.10)$$

де P_k – розрахунковий тиск у міжтрубном просторі теплообмінника при розрахунковій температурі, МПа;

$D = 400$ мм - внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

φ_p - коефіцієнт міцності поздовжніх зварених швів.

$$S_{pk} = \frac{1 \cdot 400}{2 \cdot 171 \cdot 1 - 1} = 1,46 \text{ мм}$$

Відповідно стандарту [14] виконавчу товщину стінки кожуха ухвалюємо рівною $S_k = 4$ мм. Додаток для компенсації мінусового допуску для сталевих листів товщиною 4 мм становить $C_2 = 0,5$ мм. Додаток

$$C_2 = 0,5 \text{ мм} > 0,05 \cdot S_k = 0,05 \cdot 4 = 0,2 \text{ мм}$$

ураховуємо, так як вона перевищує 5 % від номінальної товщини листа. Сума додатків до розрахункової товщини стінки кожуха становить

$$C_k = C_{1k} + C_{2k} = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо по формулі:

$$S_k > S_{pk} + C_k \quad (5.11)$$

$$S_k = 1,46 + 1,5 = 2,96 \text{ мм.}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки кожуха рівної $S_k = 4$ мм.

Припустимий внутрішній надлишковий тиск у кожусі визначаємо по формулі:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (5.12)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 171 \cdot 1 \cdot (4 - 1,5)}{400 + (4 - 1,5)} = 1,45 \text{ МПа}$$

Умова міцності

$$P_k = 1,0 \text{ МПа} \leq [P]_k = 1,45 \text{ МПа} \text{ виконується.}$$

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{S-C}{D} = \frac{4-1,5}{400} = 0,0125 \leq 0,1$$

виконується.

5.4 Визначення товщини трубних решіток

Товщину трубних решіток ухвалюємо рівною 20 мм із наступною перевіркою на міцність і твердість.

Розрахунковий тиск визначаємо по формулі

$$P = \max\{|P_m|; |P_k|; |P_m - P_k|\} \quad (5.13)$$

$$P = \max\{1,0; 1,0; |1,0 - 1,0|\} = 1,0 \text{ МПа.}$$

Розрахункову товщину трубних решіток за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо по формулі:

$$S_{pp} = 0,5 \cdot D_e \sqrt{P / [\sigma]_p}, \quad (5.14)$$

де $D_e = 21,3 \text{ мм}$ [13] – діаметр окружності, уписаної в максимальну безтрубну зону, визначаємо конструктивно.

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 21,3 \sqrt{1/176} = 1,15 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину трубних решіток за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо по формулі

$$S_p > S_{pp} + C_p = 1,15 + 1,3 = 2,35 \text{ мм}$$

Ухвалюємо $S_p = 20 \text{ мм}$.

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначаємо по формулі

$$\phi_p = 1 - d_0 / t_p \quad (5.15)$$

$$\phi_p = 1 - 25,15 / 32 = 0,225$$

Розрахункову товщину трубних решіток у перерізі канавки під поздовжньою перегородку визначаємо по формулі

$$S_{np} = S_{pp} \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_n} \cdot \left(\frac{t_n}{t_p} - 1 \right)}; \sqrt{\phi_p} \right\} \quad (5.16)$$

$$S_{np} = 1,4 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{25,15}{8} \cdot \left(\frac{55,4}{32} - 1 \right)}; \sqrt{0,225} \right\} = 1,15 \cdot \max \{-0,35; 0,474\} = 0,65 \text{ мм}$$

Товщина трубних решіток у перерізі під поздовжною перегородку в розподільній камері повинен бути не менше

$$S_n > S_{np} + C_p = 0,65 + 1,3 = 1,95 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань ухвалюємо товщину трубних решіток у перерізі канавки під поздовжною перегородку в розподільній камері рівної 18 мм.

5.5 Визначення допоміжних величин

Значення коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів кожуха α_k і труб α_m ухвалюємо по [15]:

$$\alpha_k = 13,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C; \alpha_m = 13,1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$$

Різницю в подовженні кожуха й труб у робочих умовах, яку необхідно компенсувати визначаємо по формулі:

$$\Delta = l \cdot \left| \left[\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0) \right] \right| \quad (5.17)$$

$$\Delta = 2000 \cdot \left| \left[13,5 \cdot 10^{-6} \cdot (150 - 20) - 13,1 \cdot 10^{-6} \cdot (108 - 20) \right] \right| = 1,04 \text{ мм}$$

Визначаємо здатність, що компенсує, однієї лінзи компенсатора при загальному числі циклів навантаження $N = 10^3$, $\Delta_n = 5,5$ мм [13].

Необхідне число лінз у компенсаторі розраховуємо по формулі:

$$n_n = \frac{\Delta}{\Delta_n} = \frac{1,04}{5,5} = 0,19$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа, тобто $n_n = 1$.

5.6 Розрахунки лінзового компенсатора

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_n}{d_n} \leq 0,035; 1,08 \leq \frac{D_n}{d_n} \leq 3,00; \frac{2 \cdot r}{D_n - d_n} \leq 0,4 \quad (5.18)$$

$$\frac{S_n}{d_n} = \frac{3}{408} = 0,007 < 0,035;$$

$$1,08 < \frac{D_n}{d_n} = \frac{562}{408} = 1,377 < 3,00;$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_n - d_n} = \frac{2 \cdot 14}{562 - 408} = 0,18 < 0,4$$

виконуються.

