

## РЕФЕРАТ

### Бакалаврська робота на тему

### **Установка ректифікації суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год по вихідній суміші з розробкою кип'ятильника**

Листів – 100, ілюстрацій – 12, таблиць – 3, посилань – 20.

Об'єктом дослідження є кип'ятильник установки ректифікації суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год.

Метою роботи є розробка кип'ятильника установки ректифікації суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год.

Метод дослідження – теоретичний із застосуванням ЕОМ.

В результаті дослідження описано процес ректифікації суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год., технологічна схема ректифікаційної установки та конструкція тарілчастої колони і кип'ятильника. Наведено огляд літератури з перегонки рідини, апаратурного оформлення процесів перегонки рідини та огляд з конструкції кип'ятильника, дана стисла характеристика визначених процесів та обладнання (галузь застосування).

Ключові слова: перегонка рідини, кип'ятильник, технологічна схема, тарілчаста колона, ректифікація.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	5
Вступ.....	10
1. Аналітичний огляд.....	17
1.1 Перегонка рідини.....	17
1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини.....	19
1.3 Конструкція кип'ятильника.....	21
2 Опис технологічної схеми та конструкції обладнання.....	23
2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони.....	23
2.2 Опис конструкції кип'ятильника.....	27
3. Конструкційні матеріали для виготовлення кип'ятильника.....	28
4 Визначення основних розмірів колони та кип'ятильника.....	29
4.1 Вихідні дані.....	29
4.2 Визначення продуктивності по дистиляту й кубовому залишку.....	29
4.3 Визначення мінімального й дійсного флегмового числа.....	30
4.4 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз.....	34
4.5 Визначення діаметра колони.....	41
4.6 Визначення висоти колони.....	43
4.7 Теплові розрахунки кип'ятильника.....	47
5 Аналіз впливу конструктивних особливостей контактних пристроїв на розміри колонного апарата.....	49
6 Розрахунки на міцність елементів кип'ятильника.....	53
6.1 Вихідні дані.....	53
6.2 Розрахунки на міцність кип'ятильника.....	54
6.3 Розрахунки кожуха кип'ятильника.....	60
6.4 Визначення товщини трубних решіток.....	61
6.5 Визначення допоміжних величин.....	62
6.6 Розрахунки лінзового компенсатора.....	65
6.7 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість.....	68
7 Технологія виготовлення кип'ятильника.....	70
7.1 Виготовлення обичайок.....	70
7.2 Виготовлення еліптичних днищ.....	71
7.3 Встановлення штуцерів.....	71
7.4 Збирання й зварювання корпусу.....	73
7.5 Кріплення труб в трубних решітках.....	73
7.6 Розвальцьовування труб.....	73

7.7 Зварювання труб з трубними решітками .....	74
7.8 Збирання теплообмінника.....	74
7.9 Випробування після виготовлення .....	74
8 Ремонт кип'ятильника.....	77
8.1 Планово-попереджувальні ремонти для теплообмінного обладнання.....	77
8.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту .....	79
8.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів .....	80
8.4 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки .....	82
9 Техніка безпеки .....	87
Висновки.....	98
Література.....	99

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$a_F$  – 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.);

$G_W$  – продуктивність по кубового залишку, кг/год;

$G_P$  – продуктивність по дистилляту, кг/год;

$G_F$  – продуктивність по вихідній суміші, кг/год;

$X$  – 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.);

$X_{cp}^o$  – 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;

$t_{xcp}^o$  – 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;  
 $\rho_{Xcp}$  – середня щільність рідкої фази, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_A$  – щільність компонента А при температурі  $t_{Xcp}$ , кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_B$  – щільність компонента В при температурі  $t_{Xcp}$ , кг/м<sup>3</sup>;  
 $\mu_{Xcp}$  – середня в'язкість, Па · с;  
 $\mu_A$  – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента А, Па · с;  
 $\mu_B$  – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента В, Па · с;  
 $\sigma_{Xcp}$  – середнє поверхове натяжіння, Н/м;  
 $\sigma_A$  – поверхневий натяг компонента А, Н/м;  
 $\sigma_B$  – поверхневий натяг компонента В, Н/м;  
 $D_{x(t)}$  – коефіцієнт дифузії при середній температурі, м<sup>2</sup>/с;  
 $D_{x(20)}$  – коефіцієнт дифузії при  $t = 20$  °С, м<sup>2</sup>/с;  
 $V_A$  – мольний об'єм компонента А, см<sup>3</sup>/моль;  
 $V_B$  – мольний об'єм компонента В, см<sup>3</sup>/моль;  
 $U^h_{cp}$  – середня мольна концентрація низько киплячого компонента в нижній частині колони, %(мол.);  
 $U^g_{cp}$  – 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;

$t_{y\text{cp}}^e$  – середня температура у верхній частині колони, °С;  
 $t_{y\text{cp}}^n$  – середня температура в нижній частині колони, °С;  
 $M_{y\text{cp}}$  – середня мольна маса, кг/кмоль;  
 $\rho_{y\text{cp}}$  – середня щільність, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\mu_{y\text{cp}}$  – середня в'язкість, Па·с;  
 $\mu_{yA}$  – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента А, Па·с;  
 $\mu_{yB}$  – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента В, Па·с;  
 $D_y$  – коефіцієнт дифузії для парової фази, м<sup>2</sup>/с;  
 $D_k^n$  – діаметр колони в нижньому перерізі, м;  
 $W_y$  – швидкість пару, м/с;  
 $\beta_{xf}$  – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі, кмоль/(м<sup>2</sup>·с·кмоль/кмоль);  
 $Pr'$  – дифузійний критерій Прандтля, рівний;  
 $\beta_{yf}$  – коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі, кмоль/(м<sup>2</sup>·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;  
 $H_{\text{сен}}$  – висота сепараційної частини колони, м;  
 $H_{\text{куб}}$  – висота кубової частини колон, м;  
 $\Delta P_k$  – гідравлічний опір ректифікаційної колони, Па;  
 $\Delta P_m$  – гідравлічний опір тарілки, Па;  
 $W_0$  – швидкість пару в отворах тарілки, м/с;  
 $\zeta$  – коефіцієнт опору, що залежить від вільного перетину отворів;  
 $d_0$  – діаметр отворів, м;  
 $h_{\text{пер}}$  – висота переливу, м;  
 $L$  – витрата рідкої фази, м<sup>3</sup>/год;  
 $l_{\text{сл}}$  – довжина зливного борту, м;  
 $m$  – коефіцієнт витрати через перелив;

$d$  – діаметр штуцера, м;  
 $V_{\phi}$  – об'ємна продуктивність потоку, м<sup>3</sup>/с;  
 $W_{\phi}$  – 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,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;  
 $G_F$  – продуктивність по вихідній суміші, кг/с;  
 $G_{z.n.}$  – продуктивність по вихідній суміші, кг/с;  
 $r$  – питома теплота пароутворення;  
 $F$  – поверхня теплообміну, м<sup>2</sup>;  
 $Q$  – кількості тепла, передане від одного носія іншому, Вт;  
 $K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>·К;  
 $\Delta t_{cp}$  – середня різниця температур, °С;  
 $Q_D$  – кількість тепла, що віддається охолоджувальній воді при конденсації парів у дефлегматорі, Вт;  
 $G_{\text{в}}$  – 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°C та розрахунковій температурі, відповідно, МПа;

$t_k$  – розрахункова температура апарату, °C;

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

$P_p$  – розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску, МПа;

$P_z$  – гідростатичний тиск, МПа;

$\rho_c$  – щільність середовища в апараті, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$H$  – висота середовища в апараті, м;

$P$  – розрахунковий тиск, МПа;

$P_{np}$  – пробний тиск, МПа;

$P_u$  – розрахунковий тиск в умовах випробування, МПа;

$\phi$  – 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;

$\tau$  – 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;



## ВСТУП

В даній бакалаврській роботі виконано дослідження шляхом розрахунку тарілчастої колони та кип'ятильника установки ректифікації суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год по вихідній суміші.

Актуальність теми. Проблема охорони навколишнього середовища та переробки виробничих відходів на сьогоднішній день є особливо актуальною.

В нафтопереробній та хімічній промисловості часто в вигляді відходів видаляються групи речовин, які негативно впливають на якість продукції. Обсяг цих речовин порівняно невеликий, але вони можуть являтися сировиною для одержання цінних цільових продуктів. При їх переробці виникає необхідність в їх зберіганні та подальшому транспортуванні.

Одним із шляхів вирішення поставленої задачі є установка дефлегматору для кращої тепловіддачі між дистилятом і охолоджувальною водою при умовному тиску в апараті 1 МПа ( $10 \text{ кг/см}^2$ ).