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$d_1 = d_n - S_n \quad (5.19)$$

$$d_1 = 408 - 3 = 405 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_2 = D_n - S_n \quad (5.20)$$

$$d_2 = 562 - 3 = 559 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot r + S_n) \quad (5.21)$$

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot 14 + 3) = 16 \text{ мм}$$

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо по формулі:

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{r}{d_1 + d_2} \quad (5.22)$$

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{16}{405 + 559} = 0,52 \text{ мм}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$b_n = 0,5 \cdot (d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s) \quad (5.23)$$

$$b_n = 0,5 \cdot (559 - 405 + 0,52 \cdot 16) = 52,7 \text{ мм}$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$R_0 = 0,25 \cdot (d_2 + d_1 - 2 \cdot b_n) \quad (5.24)$$

$$R_0 = 0,25 \cdot (559 + 405 - 2 \cdot 52,7) = 132,4 \text{ мм}$$

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (d_2 + d_1) \quad (5.25)$$

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (559 + 405) = 482 \text{ мм}$$

Характеристики хвилі обчислюємо по формулах:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 \quad (5.26)$$

$$\xi = \frac{559}{405} - 1 = 0,3606$$

$$n = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot r_s} - 2 \quad (5.27)$$

$$n = \frac{559 - 405}{2 \cdot 16} - 2 = 1,031$$

$$\alpha = \frac{S_n}{d_1} \quad (5.28)$$

$$\alpha = \frac{3}{405} = 0,0074$$

$$\lambda = \frac{b_n}{R_0} \quad (5.29)$$

$$\lambda = \frac{52,7}{132,4} = 0,398$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 \cdot r_s}{d_2 - d_1} \quad (5.30)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{559}{405} - \frac{3,2 \cdot 16}{559 - 405} = 2,173$$

Розрахункову товщину S_3 , мм, розраховуємо по формулі:

$$S_3 = 0,25 \cdot (d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma_n]}} \quad (5.31)$$

$$S_3 = 0,25 \cdot (559 - 405 - 2,173 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1}{171}} = 1,62 \text{ мм}$$

Розрахункову товщину стінки компенсатора S_4 , мм, визначаємо по формулі:

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{cp}}{2 \cdot [\sigma]_n \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2 \cdot l_k + 2,3 \cdot r_s} \quad (5.32)$$

$$S_4 = \frac{1 \cdot 482}{2 \cdot 171 \cdot 1} \cdot \frac{72}{559 - 405 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,988 \text{ мм}$$

де $L = 72 \text{ мм}$ – виконавча довжина компенсатора [13];

$l_k = 5 \text{ мм}$ – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора [13].

Розрахункову товщину стінки компенсатора S_{sp} визначаємо по формулі:

$$S_{sp} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 \cdot \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} \quad (5.33)$$

$$S_{sp} = 0,988 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (1,62 / 0,988)^4}} = 1,78 \text{ мм}$$

Суму добавок до розрахункової товщини стінки лінзового компенсатора при її товщині $S_n = 3 \text{ мм}$ ухвалюємо рівної $0,22 \text{ мм}$ [14].

Виконавчу товщину стінки лінзового компенсатора розраховуємо по формулі:

$$S_n \geq S_{sp} + C_n = 1,78 + 0,22 = 2 \text{ мм}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки компенсатора рівної 3 мм

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_1 = 16 \cdot \left(\frac{S_n - C_n}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_n \quad (5.34)$$

$$[P]_1 = 16 \cdot \left(\frac{3 - 0,22}{559 - 405 - 2,173 \cdot 16} \right)^2 \cdot 171 = 6,22 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск $[P]_2$ визначаємо по формулі:

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma]_n \cdot \phi \cdot (S_n - C_n) \cdot d_2 - d_1 + 2 \cdot l_k + 2,3 \cdot r_s}{d_{cp} \cdot L} \quad (5.35)$$

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 171 \cdot 1 \cdot (3 - 0,22) \cdot 559 - 405 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{482 \cdot 72} = 5,18 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_n = \frac{[P]_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_1}{[P]_2} \right)^2}} \quad (5.36)$$

$$[P]_n = \frac{6,22}{\sqrt{1 + \left(\frac{6,22}{5,18} \right)^2}} = 2,98 \text{ МПа}$$

5.7 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість

Так як точні дані про числа циклів N_m і N_p відсутні, приймаємо

$$N_m = N_p = 0,5 N = 500.$$

Допустиму амплітуду інтенсивності напружин від розмаху тисків розраховуємо за формулою

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{A}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{0,66 \cdot R_m^{20} - 0,43 \cdot R_e^{20}}{n_\sigma} \quad (5.37)$$

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - 150}{2300} \cdot \frac{0,45 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 500}} + \frac{0,66 \cdot 470 - 0,43 \cdot 300}{2} = 902,3 \text{ МПа.}$$

Напружини від деформації розраховуємо за формулою

$$\sigma_\omega = \frac{E_n \cdot S_n}{n_n \cdot b_n^2} \cdot (2 + \lambda) \cdot \Delta \varpi \quad (5.38)$$

$$\sigma_\omega = \frac{186 \cdot 10^3 \cdot 3}{2 \cdot 52,7^2} \cdot (2 + 0,398) \cdot 1,04 = 120 \text{ МПа.}$$

Із деяким збільшенням у бік запасу міцності приймаємо $\Delta P = P$ і $[\Delta P] = [P]_n$

Напружину від тиску визначаємо за формулою

$$\sigma_p = 3[\sigma]_n \cdot \frac{\Delta P}{[\Delta P]} \quad (5.39)$$

$$\sigma_p = 3 \cdot 171 \cdot \frac{1}{2,98} = 317 \text{ МПа.}$$

Умова міцності $\frac{\sigma_\omega}{2[\sigma]_{a\omega}} + \frac{\sigma_p}{2[\sigma]_{ap}} = \frac{120}{2 \cdot 902,3} + \frac{317}{2 \cdot 902,3} = 0,24 < 1,0$ виконується

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КИП'ЯТИЛЬНИКА

6.1 Виготовлення обичайок

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

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

6.2 Виготовлення еліптичних днищ

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

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

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

6.3 Встановлення штуцерів

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

Отвори для установки штуцерів на обичайці й днищі розміщують на відстані від краю ближнього зварного шва до осі отворів на відстані не менш 0,9 діаметра отвору. Відстань між центрами двох сусідніх отворів у циліндричній обичайці по зовнішній поверхні повинне бути не менш 1,4 діаметри отвору або

1,4 напівсуми діаметрів отворів, якщо діаметри їх різні.

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

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

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

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

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

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

Патрубок прихоплюється й потім приварюється до фланця.