Ректифікація - розділення рідких однорідних сумішей на складові речовини або групи складових у результаті протиточного взаємодії парової суміші та рідкої суміші. При цьому пара безперервно збагачується низькокиплящим (легколетучим) компонентом, а рідина - висококиплячих (труднолетучим) компонентом. Ректифікацією може бути досягнута будь-яка задана ступінь поділу рідких сумішей. Ректифікація є складним процесом дистиляції. Сутність процесу ректифікації можна охарактеризувати як поділ рідкої суміші на дистилят і залишок у результаті протиточного взаємодії рідини з парами.

Процеси ректифікації здійснюються періодично або безперервно при різних тисках: під атмосферним тиском, під вакуумом (для розділення сумішей висококиплячих речовин), а також під тиском більше атмосферного.

Фракційна перегонка - спосіб перегонки з поділом суміші на кілька фракцій, в різного ступеня збагачених летючим компонентом.

Цей процес має велике значення в хімічній техніці. В якості прикладів достатньо вказати на поділ природних вуглеводнів нафти і синтетичних вуглеводнів з метою отримання моторних палив, на виділення індивідуальних газів з їх сумішей шляхом попереднього зрідження і наступної ректифікації рідкої суміші. Задача поділу багатокомпонентних сумішей в практиці зустрічається набагато частіше, ніж двокомпонентних, тому ректифікація багатокомпонентних сумішей є основним процесом ректифікації у виробництвах.

Можливість поділу рідкої суміші на складові її компоненти ректифікацією обумовлена тим, що склад пари, що утворюється над рідкою сумішшю, відрізняється від складу рідкої суміші в умовах рівноважного стану пари і рідини. Відомі рівноважні дані для конкретної суміші дозволяють проаналізувати можливість поділу цієї суміші, знайти граничні концентрації поділу і розрахувати рушійну силу процесу. Апарати, призначені для проведення процесів абсорбції та ректифікації, називають відповідно абсорберами і ректифікаційних колон. Залежно від способу створення поверхні фазового контакту ці апарати можна поділити на три основні групи:

1) апарати, в яких поверхнею фазового контакту є поверхня рідини, що розтікається по спеціальній насадці;

2) апарати, в яких поверхня фазового контакту створюється потоками газу (пари) і рідини;

3) апарати, в яких поверхня фазового контакту створюється шляхом розбризкування рідини;

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

Як у насадочних, так і в тарілчастих колонах кінетична енергія пару використовується для подолання гідравлічного опору контактних обладнань і для створення динамічної дисперсної системи пар — 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 (тарілках або насадці) вичерпної секції протитечією до потоку піднімаючого пару. Досягаючи низу колони, рідина збагачується тяжколетучими компонентами. Унизу рідина частково випаровується в результаті нагрівання теплоносієм, що підводить, і пара знову надходить у вичерпну секцію. Пройшовши її, збагачений легколетучими компонентами, пара надходить у дефлегматор, де звичайно повністю конденсується підходящим холодоагентом. Отримана рідина ділиться на два потоки - дистилат і флегму. Дистилат є продуктивним потоком, а флегма надходить на зрошення зміцнювальної секції, по контактних обладнаннях якої стікає. Частина рідини виводиться з куба колони у вигляді так званого кубового залишку (також продуктивний потік).

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

При періодичній ректифікації вихідна рідка суміш одноразово завантажується в куб колони, ємність якої відповідає бажаній продуктивності.

Пари надходять у колону й піднімаються до дефлегматора, де відбувається їхня конденсація. У початковий період увесь конденсат вертається в колону, що відповідає режиму повного зрошення. Потім конденсат ділиться на дистиллят і флегму. У міру відбору дистилляту (або при постійному флегмовому числі, або з його зміною з колони виводяться спочатку легколетучі компоненти, потім 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, акрилонитрилу, акрилхлорсиланів - у хімічній промисловості. Ректифікація широко використовується й в інших галузях народного господарства: коксохімічної, лісохімічної, харчовий, хіміко-фармацевтичної промисловостях.

Гідродинамічні режими роботи тарілок:

1) бульбашковий (барботажный) режим виникає при невеликих швидкостях пари, коли у вигляді окремих пухирців пара рухається через шар рідини на тарілці. Поверхня контакту фаз у цьому режимі невелика;

2) пінний режим виникає при збільшенні швидкості пари, коли його пухирці, що виходять із прорізів і отворів, зливаються в струмені, які внаслідок опору барботажного шару руйнуються з утвором ще більшого числа дрібних пухирців. При цьому на тарілці утворюється газорідинна система – піна. Основною поверхнею контакту фаз у такій системі є поверхня пухирців, а також струменів пари й крапля рідини над парожидкотною системою, які утворюються при руйнуванні пухирців пари в момент їх виходу з барботажного шару. Поверхня контакту фаз при пінному режимі найбільша, тому пінний режим звичайно є найбільш раціональним режимом роботи тарілчастих колон;

3) струминний (інжекційний) режим виникає при подальшому збільшенні швидкості пари, коли збільшується довжина парових струменів і настає такий режим, при якому вони виходять із газорідного шару не руйнуючись, але утворюючи велику кількість бризів. У цьому режимі поверхня контакту фаз суттєво менше, чим у пінному.

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

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

Ситчаті тарілки мають велику кількість отворів діаметром 2-8 мм, через які проходить пара в шар рідини на тарілці. До достоїнств ситчатих тарілок відносяться простота їх обладнання, легкість монтажу й ремонту, низький гідравлічний опір, досить висока ефективність. Недоліки: по-перше, при занадто малій швидкості пару рідина може просочуватися через отвори тарілки на нижчерозташовану тарілку, що приводить до істотного зниження рушійної сили процесу ректифікації. По-друге, ці тарілки чутливі до забруднень і опадом, які забивають їхні отвори.

Ректифікація, як і інші процеси масопередавання, протікає на поверхні розділу фаз, тому апарати для ректифікації та апарати супутники, такі як дефлегматори, холодильники, кип'ятильники, підігрівачи повинні забезпечувати розвинену поверхню контакту між паровою й рідкою фазою.

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

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 - прототечийні, протитечийні 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 багатходові;
- за компонованням - одинарні та здвоєні;
- за матеріальним виконанням - основні вузли і деталі з вуглецевої, низьколегованої, корозійностійкої сталі, латуні та титану.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Перегонка рідини

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

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

Як у насадочних, так і в тарілчастих колонах кінетична енергія пару використовується для подолання гідравлічного опору контактних обладнань і для створення динамічної дисперсної системи пар — 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 тяжколетучими компонентами. Унизу рідина частково випаровується в результаті нагрівання теплоносієм, що підводить, і пара знову надходить у вичерпну секцію. Пройшовши її, збагачений легколетучими компонентами, пара надходить у дефлегматор, де звичайно повністю конденсується підходящим холодоагентом. Отримана рідина ділиться на два потоки - дистилят і флегму. Дистилят є продуктовим 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,

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

## **1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

просочуватися через отвори тарілки на нижчерозташовану тарілку, що приводить до істотного зниження рушійної сили процесу ректифікації. По-друге, ці тарілки чутливі до забруднень і опадом, які забивають їхні отвори.

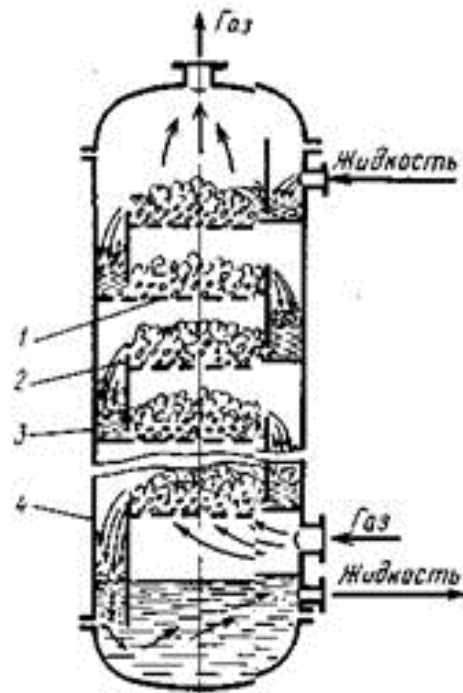


Рисунок 1.1 - Тарілчаста колона із сітчастими тарілками

### 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 апарата повинне забезпечувати передачу потрібної кількості тепла від одного середовища до

іншого з отриманням необхідних кінцевих температур кожного робочого середовища при заданому рівні гідравлічних опорів.

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 - прототечийні, протитечні 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 багатходові;

- за компонуванням - 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'ятильник 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**.

Установка працює наступним чином:

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

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

поділу – дистилляту, який прохолоджується в теплообміннику **X2** і направляється в проміжну ємність **E3**.