6.4 Збирання й зварювання корпусу

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

6.5 Кріплення труб в трубних решітках

Зовнішня поверхня кінців прямих теплообмінних труб (за винятком труб з корозійностійких сталей) має бути зачищена до чистого металу на довжину, рівну подвоєній товщині трубних грат плюс 20 мм. Довжина зачистки кінців П-образних труб повинна дорівнювати товщині решіток плюс 20мм. Зовнішній діаметр труби після зачищення не має бути менше величини для відповідного класу точності з'єднання.

6.6 Розвальцьовування труб

Інструмент, устаткування і технологія розвальцьовування труб розвальцьованих і комбінованих з'єднань, повинні відповідати вимогам галузевого стандарту.

Конусність внутрішньої поверхні труби після розвальцьовування не має бути більше 0,3 мм на довжині розвальцьовування. Гострі кромки в місці переходу від розвальцьовуваної частини труби до нерозвальцьовуваної, а також відшаровування і луцення металу на внутрішній поверхні труби не допускаються.

6.7 Зварювання труб з трубними решітками

Перед зварюванням труб з трубними решітками кінці труб, а також лицьову поверхню решіток і отвору в трубних решітках слід зачистити до чистого металу від іржі, грязі, масла і ретельно знежирити.

Діаметральний зазор між трубними решітками і трубою рекомендується не більше 0,3 мм. Для забезпечення цієї вимоги рекомендується конічне

розвальцьовування труби перед зварюванням до торкання зовнішньої поверхні труби з краєм трубного отвору.

6.8 Збирання кип'ятильника

Збирання теплообмінника необхідно проводити в такій послідовності:

- приєднати кришки;
- змонтувати фланцеві сполуки кришок та трубчатки;
- змонтувати трубопроводи входу та виходу продукту;
- заізолювати теплообмінника.

6.9 Випробування після виготовлення

Усе теплообмінні труби мають бути піддані гідравлічним випробуванням на підприємстві-виготовнику. При відсутності в сертифікатах даних про гідравлічні випробування підприємство-виготівник теплообмінних апаратів зобов'язано провести вибіркові гідравлічні випробування відповідно до вимог ГОСТ 3845-75 по 3 % труб від кожної партії, але не менше 5 труб. При отриманні незадовільних результатів хоча б однієї з труб проводять повторні випробування на подвійній кількості труб, взятих із тієї ж партії.

Результати повторних випробувань є остаточними. При отриманні незадовільних результатів повторних випробувань треба провести гідравлічні випробування усєї партії труб.

Гідравлічні випробування на міцність та герметичність кріплення труб в трубних решітках здійснюється пробним тиском, який визначається галузевим стандартом.

Якщо умовний тиск для кожуха менше умовного тиску для трубного простору, випробування герметичності здійснюється повітрям, гасом, галоїдами, гелієм, хладоном, аміаком тощо. Якщо товщина трубної решітки розрахована на перепад тиску між трубним та міжтрубним просторами, умови гідравлічного випробування та випробування на герметичність кріплення труб в трубних решітках повинні проводитись відповідно до вимог галузевого стандарту.

Зварний шов приварення трубної решітки до фланця та кожуха в апаратах з трубним пучком, який не витягається з кожуха, має бути перевірений

радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією по всій його довжині.

У випадку недоступності шва або окремих його ділянок для перевірки радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією метод контролю вибирається за РД 26-11-01-85.

Кожний перетік середовища в трубному просторі від одного кінця теплообмінника до другого є ходом. Змінюючи число ходів, можна змінювати швидкість руху середовища усередині труб.

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

Для гідровипробування теплообмінника застосовується вода з температурою не нижче $+5^{\circ}\text{C}$ і не вище $+40^{\circ}\text{C}$.

Тиск при випробуванні повинний контролюватися двома манометрами.

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

Мінімальну величину пробного тиску $P_{\text{пр}}$ при гідравлічному випробуванні кип'ятильника, а також трубопроводів в межах теплообмінника приймають:

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

де P – розрахунковий тиск, МПа

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

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

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

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

7 РЕМОНТ КИП'ЯТИЛЬНИКА

7.1 Планово-попереджувальні ремонти для теплообмінного обладнання

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

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

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

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

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

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

Сутність планово-періодичного ремонту полягає в тому, що ремонти всіх видів планують і виконують в строго встановлені ремонтними нормативами строки. Сутність ремонту по технічному стану (метод післяоглядових ремонтів) полягає в тому, що види й строки ремонту планують на основі відомостей про

технічний стан устаткування, отриманих при проведенні періодичного технічного обслуговування.

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

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

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

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

ПЗР обладнання проводять на основі ремонтних нормативів, певних для машин і устаткування різних типів. Ці нормативи визначають: міжремонтний період; тривалість простою в ремонті з розбивкою на підготовчий, ремонтний і заключний періоди (у годинах); трудомісткість ремонту (у осіб/год).

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

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

7.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту

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

Устаткування виводиться з роботи в плановому порядку обслуговуючим персоналом за вказівкою особи відповідального за його стан і безпечну експлуатацію. Потім його від'єднують від діючих трубопроводів і від іншого встаткування установкою заглушок. Заглушки встановлювані у фланцевих

розніманнях, виготовляють відповідно до вимог норм із пофарбованими в червоні кольори хвостовиками, із вказівкою привласнених номерів, D_y та P_y .

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

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

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

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

7.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів

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

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

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду й інших відкладень.

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

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

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

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

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

При ремонті корпусів використовують ручне електродугове зварювання, крім того може бути використане автоматичне й напівавтоматичне зварювання. Зварні шви, що виконуються при ремонті, повинні забезпечувати необхідну міцність і бути доступними для контролю. Їх розташовують поза опорою корпуса.

Перетинання зварних швів, що проводяться ручним електродуговим зварюванням не допускається.

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

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці заміняють новими.

7.4 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки

Основними способами кріплення труб до трубної решітки в трубчастих теплообмінних апаратах є розвальцьовування роликами і зварка у поєднанні з розвальцьовуванням. Аналіз виходу з ладу теплообмінників, виконаний ВНППТхімнафтоапаратури, показав, що від 14 до 25% відмов викликано порушенням герметичності вальцювальних з'єднань. Повзучість і релаксація при високих температурах порушують герметичність з'єднання, у зв'язку з чим при робочих температурах понад 450 °С для сталевих труб і понад 250 °С для труб з кольорових металів і сплавів необхідно застосовувати комбіноване кріплення (розвальцьовування і зварку). При деформації труби роликами виникає вельми високий місцевий контактний тиск, що викликає у ряді середовищ зниження корозійної стійкості в зоні вальцювального поясу в порівнянні з недеформованим металом труби, відшаровування і лущення металу труб (у цих випадках, якщо дозволяє робоча температура, успішно застосовують клеєвальцьовочні з'єднання), руйнування захисного покриття (для труб оцинкованих, алюмінізованих і ін.), що

призводить до необхідності розвальцьовування через тонкостінні проміжні втулки.

Зварку труб з трубними решітками застосовують в основному в теплообмінниках, що працюють при температурі вище 450°C і тиску більше 14,0МПа, у поєднанні з розвальцьовуванням, виконаним роликковим інструментом, а також імпульсними методами і ін. Таке комбіноване кріплення труб застосовують і при меншому тиску і температурах у випадках, коли до герметичності з'єднань пред'являють особливі вимоги, пов'язані з пожежо- або вибухонебезпекою, а також токсичністю або радіоактивністю робочого середовища.

Застосування зварки без додаткового розвальцьовування доцільно тільки для апаратів, у яких товщина трубних решіток менше зовнішнього діаметру теплообмінних труб.

Заміна труб в трубних решітках включає видалення дефектних труб, підготовку нових труб (різання в розмір і зачистку кінців під розвальцьовування або зварку), набивання їх в пучки і кріплення в решітках.

Труби видаляють найчастіше вручну з використанням облямовування. Для цього висвердлюють трубу приблизно на три довжини развальцьованої частини, зменшуючи при цьому товщину її стінки. Для тонких труб висвердлювання не обов'язкове. Після цього між трубою і внутрішньою поверхнею отвору решітки забивають спеціальне облямовування, яке деформує стінку труби. Ретельність в установці і роботі цим інструментом запобігає пошкодженню отвору трубних решіток. Потім облямовуванням трубу вибивають з трубних решіток.

Дефектні труби можна видаляти за допомогою спеціального устаткування, до складу якого входять портативна насосна станція, гідравлічний пістолет, електроімпульсний ключ, ручний ключ і комплект різьбових стрижнів. Насосна станція забезпечує тиск в системі до 70 МПа.

Труби видаляють в такій послідовності. Завальцьовану трубу відрізують на відстані 5—10 мм від внутрішньої поверхні трубних решіток. Перед видаленням дефектні труби доцільно відрізати з внутрішньої сторони трубних решіток. Потім стрижень з різьбленням за допомогою ручного або електричного ключа угвинчують в трубу, що підлягає видаленню, на стрижень надягають гідравлічний пістолет із змінним упором, що нагвинчується на його кінець; при цьому стрижень затискається і гідропістолет витягує трубу.

При ремонті часто необхідно відновити поверхні ущільнювачів трубних решіток і фланців, що мають пошкодження, наприклад, у наслідок корозії металу. Ці роботи можна виконувати, не відрізуючи фланці, спеціальним переносним пристроєм, розробленим ВНПТхімнафтоапаратури. Пристрій є зварною конструкцією, що містить корпус, яким він кріпиться на оброблюваному фланці, і план-шайбу із змонтованою на ній кареткою з резцедержателем.

Пристрій можна кріпити до фланців, розташованих у вертикальній і горизонтальній площині; універсальний затиск дозволяє кріпити його на фланцях різних зовнішніх діаметрів.

Ремонт вузла кріплення труб в трубних решітках полягає в усуненні розгерметизації цього вузла у наслідок корозії, дії циклічних і термоциклічних навантажень, релаксації напружин у вальцювальному з'єднанні і тому подібне.

Порушення герметичності може бути викликане розгерметизацією труби і вузла кріплення. У першому випадку текцію легко усунути установкою конічних пробок з обох боків дефектної труби. Такі пробки завдовжки 40—60 мм застосовують для герметизації труб зовнішнім діаметром 10—28 мм з вуглецевих і корозійно-стійких сталей, латуні, монеля. Для холодильників, конденсаторів і інших апаратів при робочій температурі середовища не вище 105°C рекомендуються пробки з фібри, що розбухає при контакті з водою і надійно ущільнює місце течії.

Застосування конічних пробок скорочує час простою установок. При плановому ремонті і заміні дефектних труб пробки видаляють і велику частину їх використовують повторно.

Течія в місцях кріплення труб в умовах експлуатації усувається зазвичай розвальцьовуванням, оскільки застосування зварки часто неможливе за умовами техніки безпеки. При розвальцьовуванні на робочих місцях (без демонтажу теплообмінника) використання звичайного устаткування нерідко утруднене великою висотою вертикально розташованих теплообмінників, обмеженістю об'єму закритих камер і тому подібне. В цих випадках застосовують розвальцьовочний інструмент з ручним приводом.

Развальцьовочний інструмент впливає на трубу і трубну решітку в процесі розвальцьовування. Найбільш точним і продуктивним методом контролю цього процесу в даний час є вимір і обмеження величини моменту, що крутить, на провідному елементі інструменту — хвостовику веретена.

Трьохроликівий розвальцьовочний інструмент з регульованою глибиною розвальцьовування набув в даний час найбільшого поширення як у нас, так і за рубежом. У пазах корпусу, що розташовані під кутом 120° один до іншого і під кутом α (де $\alpha=1^\circ30'—4^\circ30'$) до подовжньої осі інструменту, обертаються ролики, які утримуються від випадіння завальцьованими краями пазів. У середині корпусу обертається і переміщається в осьовому напрямі веретено з фіксуючою гайкою. Гвинт фіксує в корпусі положення підшипникового упору, що складається з нерухомої обойми, підшипника, стопорного кільця і різьбового упору, що обертається разом з корпусом. Глибину розвальцьовування регулюють перекриттям підшипниковим упором частини довжини роликів переміщенням по різьбленню упору.