З кубової частини колони насосом **Н3** безупинно виводиться кубова рідина – продукт, збагачений важколетучим компонентом, який прохолоджується в теплообміннику **X1** і направляється в ємність **E2**.

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

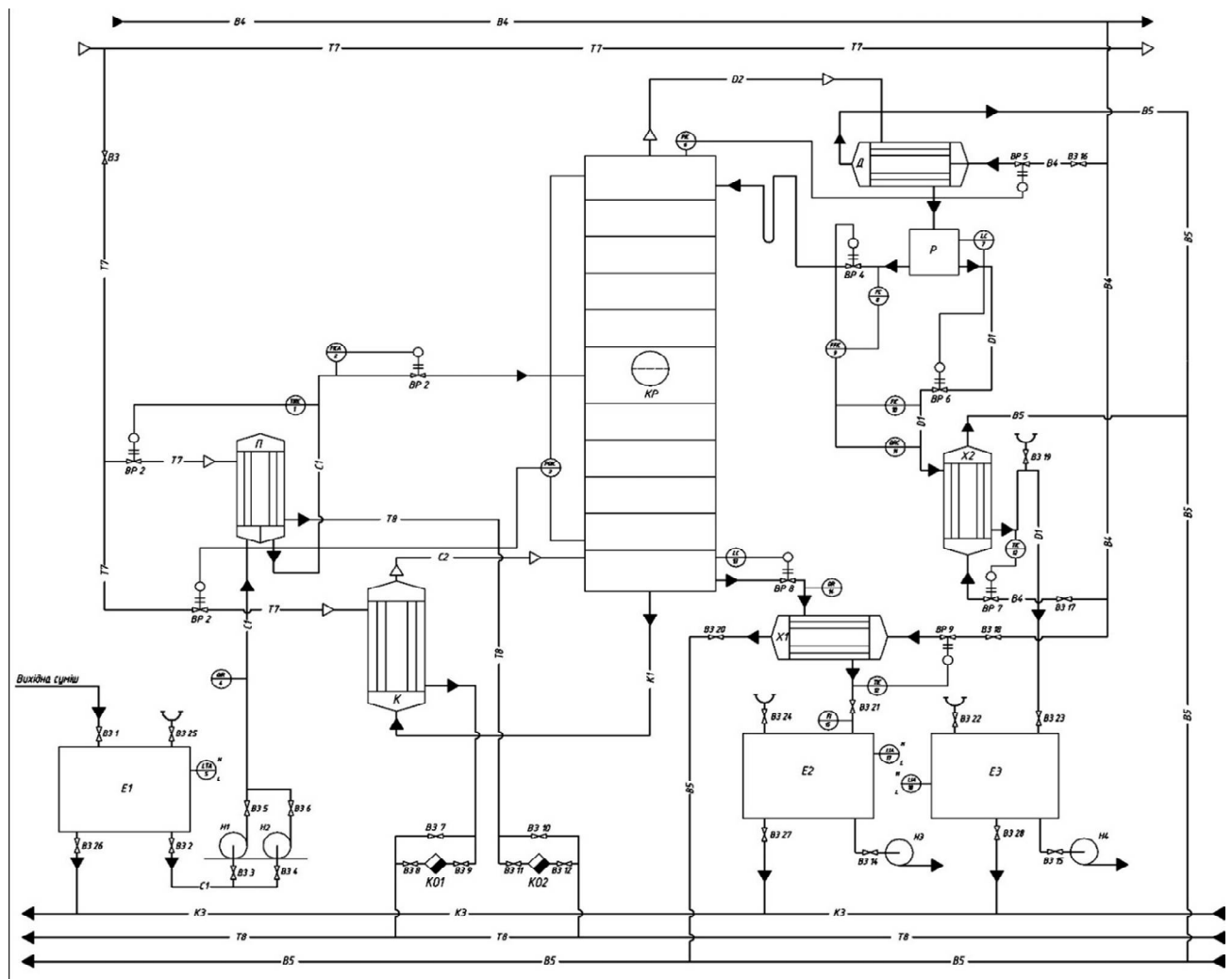


Рисунок 2.1 – Схема ректифікаційній установці

Колона з сітчастими тарілками (рисунок 2.2) призначена для розділення суміші бензол-толуол продуктивністю 5,5 т/год по вихідній суміші.

Колона із сітчастими тарілками являє собою вертикальний циліндричний корпус із горизонтальними тарілками, у яких рівномірно по всій поверхні просвердлене значне число отворів діаметром 8 мм. Для зливу рідини й регулювання її рівня на тарілці служать переливні трубки, нижні кінці яких занурені в склянки.

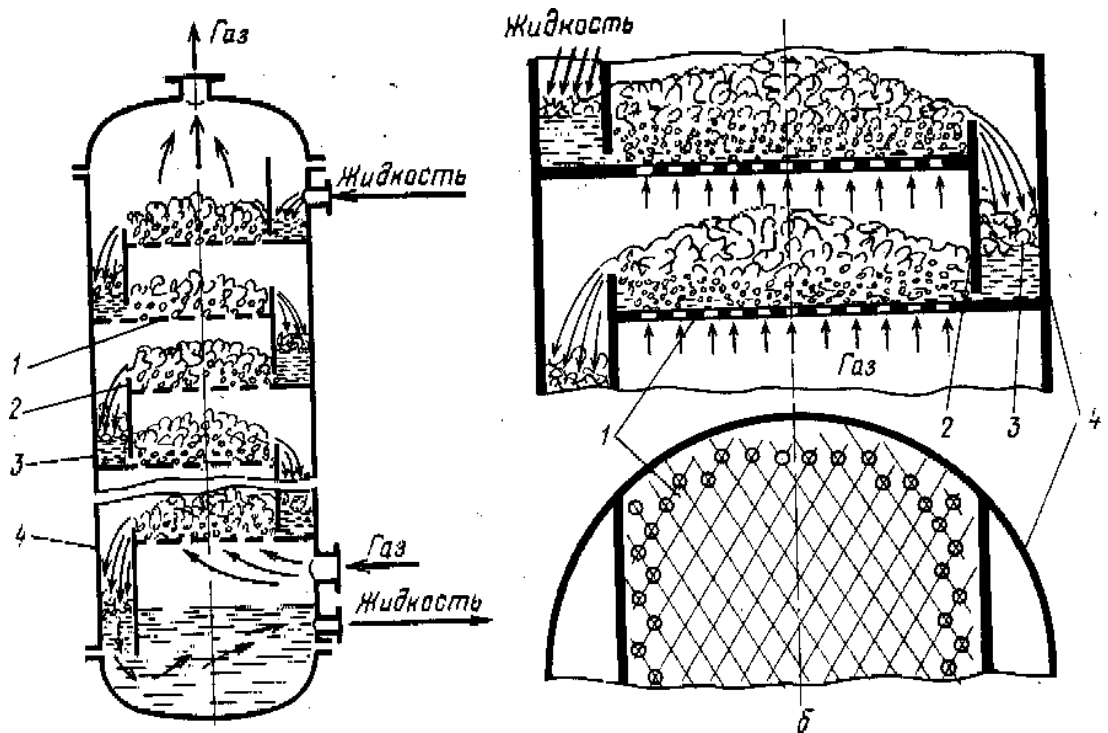


Рисунок 2.2 – Колона з сітчастими тарілками

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

Сітчасті тарілки відрізняються простотою обладнання, легкістю монтажу, огляду й ремонту. Гідравлічний опір цих тарілок невеликий. Сітчасті тарілки стійко працюють у досить широкому інтервалі швидкостей газу, причому в певному діапазоні навантажень по газу й рідині ці тарілки мають високу ефективність. Разом з тим сітчасті тарілки чутливі до забруднень і опадом, які



забивають отвори тарілок. У випадку раптового припинення надходження газу або значного зниження його тиску з сітчастих тарілок зливається вся рідина, і для поновлення процесу потрібно знову запускати колону.

## 2.2 Опис конструкції 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 кожухотрубчатий теплообмінник, у трубному просторі якого кубовий залишок, а в трубах – пар. Однак питання про напрямку кубового залишку і пара усередину або зовні труб слід вирішувати в кожному конкретному випадку, враховуючи бажаність підвищення коефіцієнта теплопередачі й зручність очищення поверхні теплообміну.