У якості привіда використовують пневмо- і електродвигуни, а також (значно рідше) гідромотори. Передача зазвичай складається із знижуючого редуктора або коробки швидкостей, механізму реверсу (при використанні

нереверсивного двигуна) і пристрою для фіксації развальцьовочного інструменту. Все більшого поширення набувають передачі з проміжним валом (зазвичай – телескопічного типу) між інструментом і приводом.

8. Техніка безпеки

Заходи захисту від статичної електрики

Загальні положення Заходу щодо захисту від шкідливої і небезпечної дії статичної електрики відповідно до «Правил захисту від статичної електрики» повинні здійснюватися у всіх вибухо- і пожежонебезпечних приміщеннях і зонах зовнішніх установок.

Виникнення заряду статичної електрики відбувається при деформації, дробленні речовин, при терті переміщуваних тіл, що знаходяться в контакті, шарів рідких або сипких матеріалів, при інтенсивному перемішуванні, кристалізації, випарі речовин. Заходи, що забезпечують стікання виникаючого заряду:

- зниження інтенсивності генерації заряду статичної електрики; - відведення заряду шляхом зменшення питомого об'ємного і поверхневого електричного опору;
- відведення заряду шляхом заземлення устаткування і комунікацій;
- нейтралізація заряду шляхом використання різних засобів захисту від статичної електрики.

Заходи зниження інтенсивності виникнення заряду:

- усюди, де це технологічно можливо, горючі гази повинні очищатися від зважених рідких і твердих часток, рідини - від забруднення нерозчинними твердими і рідкими домішками;
- усюди, де цього не вимагає технологія виробництва, має бути виключене розбризкування, дроблення, розпиляло речовин;
- швидкість руху матеріалів в апаратах і магістралях не повинна перевищувати значень, передбачених проектом.

Заземлюючі пристрої для захисту від статичної електрики повинні виконуватися відповідно до вимог ПУЕ. Опір заземлюючого пристрою, призначеного виключно для захисту від статичної електрики, допускається не вище 100 Ом. Всі металеві і електропровідні неметалічні частини технологічного

устаткування мають бути заземлені незалежно від того, чи застосовуються інші заходи захисту від статичної електрики.

Металеve і електропровідне неметалічне устаткування, трубопроводи, вентиляційні короби і кожухи термоізоляції трубопроводів і апаратів, розташовані в цеху, а також на зовнішніх установках, естакадах і каналах, мають бути на всьому протязі безперервним електричним ланцюгом, який в межах цеху має бути приєднана до контури заземлення через кожних 40-50 м.

Для нейтралізації заряду у вибухонебезпечних приміщеннях всіх класів можуть застосовуватися радіоізотопні нейтралізатори, якщо їх вживання не заборонене іншими нормативними документами. Вибір необхідного типу радіоізотопних нейтралізаторів виробляється відповідно до галузевих методик і рекомендацій.

Якщо в трубопроводах і технологічній апаратурі, що містять рідкі продукти, унеможливлено утворення вибухонебезпечних концентрацій пароповітряних сумішей, швидкості транспортування рідин по трубопроводах і виділення їх в апарати не обмежуються. У останніх випадках швидкість необхідно обмежувати так, щоб щільність заряду, потенціал або напруженість поля в заповнюваному резервуарі (апараті) не перевершувала значення, при якому можлива поява іскрового розряду з енергією запалення 0,4 мінімальної енергії запалення довкілля.

Рідини повинні подаватися в апарати, резервуари, цистерни, тару повним перерізом труби так, щоб не допускати їх розбризкування, розпиляло. Наливши рідини вільно падаючим струменем не допускається. Відстань від кінця завантажувальної труби до дна приймальної судини не повинна перевищувати 200 мм, а якщо це неможливо, то струмінь має бути направлена уздовж стінки, запобігаючи розбризкуванню.

Заходи щодо електробезпеки

Електробезпека на виробництві забезпечується відповідною конструкцією електроустаткування.

Найбільш поширеними технічними засобами захисту є захисне заземлення та занулення.

Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою (ГОСТ 12.1.009-76). Захисного заземлення або занулення підлягають металеві частини електроустановок, доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку. Таким чином, електроустановки напругою до 42 В змінного і до ПЗ В постійного струму не вимагають захисного заземлення та занулення. за визнанням деяких випадків, спеціально застерігаються ПУЕ.

Для захисту виробничого персоналу від поразки електричним струмом при випадковому дотику до струмоведучих частин машин або при випадковому замиканні фази на встаткування, все воно повинне бути заземлене.

Пожежна безпека

Загальні вимоги

Відповідальність за пожежну безпеку (ПБ), цехів, установок, ділянок, лабораторій, складів і тому подібне покладається на керівників цих об'єктів.

Керівники цехів, установок, складів, інших виробничих об'єктів, а також служб підприємства зобов'язані:

- призначити наказом або розпорядженням відповідальних з числа ІТР за ПБ на кожній виробничій ділянці і в кожному приміщенні. Табличка з вказівкою прізвищу, ініціалів і посади відповідального за ПБ має бути вивішена на візуально доступному місці (зазвичай на зовнішній стороні дверей);

- не допускати виробництво робіт із застосуванням відкритого вогню на території підприємства без оформлення в установленому порядку вбрань-допусків на виконання вогневих робіт;

- не допускати те, що загрожує пожежних під'їздів до будівель, споруд і водо джерел, а також проходів, сходових кліток і підступів до пожежного устаткування;

- забезпечити справний вміст і постійну готовність до дії наявних засобів пожежегасінні, зв'язку і сигналізації;

- організувати вчення тих, що працюють по правилах ПБ (ППБ) і правилам поводження з устаткуванням і засобами пожежегасінні, системами зв'язку і сигналізації;

- вимагати від ІТР і робітників дотримання ППБ і прискіпки їх порушення;

- за наявності умов, явно загрозливих аварією або пожежею, негайно вивести з роботи устаткування, агрегат, апарат або ділянку трубопроводу і так далі, навіть якщо відключення вказаного устаткування приведе до часткової або повної зупинки виробництва;

- в разі виникнення пожежі або аварійної ситуації, негайно викликати підрозділ пожежної охорони об'єкту, до прибуття ПО організувати ліквідацію пожежі або аварії наявними силами і засобами.