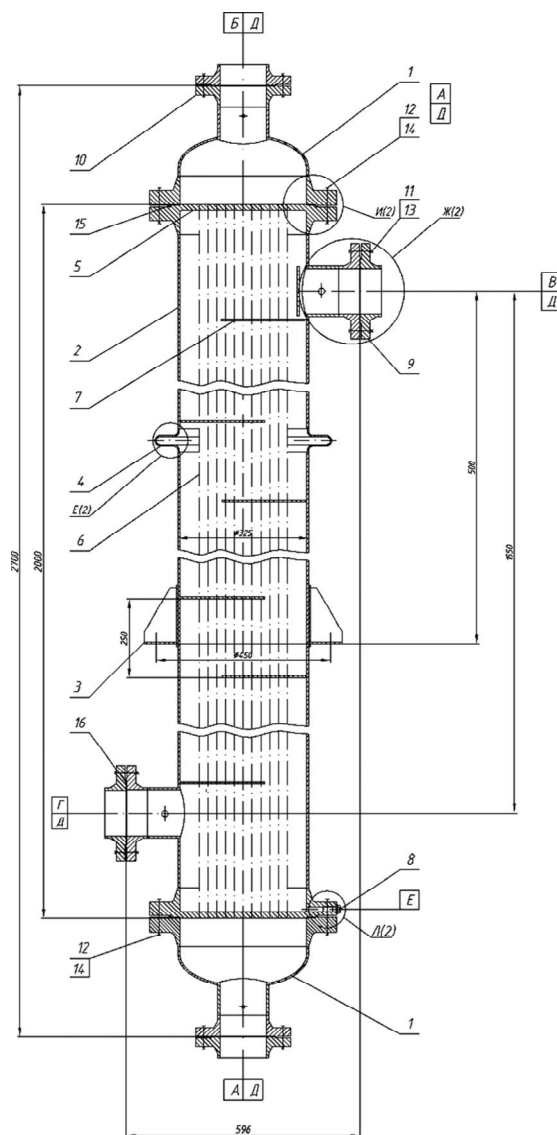


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчатий теплообмінний апарат (кип'ятильник)

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

### **3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПООБМІННИКА**

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 кожухо-трубчатих апаратів у залежності від їх призначення матеріали регламентовано відповідними ГОСТами.

В якості конструкційного матеріалу для основних деталей апарата вибираємо сталь Х18Н10Т ГОСТ 5949-75, яка використовується для виготовлення деталей хімічної апаратури при роботі з середовищами бензолу і толуолу при температурах від 10 до 200 С.

## 4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА КИП'ЯТИЛЬНИКА

### 4.1 Вихідні дані

Продуктивність по вихідній суміші – 5500 кг/год;

Концентрація НКК:

у висхідній суміші	$a_f = 37,0 \%$ (мас.),
у дистилляті	$a_p = 98,0 \%$ (мас.),
у кубовому залишку	$a_w = 1,5 \%$ (мас.).

Температура:

висхідній суміші	18 °С.
дистилляту після холодильника	23 °С,
кубового залишку після холодильника	25 °С,
охолодної води	11 °С.

Тиск насиченої водяної пари 5,0 ата,

Коефіцієнт надлишку флегми 1,5.

Колона працює під атмосферним тиском.

Вихідна суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння.

### 4.2 Визначення продуктивності по дистилляту й кубовому залишку

Продуктивність колони по дистилляту визначаємо по формулі:

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

де  $G_p$  – продуктивність по дистилляту, кг/год;

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

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

$\alpha_p$  – масова концентрація низько киплячого компонента в дистилляті, %(мас.);

$\alpha_w$  – масова концентрація низько киплячого компонента в кубовому залишку, %(мас.).

$$G_p = 5500 \cdot \frac{0,37 - 0,015}{0,98 - 0,015} = 2023 \text{ кг/ГОД} = 0,562 \text{ кг/с}$$

Продуктивність колони по кубовому залишкові визначаємо з рівняння:

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

де  $G_W$  – продуктивність по кубовому залишкові, кг/ГОД;

$G_p$  – продуктивність по дистилляту, кг/ГОД;

$G_F$  – продуктивність по вихідній суміші, кг/ГОД.

$$G_W = 5500 - 2023 = 3477 \text{ кг/ГОД} = 0,966 \text{ кг/с}$$

Перевірка:

$$\begin{aligned} 5500 \cdot 0,37 &= 2023 \cdot 0,98 + 3477 \cdot 0,015 \\ 2035 &= 2035 \end{aligned}$$

### 4.3 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 бінарній суміші, мол. частки;

$\alpha$  – зміст низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, %(мас.);

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

Молярні маси: бензол – 78,11 кг/кмоль.

толуол – 92,13 кг/кмоль.

Тоді концентрація вихідної суміші рівна:

$$X_F = \frac{\frac{0,37}{78,11}}{\frac{0,37}{78,11} + \frac{1-0,37}{92,13}} = 0,43;$$

дистилляту:

$$X_p = \frac{\frac{0,98}{78,11}}{\frac{0,98}{78,11} + \frac{1-0,98}{92,13}} = 0,99$$

кубового залишку:

$$X_w = \frac{\frac{0,015}{78,11}}{\frac{0,015}{78,11} + \frac{1-0,015}{92,13}} = 0,028$$

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

Таблиця 4.1 - Рівноважні дані для суміші бензол – толуол

Зміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °С
у рідині (x)	у парі (y)	
0	0	110,6
5	11,5	108,3
10	21,4	106,1
20	38	102,2
30	51,1	98,6
40	61,9	95,2
50	71,2	92,1
60	79	89,4
70	85,4	86,8
80	91	84,4
90	95,9	82,3
100	100	80,2