Всі робітники і ІТР, що поступають на підприємство, а також особи прибулі на підприємство для проходження практики або виконання тимчасових робіт, повинні пройти інструктаж (ввідний) по пожежній безпеці, який поєднується з ввідним інструктажем по охороні праці. Інструктаж і вчення робітників на робочому місці перед допуском до самостійної роботи, подальші інструктажі і перевірка знань робітників по ППБ поєднуються з інструктажем, вченням і перевіркою знань по охороні праці.

Для поглибленого вивчення ППБ, а також детальнішого вивчення порядку використання систем сповіщення про пожежу і засобів пожежегасінні працівники, що виконують роботи на об'єктах підвищеної пожежної небезпеки, повинні проходити щорічне вчення за програмою пожежно-технічного мінімуму. Той, що кожен працює зобов'язаний чітко знати і дотримувати встановлені правила і інструкції ПБ, виконувати всі протипожежні заходи на своєму робочому місці, стежити за правильним вмістом пожежного устаткування закріпленого за робочим місцем або ділянкою. Уміти користуватися первинними засобами пожежегасінні.

Техніка безпеки при ремонті і експлуатації технологічного устаткування

Техніка безпеки вивчає загальні та спеціальні питання, що стосуються безпеки праці, і які відображені в правилах безпеки. Всі роботи з монтажу, демонтажу, ремонту та експлуатації складного технологічного устаткування, будівельно-монтажні роботи виконуються за проектами проведення робіт, що містять розділ з техніки безпеки, і за типовими інструкціями з охорони праці. На основі типових інструкцій підприємства, враховуючи місцеві особливості, розробляють інструкції з охорони праці, які погоджують у встановленому порядку.

Виконання робіт з підвищеною небезпекою обов'язково включає розробку організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки трудового процесу.

Підвищені вимоги з техніки безпеки ставляться як до деяких видів робіт, так і до окремих професій робітників, наприклад:

- газо- і електрозварники;
- монтажники;
- слюсарі з монтажу технологічного устаткування і пов'язаних з ним конструкцій;
- такелажники, стропальники, сигнальники на монтажі;
- машиністи кранів, механізмів і будівельно-дорожніх машин;
- працівники, що займаються обслуговуванням і ремонтом електроустановок, а також експлуатацією і ремонтом механічного і електрифікованого інструменту.

Ремонтно–монтажні роботи

При виконанні ремонтних робіт повинні строго дотримуватися:

- послідовність операцій і умови безпеки, визначувані планом ведення робіт;
- заходи щодо забезпечення безпеки, передбачені вбранням-допуском;
- вимоги правил і інструкцій по охороні праці.

Заступник начальника цеху, начальник установки, знаючи умови робіт на ремонтваному устаткуванні, зобов'язаний враховувати можливість появи на робочих місцях горючих або отруйних газів (виділення газів з каталізатора, футерування, шару нагару і тому подібне) і відповідно організувати безпеку ведення ремонтних робіт на всьому протязі ремонту, включаючи повторне узяття аналізів безпосередньо перед початком робіт і так далі, а також здійснювати систематичний контроль за поляганням повітряного середовища в час ремонту.

Допуск на проведення робіт

Організаційними заходами, що забезпечують безпеку робіт, є:

- оформлення роботи нарядом або розпорядженням;
- допуск до роботи;
 - нагляд під час роботи;
- оформлення перерв у роботі, переведення на інше робоче місце,
- закінчення роботи.

По наряді повинні здійснюватися ремонт, монтаж, налагодження, іспити, апаратури і пристроїв.

Розпорядженням є завдання на безпечне проведення роботи, що визначає зміст роботи, місце, час, заходи безпеки (якщо вони вимагаються) і осіб, яким доручене її виконання. Розпорядження може бути усним, письмовою або довільної форми, оформленим в оперативному журналі.

Розпорядження має разовий характер. Термін його дії залежить від тривалості робочої зміни виконавців.

Особи, відповідальні за безпеку робіт, їхні права й обов'язки.

Відповідальними за безпеку робіт є:

- особа, що видає наряд, що дає розпорядження;
- відповідальна особа оперативного персоналу - допускаючий;
- виконавець робіт;
- спостерігач;
- члени бригади.

Особа, що видає наряд, що дає розпорядження, установлює необхідність і обсяг роботи і відповідає за безпеку її виконання, достатність кваліфікації особи, що виконує обов'язки виконавця робіт чи спостерігача.

Право видачі нарядів надається особам персоналу, що уповноважені на це письмовим розпорядженням особи, відповідальної за підприємства

Відповідальна особа оперативного персоналу – несе відповідальність:

- за правильність виконання необхідних для допуску й проведення роботи мір безпеки, їхню достатність і відповідність характеру і місцеві роботи;
- за правильність допуску до роботи, приймання робочого місця після закінчення роботи з оформленням у нарядах або журналах.

Організація робочого місця

Перед допуском до виконання робіт на території цеху сторонньої організації начальник цеху повинен переконатися в наявності у підрядчика наступних обов'язкових документів:

- державній ліцензії на виконання спеціальних видів робіт (види діяльності вказані в ліцензії);
- дозволи Госгорпромнадзора на початок робіт;
- договори на виконувані роботи (вигляд робіт);
- наказу по підрядній організації з вказівкою керівника робіт і відповідальної за охорону праці при виконанні робіт;
- дозволу на початок робіт (може бути у формі листа з боку підрядчика з візою головного інженера або відповідного головного фахівця);
- акту-допуску (СНіП-4.80* п. 1.5) для виробництва робіт (оформляється начальником цеху, представником підрядчика з обов'язковою візою інспектора Госгорпромнадзора, в якому обмовляються заходи щодо забезпечення безпеки при проведенні робіт);
- наявність спеціальних посвідчень на право проведення робіт з підвищеною небезпекою зварювальника, стропальника і так далі). Перед початком робіт всі працівники сторонньої організації повинні отримати від

начальника цеху (начальника установки) інструктаж по заходах безпеки при знаходженні на території цеху (установки) і виконанні робіт з врахуванням специфіки цеху з відміткою в журналі інструктажів підрядних організацій (або журналі цільового інструктажу).

Ремонтні роботи на установках, що окремо стоять, в цехах, коли апаратура і комунікації повністю звільняються від робочого середовища, продуваються і отглушаються від внутрішньо цехових і міжцехових комунікацій (як правило, при проведенні капітального ремонту), що діють, виконуються без оформлення наряду-допуску на виробництво ремонтних робіт за наявності оформленого в (встановленому порядку Акту здачі об'єкту в ремонт і плану безпечного проведення ремонтних робіт, за виключенням наступних видів робіт підвищеної небезпеки:

вогневих робіт, газонебезпечних робіт, земляних робіт, робіт на висоті (робіт верхолазів), робіт по ремонту електроустановок, які проводяться по нарядах-допусках встановленої для цих видів робіт форми.

Наряд-допуск на ремонтні роботи оформляється в 2-х екземплярах начальником цеху (заступником начальника цеху або начальником установки) лише на одну бригаду і на весь період проведення робіт. Наряд-допуск повинні щодня подовжуватися начальником ремонтovanого об'єкту і відповідальним виконавцем робіт з відповідною відміткою в обох екземплярах наряду-допуску.

Перед початком робіт виконавці отримують інструктаж про заходи безпеки від відповідального за підготовку устаткування і відповідального виконавця робіт.

Під час інструктажу відповідальний за підготовку зобов'язаний розповісти робітникам сторонньої організації і ремонтних цехів про небезпеки і шкідливості, специфічних для даного об'єкту і робочого місця, про правила поведінки на території об'єкту.

Проведення роботи на висоті

- До робіт на висоті слід відносити всі роботи, які не можна виконувати стоячи на землі або стаціонарних майданчиках з обгороджуваннями і при

виконанні яких той, що працює знаходиться на відстані 1,3 м. і більш від поверхні ґрунту.

- До роботи на висоті допускаються особи, що досягли 18-ти років, мають медичний висновок про допуск до роботи на висоті, виучені виконанню робіт на висоті в ході підготовки по основній або суміжній професії що отримали цільовий інструктаж по заходах безпеки безпосередньо перед виконанням роботи на висоті.

На кожному підприємстві залежно від умов і особливостей виробництва затверджується наказом перелік робіт на висоті, що виконуються по вбранню-допуску. Роботи, не передбачені цим переліком, виконуються по розпорядженню осіб, яким дано право видачі вбрань і розпоряджень.

Наряд-допуск виписується в двох екземплярах, один з яких залишається у працівника, який його видав, другою передається відповідальному керівникові робіт. Наряд-допуск видається на термін, необхідний для виконання необхідного об'єму робіт, але не більше 15 календарних днів з дня початку роботи.

Роботи на висоті при неможливості і недоцільності пристрою лісів з обгороджуваннями робочих місць повинні вироблятися такими, що працюють в запобіжних поясах, які закріплюються за міцний елемент конструкцій. Місця безпечного закріплення мотузка або ланцюга мають бути вказані робітникам заздалегідь. Працювати в підвішеному перебуванні на ланцюзі запобіжного поясу забороняється.

Робота на висоті проводиться лише в денний час. У виняткових випадках (при терміновій необхідності заміни ламп, усуненні неполадок і тому подібне) дозволяється виробляти роботи на висоті в нічний час з дотриманням всіх правил безпеки і під контролем ІТР. У нічний час місце роботи має бути добре освітлене.

Проведення зварювальних і вогневих робіт

До вогневих робіт відносяться всі операції, зв'язані із застосуванням відкритого вогню, іскроутворюванням і нагріванням до температур, здатних викликати займання матеріалів і конструкцій (електро-газозварювальні роботи,

паяльні роботи, механічна обробка металу з виділенням іскри, розбиття бетонних споруд відбійними молотками і тому подібне).

Вогневі роботи на вибухонебезпечних, що діють, і вибухопожежебезпечних об'єктах допускаються у виняткових випадках, коли ці роботи неможливо проводити в спеціально відведених для цієї мети постійних місцях.

Перелік виробництв, цехів, ділянок і відділень, на території і в приміщеннях яких повинні проводитися вогневі роботи, визначається комісією в складі: начальника ВПЧ, командира ВГСО, заступників головного інженера по виробництву і по охороні праці і затверджується головним інженером підприємства.

Вогневі роботи на вибухонебезпечних і вибухопожежебезпечних об'єктах повинні проводитися лише в денний час, за винятком аварійних випадків, а також при проведенні капітальних ремонтів технологічних установок і виробництв з повним звільненням всіх апаратів і комунікацій від продуктів. На весь час проведення вогневих робіт в нічний час, а також на дві години після їх закінчення виставляється пост добровільної пожежної дружини; склад поста і конкретне завдання його членам оформляється розпорядженням по цеху.

Виконавцями вогневих робіт (газоелектрозварники, газорізальники, паяльщики і тому подібне) можуть бути особи, що склали іспити, що отримали кваліфікаційне посвідчення і талон про проходження пожежтехнімуму.

Технічними керівниками при проведенні вогневих робіт можуть бути призначені особи, що знають технологію вогневого різання металу, зварки, правила техніки безпеки, пожежної безпеки, і що отримали посвідчення.

При виконанні вогневих робіт ремонтними службами заводу, відповідальними технічними керівниками призначаються інженерно-технічні працівники цих служб; при виконанні робіт сторонніми організаціями відповідальних керівників (майстрів, виконробів, начальників ділянок) призначають керівники цих організацій.

Вогневі роботи підрозділяються на два етапи: підготовчий і безпосередньо проведення вогневих робіт.