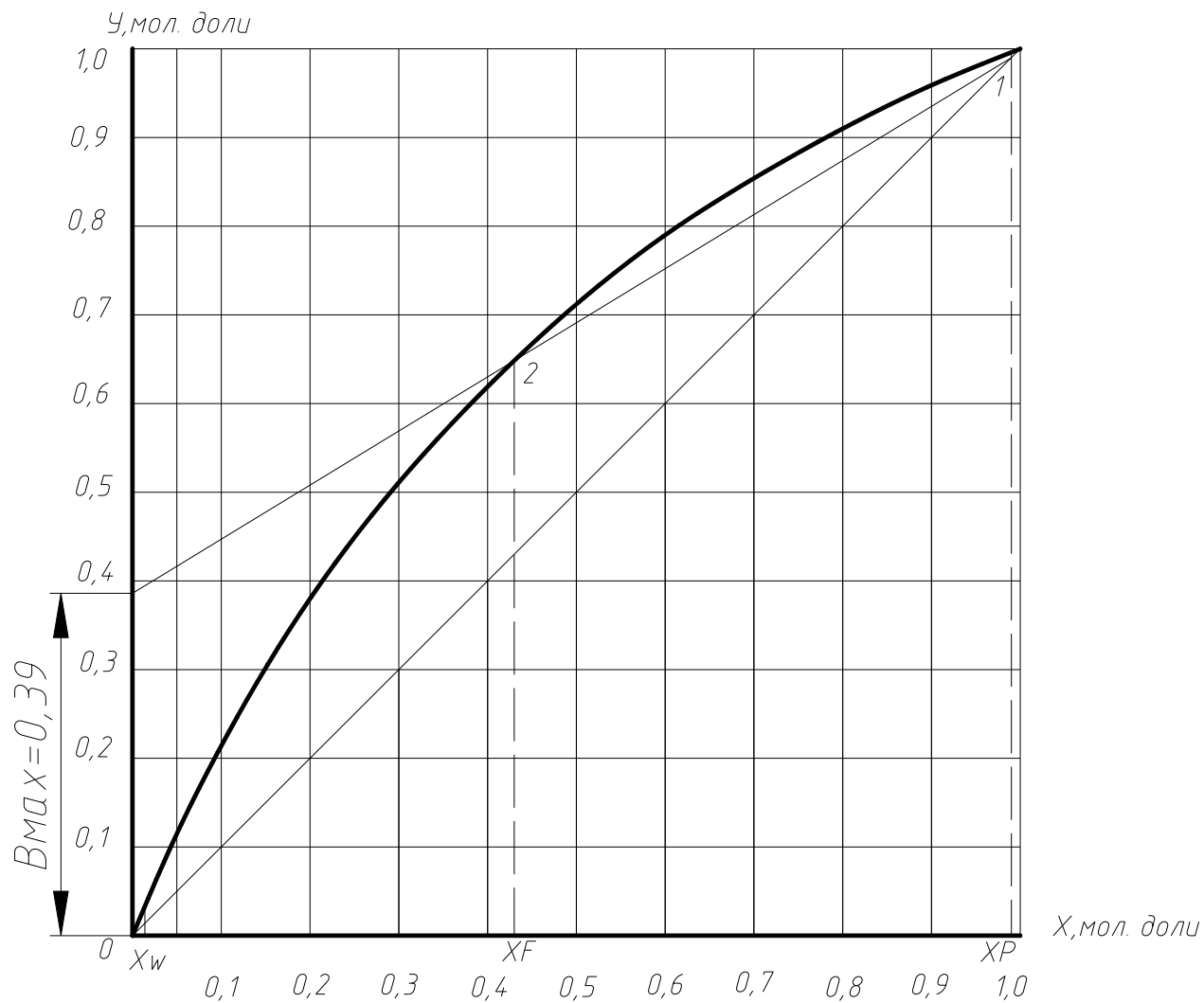


Рисунок 4.1 - До визначення мінімального флегмового числа

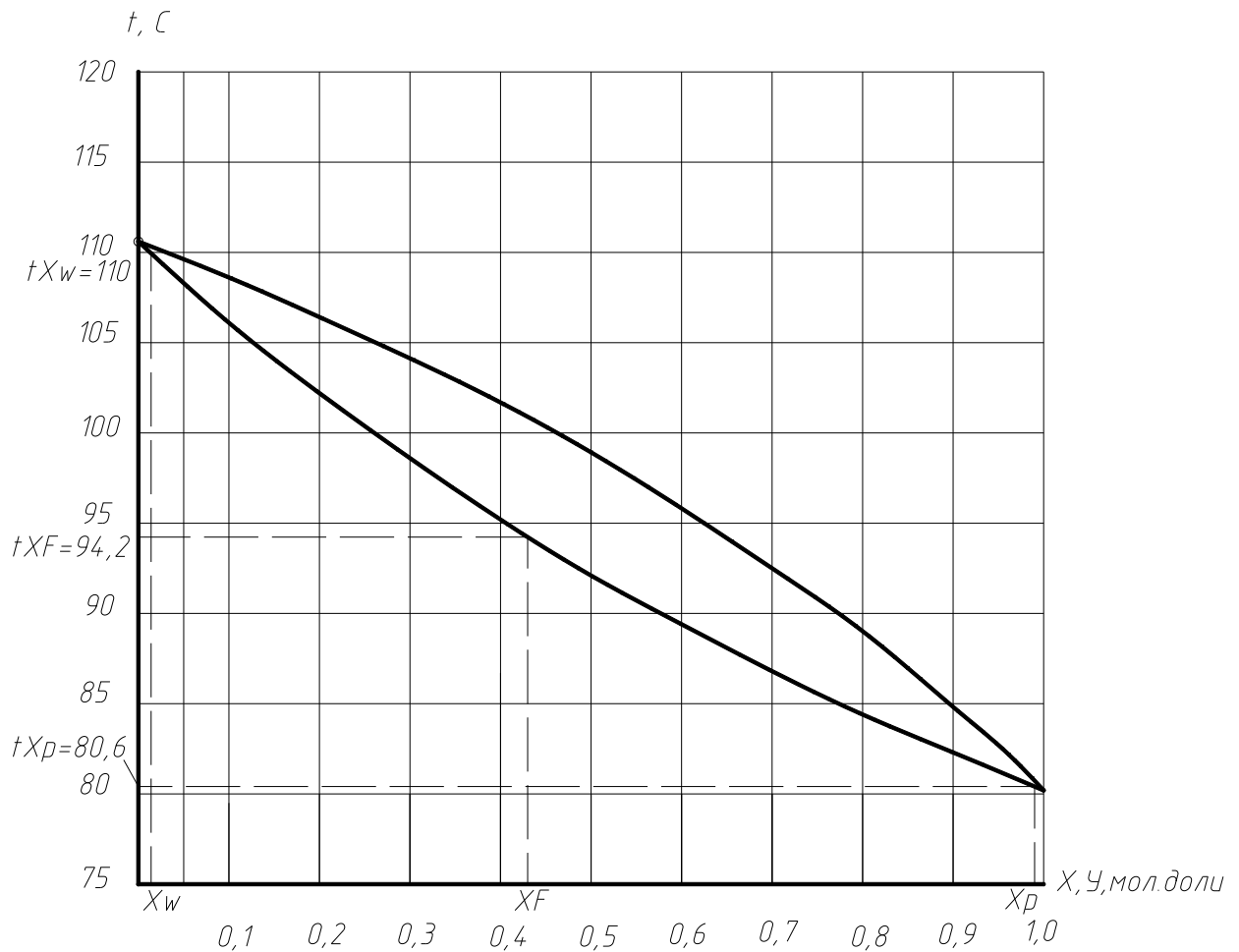


Рисунок 4.2 – Ізобара температур кипіння й конденсації

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 відсікається на осі  $y$ , позначимо через  $B_{\max} = 0,39$ . 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.).

$$R_{\min} = \frac{0,99}{0,39} - 1 = 1,69$$

Дійсне флегмове число:

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



де  $R_{\min}$  – мінімальне флегмове число;

$K_R$  – коефіцієнт надлишку флегми.

$$R = 1,5 \cdot 1,69 = 2,54$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа  $R = 2,54$  (рисунок 4.1): для цього на осі у відкладаємо відрізок  $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,99}{2,54+1} = 0,29$ , кінець якого з'єднуємо прямою із точкою 1 ( $x_p = y_p$ ); точку перетинання цієї прямої з вертикальною лінією, проведеної з абсциси  $x_F$ , позначимо точкою 2 ( $x_F, y_F$ ) і, нарешті, точку 2 з'єднуємо із точкою 3 ( $x_W = y_W$ ). Лінії 1-2 і 2-3 є робочими лініями для верхньої й нижньої частин колони, відповідно.

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

##### Рідка фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

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

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.).

$$X_{cp}^n = \frac{0,028 + 0,43}{2} = 0,229$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

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

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

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

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

$$X_{cp}^6 = \frac{0,43 + 0,99}{2} = 0,71$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^H + X_{cp}^6}{2}, \quad (4.8)$$

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.).

$$X_{cp} = \frac{0,229 + 0,71}{2} = 0,47$$

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 .

$$a_{cp} = \frac{0,47 \cdot 78,11}{0,47 \cdot 78,11 + (1 - 0,47) \cdot 92,13} = 0,43$$

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.

$$t_{xcp}^H = \frac{110 + 94,2}{2} = 102,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

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

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

$t_{XP}$  – температура дистилляту, °С;

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

$$t_{xcp}^e = \frac{94,2 + 80,6}{2} = 87,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура по колоні:

$$t_{Xcp} = \frac{t_{xcp}^H + t_{xcp}^e}{2}, \quad (4.12)$$

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

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

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

$$t_{xcp} = \frac{102,1 + 87,4}{2} = 94,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

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

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

$M_A$  – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

$M_B$  – молярна маса компонента В, кг/кмоль.

$$M_{xcp} = 78,11 \cdot 0,47 + 92,13 \cdot (1 - 0,47) = 85,46 \text{ кг/кмоль.}$$

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<sup>3</sup>;

$\rho_A$  – щільність компонента А при температурі  $t_{X\text{cp}}$ , кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_B$  – щільність компонента В при температурі  $t_{X\text{cp}}$ , кг/м<sup>3</sup>;

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

$\rho_A = 798,86$  кг/м<sup>3</sup> при  $t_{X\text{cp}} = 94,7$  °С;

$\rho_B = 793,33$  кг/м<sup>3</sup> при  $t_{X\text{cp}} = 94,7$  °С.

$$\rho_{x\text{cp}} = \frac{798,86 \cdot 793,33}{793,33 \cdot 0,43 + 798,86 \cdot (1 - 0,43)} = 795 \text{ кг/м}^3$$

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  $\mu_A$  – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента А, Па·с;

$\mu_B$  – динамічний коефіцієнт в'язкості компонента В, Па·с;

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

$\mu_A = 0,276$  мПа·с при  $t_{X\text{cp}} = 94,7$  °С;

$\mu_B = 0,284$  мПа·с при  $t_{X\text{cp}} = 94,7$  °С.

$$\lg \mu_{x\text{cp}} = 0,47 \cdot \lg 0,276 + (1 - 0,47) \cdot \lg 0,284 = -0,553$$

$$\mu_{x\text{cp}} = 0,28 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Середній поверхневий натяг визначаємо по рівнянню:

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

де  $\sigma_A$  – поверхневий натяг компонента А, Н/м;

$\sigma_B$  – поверхневий натяг компонента В, Н/м;

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

$\sigma_A = 19,5 \cdot 10^{-3}$  Н/м при  $t_{x\text{cp}} = 94,7$  °С;

$\sigma_B = 19,96 \cdot 10^{-3}$  Н/м при  $t_{x\text{cp}} = 94,7$  °С.

$$\sigma_{x \text{ ср}} = 19,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,47 + 19,96 \cdot 10^{-3} (1 - 0,47) = 19,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

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  $t = 20$  °С, м<sup>2</sup>/с;

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

(толуол) при  $t = 20$  °С;  $t = t_{x \text{ ср}}$ .