Вогневі роботи можуть проводитися лише за наявності вбрання-допуску, підписаного головним інженером підприємства, заступником головного інженера по виробництву або начальником виробництва. У аварійних випадках наряд-допуск на проведення вогневих робіт може видаватися начальником цеху або особою його заміщає. В цьому випадку вогневі роботи повинні проводитися під безпосереднім керівництвом особи, що видала наряд-допуск на їх проведення з повідомленням керівництва заводу, служби охорони праці і пожежної охорони.

Проведення випробувань

Період випробувань для технологічного персоналу виробничого підрозділу включає підготовчі роботи і пусконаладжувальні роботи. Підготовчі роботи включають:

- перевірку готовності допоміжних систем і загальнозаводського господарства до проведення пусконаладжувальних робіт, у тому числі засобів зв'язку, сигналізації, пожежогасінні, засобів колективного і індивідуального захисту;

- участь в індивідуальних випробуваннях змонтованого устаткування.

Пусконаладжувальні роботи включають:

- роботи і операції, визначувані пусковою документацією і що проводяться після приймання об'єкту робочою комісією під комплексне випробування;

- комплексне випробування устаткування на інертних і робочих середовищах.

Проведення робіт, порядок і об'єм операцій повинні відповідати пусковій інструкції або програмам проведення операцій з обов'язковим дотриманням вимог по охороні праці, що містяться у вказаних документах. В процесі проведення робіт необхідно:

- при продуванні устаткування і трубопроводів, пов'язаної з винесенням грязі, окалини, грата з ділянок, що продуваються, забезпечити безпечний напрям скидання, застосовувати засоби захисту органів зору. Якщо продування ведеться

від технологічних компресорів, мають бути дотримані умови роботи компресора на повітрі (по тиску, температурі і тому подібне);

- при повузлової обкатці насосного і компресорного устаткування, поєднаній з продуванням і промиванням устаткування, включити в роботу системи мастила, охолодження, ущільнення, сигналізації, блокування. При обслуговуванні механізмів заправити одяг так, щоб вона не могла бути захоплена частинами, що оберталися;

- випробування системи на щільність проводити після проведення всіх операцій по підготовці системи до інертизації. Випробовувані контури, щоб уникнути аварії, відключити від контурів з низьким робочим тиском, а весь випробовуваний блок, установку, агрегат відключити заглушками від ділянок, що діють, вмонтованих і резервних.

Експлуатація технологічного обладнання

Технологічне обладнання, що нині використовується у виробничій діяльності, надзвичайно різноманітне за принципом дії, конструктивними особливостями, типами та габаритами. Однак не зважаючи на це існують деякі загальні вимоги, дотримання яких при конструюванні обладнання дозволяє забезпечувати вимоги безпеки при його експлуатації.

Нині існує дуже багато методів забезпечення безпеки технологічного обладнання, а з часом вони постійно будуть розширюватися й вдосконалюватися.

Методи забезпечення безпеки обладнання поділяються на загальні та часткові.

До загальних належить механізація і автоматизація технологічних процесів, дистанційне управління і спостереження, блокування і сигналізація, надійність і міцність конструктивного виконання.

До часткових методів належать захист обладнання від певної безпеки. Це може бути герметизація, екранування, теплоізоляція, звукоізоляція, амортизація, огороження, заземлення і т. ін.

Безпека технологічного обладнання забезпечується правильним вибором методів захисту. Крім цього безпека праці забезпечується:

- використанням у конструкціях спеціальних захисних засобів;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки у технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту і ін.

Конструктивні елементи технологічного обладнання не повинні мати гострих країв, кутів, нерівних, гарячих чи переохолоджених поверхонь.

Рухомі частини технологічного обладнання, а також пасові та ланцюгові передачі мають бути огороженні або захищенні іншим шляхом якщо огороження не допускається.

Огороження запобігає проникненню людини або частини її тіла у небезпечну зону. Огороджувальні пристрої мають різноманітне конструктивне виконання. Вони бувають стаціонарні, рухомі та переносні і такі, що не погіршують спостережень за роботою технологічного обладнання. Вони повинні мати гладку поверхню, бути пофарбованими в один колір з технологічним обладнанням і виконуватися відповідно до вимог стандартів.

ВИСНОВКИ

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

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

У ході виконання даного дипломної роботи було виконано конструктивний розрахунок проектованого апарату, в ході якого визначено основні розміри проектованої колони та кип'ятильника:

- 1) діаметр колони – 1200 мм;
- 2) висота колони – 47000 мм;
- 3) висота насадки – 43100 мм;
- 4) діаметр кип'ятильника – 400 мм;
- 5) діаметр трубок – 25x2 мм;
- 6) довжина трубок – 2000 мм;
- 7) кількість трубок – 111 шт;

Визначено діаметри штуцерів, підібрані стандартні конструктивні елементи.

Накреслені графічна частина: загальний вигляд кип'ятильника, технологічна схема ректифікаційної установки, збірні одиниці апаратів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
2. Методические указания к выполнению курсовой работы на тему “Расчет ректификационной установки непрерывного действия”. - Ильиных А. А., Носач В. А., Резанцев И. Р., 2005 – 90с.
3. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия. 1991. – 496с.
4. Доманский И. В., Исаков В. П. и др. Под общей редакцией Соколова В. Н. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
5. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справочник/Под редакцией Судакова Е. Н., 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 568 с.
6. Борисов Г. С., Брыков В. П., Дытнерский Ю. И. и др. Под ред. Дытнерского Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии, 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
7. Коган В.Б., Фридман В. М, Кафаров В. В. Равновесие между жидкостью и паром. Справочное пособие, книга 1-я и 2-я. – М.-Л.: Наука, 1966. – 640 с. + 786 с.
8. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
9. Романков П. Г., Курочкина М. И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу "Процессы и аппараты химической промышленности". – Л.: Химия, 1985. – 54 с.
10. Чернышев А. К., Коптелов В. Г., Листов В.В., Заичко Н. Д. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.
11. Дытнерский Ю. И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю. И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.
12. Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.

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

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

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

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

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

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

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

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

21. Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. Изд. 2-е пер. и доп. М., «Химия», 1975. 816 с.