$$\mu = 0,586 \text{ [мПа} \cdot \text{с]}, \rho = 866 \text{ [кг/м}^3\text{]}.$$

Коефіцієнт дифузії при 20 °С 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 обсяг компонента А, см<sup>3</sup>/моль;

$V_B$  – мольний обсяг компонента В, см<sup>3</sup>/моль;

А, В – коефіцієнти, що залежать від властивостей компонентів, А = 1; В=1.

$$b = \frac{0,2\sqrt{0,586}}{\sqrt[3]{866}} = 0,016$$

Мольні обсяги компонентів [2, с. 81, табл.Б.5]:

$$V_A = 14,8 \cdot 6 + 6 \cdot 3,7 = 111 \text{ см}^3/\text{моль};$$

$$V_B = 14,8 \cdot 7 + 8 \cdot 3,7 = 133,2 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,586} (111^{1/3} + 133,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{78,11} + \frac{1}{92,13}} = 1,893 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$D_{x(t)} = 1,893 \cdot 10^{-9} [1 + 0,016 (94,7 - 20)] = 4,16 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

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.).

$$Y_{cp}^H = \frac{0,028 + 0,58}{2} = 0,304$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

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

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

$Y_P$ — мольна концентрація низькокиплячого компонента в дистилляті, %(мол.);

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

$$Y_{cp}^B = \frac{0,58 + 0,99}{2} = 0,785$$

Середня мольна концентрація по колоні:

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

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

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

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

$$Y_{cp} = \frac{0,304 + 0,785}{2} = 0,55$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^H = 104,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y\text{cp}}^B = 89,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

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

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

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

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

$$t_{y\text{cp}} = \frac{104,2 + 89,5}{2} = 96,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

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

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

$M_A$  – молярна маса компонента А, кг/кмоль;

$M_B$  – молярна маса компонента В, кг/кмоль.

$$M_{y\text{cp}} = 78,11 \cdot 0,55 + 92,13 \cdot (1 - 0,55) = 83,81 \text{ кг/кмоль}.$$

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  $T = 273 + t_{y\text{cp}}$ ,  $^\circ\text{C}$ ;  $P = 1 \text{ кгс/см}^2$  (тиск у колоні атмосферне).

$$\rho_{y\text{cp}} = \frac{83,81}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 96,8)} = 2,7 \text{ кг/м}^3$$

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;

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

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

$y_{\text{cp}}$  – 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.

$\mu_{yA} = 1,015 \cdot 10^{-5}$  Па·с при  $t_{y\text{cp}} = 96,8$  °С;

$\mu_{yB} = 0,965 \cdot 10^{-5}$  Па·с при  $t_{y\text{cp}} = 96,8$  °С.

$$\frac{83,81}{\mu_{y\text{cp}}} = \frac{0,55 \cdot 78,11}{1,015 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1-0,55) \cdot 92,13}{0,965 \cdot 10^{-5}}$$

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

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/см<sup>2</sup> (тиск у колоні атмосферне);  $T = 273 + t_{y\text{cp}}$ , °С.

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 369,8^{3/2}}{1 \cdot (111^{1/3} + 133,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{78,11} + \frac{1}{92,13}} = 4,41 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

#### 4.5 Визначення діаметра колони

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

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y\text{cp}}} = \frac{G_p \cdot (R+1)}{\rho_{y\text{cp}}}, \quad (4.27)$$

де  $V_y$  – витрата минаючого пари м<sup>3</sup>/с;

$\rho_{y\text{cp}}$  – середня щільність пар, кг/м<sup>3</sup>;

$G_p$  – продуктивність по дистилляту, кг/с;

$R$  – дійсне флегмове число.

$$V_y = \frac{0,562 \cdot (2,54+1)}{2,7} = 1,3 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр колони

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}}, \quad (4.29)$$



де  $V_u$  – витрата минаючого пари,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$W$  – швидкість пари в колоні,  $\text{м}/\text{с}$ ,  $W=1,2 \text{ м}/\text{с}$  (задано)

$$D = \sqrt{\frac{1,3}{0,785 \cdot 1,2}} = 1,21 \text{ м}$$

Ухвалюємо стандартне значення діаметра колони  $D = 1,2 \text{ м}$ .

#### 4.6 Визначення висоти колони

По рівнянню знаходимо коефіцієнт масовіддачу в рідкій фазі:

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

де  $\rho_{xcp}$  – середня щільність рідкої фази, кг/м<sup>3</sup>;

$D_{x(t)}$  – коефіцієнт дифузії рідини, м<sup>2</sup>/з;

$M_{xcp}$  – середня молекулярна маса рідини, кг/кмоль;

$Pr'$  – дифузійний критерій Прандтля, рівний:

$$Pr' = \frac{\mu_{xcp}}{D_{x(t)} \cdot \rho_{xcp}} = \frac{0,28 \cdot 10^{-3}}{4,16 \cdot 10^{-9} \cdot 795} = 84,6$$

$$\beta_{xf} = \frac{38000 \cdot 795 \cdot 4,16 \cdot 10^{-9}}{85,46 \cdot 1} \cdot (84,6)^{0,62} = 0,023 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль} / \text{кмоль}}$$

Коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі знаходимо по рівнянню:

$$\beta_{yf} = \frac{D_y}{22,4} \cdot (0,79 \cdot Re_y + 11000), \quad (4.31)$$

де  $D_y$  – коефіцієнт дифузії для парової фази, м<sup>2</sup>/з;

$Re_y$  – критерій Рейнольдса, який рівний:

$$Re_y = \frac{W \cdot h \cdot \rho_{ycp}}{\mu_{ycp}} = \frac{1,2 \cdot 1 \cdot 2,7}{1 \cdot 10^{-5}} = 265534$$

$$\beta_{yf} = \frac{4,41 \cdot 10^{-6}}{22,4} \cdot (0,79 \cdot 265534 + 11000) = 0,043 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль} / \text{кмоль}}$$

Загальний коефіцієнт масопередачі  $K_{yf}$  знаходимо з рівняння (4.32):

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

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

$y^*$ ,  $x^*$  – рівноважні концентрації.

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

У межах від  $X_w$  до  $X_p$  вибираємо ряд значень  $X$ , для кожного значення  $X$

визначаємо по діаграмі (рисунок 4.3) величини  $y^* - y$ ,  $x - x^*$  як різниця між рівноважною й робочою лінією, а потім по цим значенням визначаємо величину  $m$ . Результати зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2. - Визначення коефіцієнта масопередачі

<b>x</b>	<b><math>y^*-y</math></b>	<b><math>x-x^*</math></b>	<b>m</b>	<b><math>K_{yf}</math></b>
0,028	0,05	0,022	2,27	0,0082
0,1	0,085	0,041	2,07	0,0091
0,2	0,115	0,064	1,69	0,0104
0,3	0,11	0,075	1,32	0,0125
0,4	0,083	0,062	1,08	0,0144
0,5	0,083	0,075	0,93	0,0158
0,6	0,088	0,098	0,79	0,0175
0,7	0,078	0,108	0,65	0,0196
0,8	0,06	0,096	0,56	0,0212
0,9	0,035	0,067	0,49	0,0227
0,99	0,006	0,014	0,43	0,0241

Для побудови кінетичної кривої скористаємося формулою:

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

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

Робоча площа тарілки може бути знайдена [2, с.87, табл.В.1]:  $F_p = 1,01 \text{ м}^2$ .

Мольна витрата пари по колоні:

$$G_y = \frac{G_p \cdot (R + 1)}{M_{y \text{ cp}}} = \frac{0,562 \cdot (2,54 + 1)}{83,81} = 0,034 \text{ кмоль/с}$$

Таблиця 4.3 – До побудови кінетичної кривої

$x$	$K_{yf} \cdot F_p / G_y$	$AC, мм$	$BC = \frac{AC}{e^{\frac{K_{yf} \cdot F_p}{G_y}}}, мм$
0,028	0,24	5,0	3,9
0,1	0,58	8,5	4,76
0,2	0,66	11,5	5,94
0,3	0,8	11	4,94
0,4	0,9	8,3	3,37
0,5	1,01	8,3	3,02
0,6	1,11	8,8	2,9
0,7	1,25	7,8	2,5
0,8	1,35	6	1,56
0,9	1,45	3,5	0,82
0,99	1,5	0,6	0,13

За даними таблиці 4.3 будуюмо кінетичну криву. Точки  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{10}$  лежать на робочих лініях, точки  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{10}$  – на рівноважній кривій. Обчислені відрізки  $B_1C_1, B_2C_2, B_3C_3, \dots, B_{10}C_{10}$  відкладаються від відповідних крапок  $C$  униз. Кінетична крива починається на початку координат, проходить через точки  $B_1, B_2, B_3, \dots, B_{10}$  і закінчується в правому верхньому куті діаграми  $y-x$  (рисунок 4.3).

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

У результаті побудови (рисунок 4.3) одержуємо число дійсних тарілок  $n=29$ , тарілка живлення 17-я знизу.

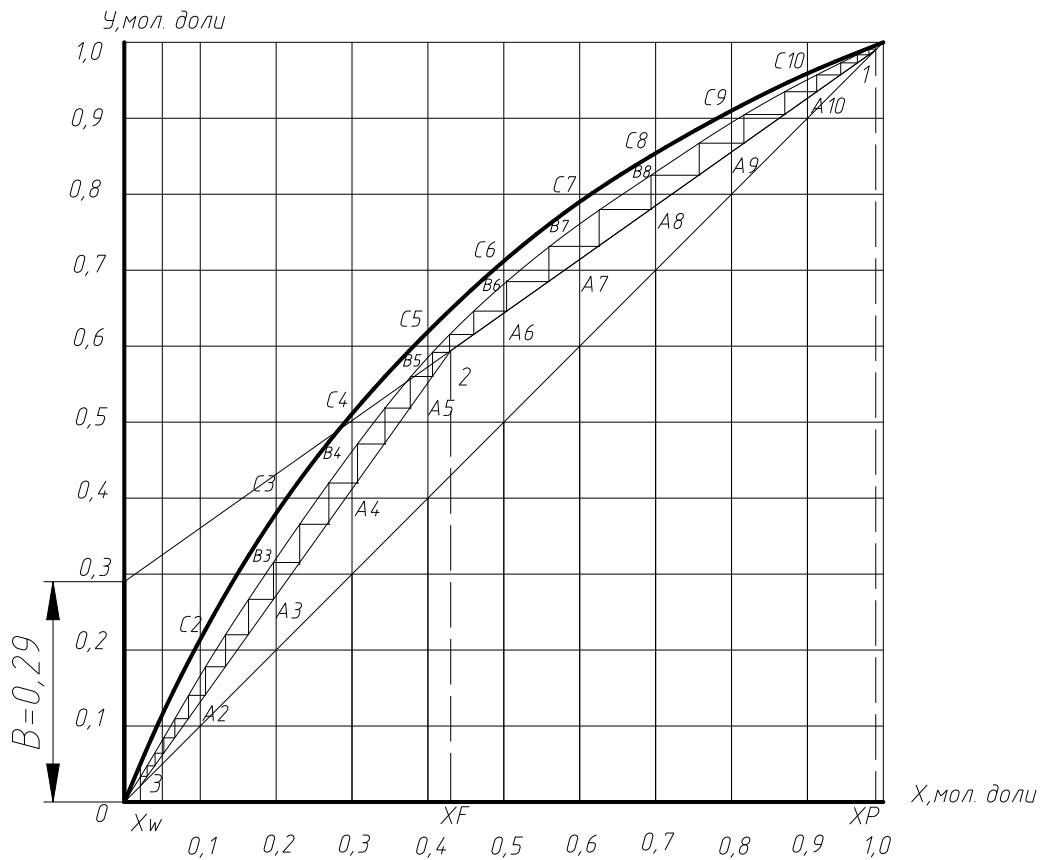


Рисунок 4.3 - Побудова кінетичної кривої і визначення числа дійсних тарілок (масштаб 1:1)

Висоту колони визначаємо по рівнянню:

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

де  $n$  – число дійсних тарілок у колоні;

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

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

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

$$H = (29 - 1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2 = 16,8 \text{ м}$$

#### 4.7 Теплові розрахунки кип'ятильника

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

$$Q_K = (Q_D + G_P \cdot C_P \cdot t_{Xp} + G_W \cdot C_W \cdot t_{Xw} - G_F \cdot C_F \cdot t_{XF}) \cdot Q_{пот}, \quad (4.59)$$

де  $Q_K$  – 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;

$Q_D$  – 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  $t_{xp} = 80,6^\circ\text{C}$ ,  $t_{xf}=94,2^\circ\text{C}$ ,  $t_{xw}=110^\circ\text{C}$ .

Питома теплоємність дистилляту рівна:

$$\begin{aligned} C_P &= a_p \cdot C_A + (1 - a_p) \cdot C_B = 0,98 \cdot 0,484 + (1 - 0,98) \cdot 0,474 = \\ &= 0,484 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2026 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \end{aligned}$$

Питома теплоємність вихідної суміші рівна:

$$\begin{aligned} C_F &= a_F \cdot C_A + (1 - a_F) \cdot C_B = 0,37 \cdot 0,499 + (1 - 0,37) \cdot 0,488 = \\ &= 0,492 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2063 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \end{aligned}$$

Питома теплоємність кубового залишку рівна:

$$\begin{aligned} C_W &= a_W \cdot C_A + (1 - a_W) \cdot C_B = 0,015 \cdot 0,513 + (1 - 0,015) \cdot 0,499 = \\ &= 0,5 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2095 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_K &= 1,03 \cdot (1177512 + 0,562 \cdot 2026 \cdot 80,6 + 0,966 \cdot 2095 \cdot 110 - \\ &- 1,528 \cdot 2063 \cdot 94,2) = 1235807 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Витрата пари, що гріє, при  $P = 5,0$  ата:

$$G_{z.n} = \frac{Q_k}{r} = \frac{1235807}{2117 \cdot 10^3} = 0,59 \text{ кг/с.}$$

Середня різниця температур дорівнює різниці між температурою насиченого пари при  $P = 5,0$  ата і температурою кипіння кубового залишку:

$$\Delta t_{cp} = 151,1 - 110 = 41,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$F = \frac{Q_k}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1235807}{2000 \cdot 41,1} = 12,1 \text{ м}^2$$

Ухвалюємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб у теплообміннику 100 шт;
- довжина труб 2,0 м;
- поверхня теплообміну 12,5 м<sup>2</sup>.

## 5 АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНТАКТНИХ ПРИСТРОЇВ НА РОЗМІРИ КОЛОННОГО АПАРАТА

У результаті дослідження встановлений суперечливий вплив розміру отворів сітчастих тарілок на їхню пропускну й масообмінну здатності. Знайдений оптимальний розмір отворів, що забезпечує мінімальний робочий об'єм колонного встаткування. Ректифікаційні колони, оснащені сітчастими тарілками з отворами діаметром 8 мм, добре зарекомендували себе в процесі тривалої промислової експлуатації в складі великотоннажних агрегатів метанолу М-100-3 і М-100-4.

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

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

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

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

Отримані результати свідчать про те, що, з одного боку, малі отвори, формуючи більш розвинену поверхню контакту фаз, забезпечують високу



масообміну здатність тарілки, а, з іншого боку, для тарілок з меншими отворами характерне зниження ефективності масообміну спостерігається при менших швидкостях пари по колоні, що, очевидно, є наслідком більш раннього зростання віднесення рідини через більшу роздробленість парорідинних струменів.

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

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

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

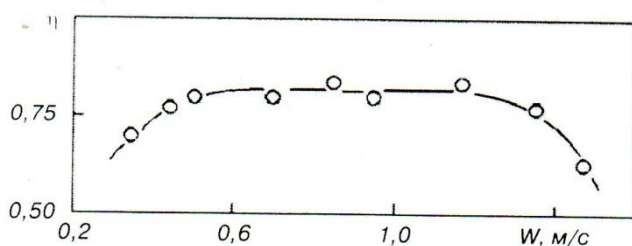


Рисунок 5.1 – Залежність ефективності сітчастої тарілки  $d_0 = 8$  мм від швидкості пари у вільному перетині колони

Таблиця 5.1 – Показники пропускну й масообмінній здатностей досліджених сітчастих тарілок

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

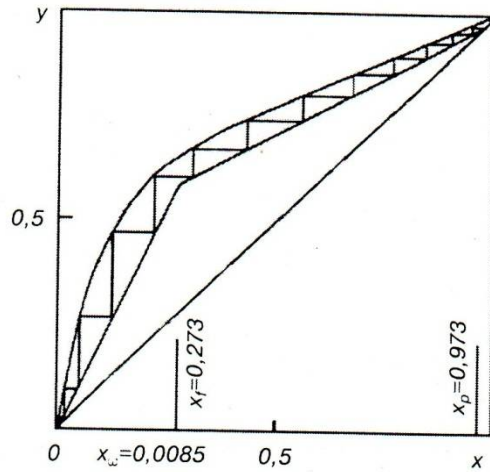


Рисунок 5.2 – Графічне визначення числа теоретичних тарілок по діаграмі  $y-x$

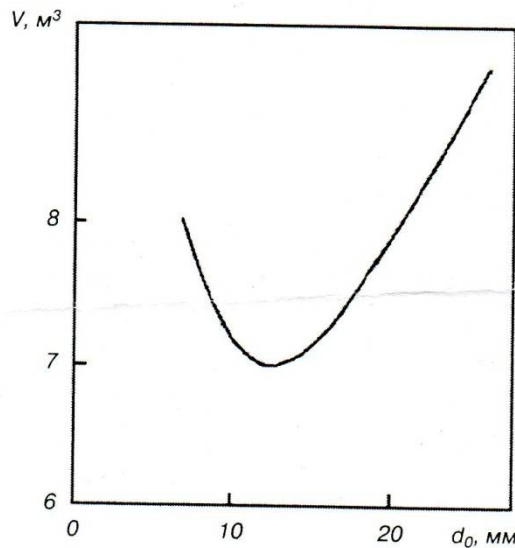


Рисунок 5.3 – Залежність об'єму тарілчастої частини ректифікаційній колони від діаметру отворів сітчастих тарілок для визначення оптимального значення  $d_0$

Установлене, що колони основної ректифікації, оснащені однопотоківими сітчастими тарілками із  $d_0$  8–12 мм, добре зарекомендували себе в процесі тривалої промислової експлуатації в складі великотоннажних агрегатів метанолу М-100-3 і М-100-4, що дозволяє рекомендувати запропонований підхід до визначення оптимального розміру отворів сітчастих тарілок для широкого використання.



## 6 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КИП'ЯТИЛЬНИКА

### 6.1 Вихідні дані

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

Діаметр кожуха $D_H$ , мм	325
Довжина теплообмінних труб $l$ , мм	2000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби $d_m$ , мм	20Г
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	X18H10T
Матеріал трубних решіток	X18H10T
Матеріал теплообмінних труб	X18H10T
Матеріал прокладки кожуха	пароніт
Матеріал прокладки розподільної камери	пароніт
Середовище в трубному просторі	Взривопожежонебезпечне, 2 класу безпеки
Середовище в міжтрубном просторі	Взривопожежобезпечне, 4 класу безпеки

*Теплообмінник 325 ТКВ-1,0-М8/20 2-1-У ТУ 3612-024-00220302-02*

## 6.2 Розрахунки на міцність кип'ятильника

### Розрахункова температура

Розрахункова температура розподільної камери:

$$t_{кам} = 2 t_m - t_k \quad (6.1)$$

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

Розрахункова температура ізольованих фланців:

$$t_\phi = t_k \quad (6.2)$$

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

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

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

Розрахункова температура болтів ізольованих фланцевих з'єднань:

$$t_\sigma = 0,97 \cdot t \quad (6.3)$$

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

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

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

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

### Допустима напруга.

Допустимі напруги при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  і при температурі  $20^\circ\text{C}$   $[\sigma]_{20}$ , МПа, для матеріалів елементів апарата наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Допустима напруга матеріалів елементів теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напруги, МПа		Відношення допустимих напружень [ $\sigma$ ] <sub>20</sub> /[ $\sigma$ ]
		при температурі 20 °С, [ $\sigma$ ] <sub>20</sub>	при розрахунковій температурі, [ $\sigma$ ]	
Кожух	X18H10T	168	148	1,135
Трубні решітки	X18H10T	168	154	1,091
Труби	X18H10T	168	154	1,091
Фланці апаратні	X18H10T	168	148	1,135
Фланці штуцерів трубного простору	X18H10T	168	154	1,091
Фланці штуцерів кожуха	X18H10T	168	148	1,135
Болти й гайки апаратних фланців і штуцерів трубного простору	08X18H10T	110	107	1,028
Болти й гайки фланцевих з'єднань штуцерів кожуха	08X18H10T	110	101,5	1,084

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

$$P = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (6.4)$$

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

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружень  $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,091$  пробний тиск становить

$$P_{пр.т} = 1,25 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,091 = 1,33 \text{ МПа}$$

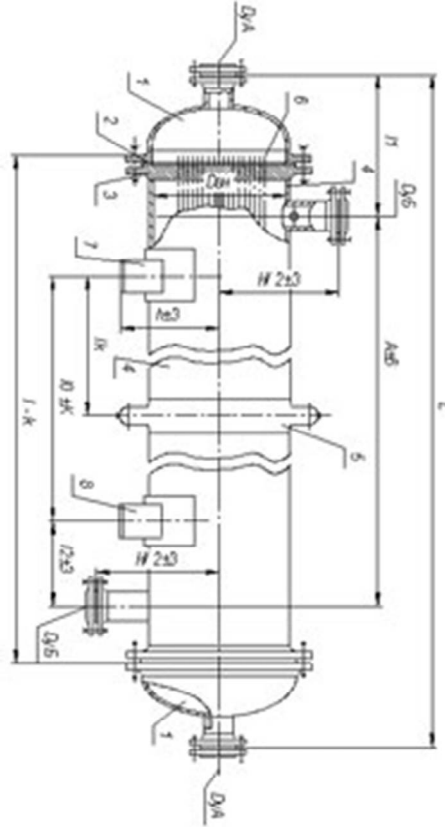


Рисунок 6.1 - Кожухотрубчастий теплообмінний апарат одноходовий  
Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника становить

$$P_{гтр} = \rho_v \cdot g \cdot H_T \cdot 10^{-6}, \quad (6.5)$$

де  $H_T = 2,7 \text{ м}$  [13] - висота стовпа води в трубному просторі

$$P_{гтр} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} = 0,026 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{гтр} = 0,026 \text{ МПа} < 0,05 P_{пр.т} = 0,05 \cdot 1,33 = 0,067 \text{ МПа}$$

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

$$P_{ут} = P_{пр.т} = 1,33 \text{ МПа}$$

$$\text{Умова } P_{u_{mp}} = 1,33 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,091 = 1,4 \text{ МПа}$$

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

Для міжтрубного простору (кожуха) при відношенні допустимих напружень  $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,135$  пробний тиск становить:

$$P_{npk} = 1,25 \cdot P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (6.6)$$

$$P_{npk} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,135 = 1,37 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{zk} = \rho_v \cdot g \cdot H_k \cdot 10^{-6} \quad (6.7)$$

де  $H_k = 2,0 \text{ м}$  [13]

$$P_{zk} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,0 \cdot 10^{-6} = 0,02 \text{ МПа}$$

$$P_{zk} = 0,02 \text{ МПа} < 0,05 \cdot 1,37 = 0,069 \text{ МПа}$$

$$P_{uk} = P_{npk} = 1,37 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{uk} = 1,37 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,135 = 1,45 \text{ МПа}$$

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 4 групи судин, для яких довжина контрольованих швів становить не менш 25 % від їхньої загальної



довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварених швів ухвалюємо рівним  $\varphi_p = 0,9$  [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:

$$C = C_1 + C_2, \quad (6.8)$$

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:

$$C_1 = P \cdot \tau + C_3, \quad (6.9)$$

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  $P_k = 0,05$  мм/рік, а трубного -  $P_m = 0$  мм/рік.

Добавка для компенсації корозії становить:

- для труб з боку трубного й міжтрубного просторів

$$C_{1m} = 0 \text{ мм}$$

- для кожуха

$$C_{1k} = P_k \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм}$$

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

### 6.3 Розрахунки кожуха кип'ятильника

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

$$S_{pk} = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \phi_p - P_k} \quad (6.10)$$

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

$D = 317$  мм - внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

$\phi_p$  - коефіцієнт міцності поздовжніх зварених швів.

$$S_{pk} = \frac{1 \cdot 317}{2 \cdot 148 \cdot 0,9 - 1} = 1,46 \text{ мм}$$

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

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

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо по формулі:

$$S_k > S_{pk} + C_k \quad (6.11)$$

$$S_k = 1,46 + 1,0 = 2,46 \text{ мм.}$$

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

Припустимий внутрішній надлишковий тиск у кожусі визначаємо по формулі:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (6.12)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 148 \cdot 0,9 \cdot (4 - 1)}{317 + (4 - 1)} = 1,45 \text{ МПа}$$

Умова міцності

$$P_{\kappa} = 1,0 \text{ МПа} \leq [P]_{\kappa} = 1,45 \text{ МПа} \text{ виконується.}$$

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{S-C}{D} = \frac{4-1}{317} = 0,009 \leq 0,1$$

виконується.

#### 6.4 Визначення товщини трубних решіток

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

Розрахунковий тиск визначаємо по формулі

$$P = \max\{|P_m|; |P_K|; |P_m - P_{\kappa}|\} \quad (6.13)$$

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

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

$$S_{pp} = 0,5 \cdot D_e \sqrt{P / [\sigma]_p}, \quad (6.14)$$

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

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 21,3 \sqrt{1 / 154} = 1,15 \text{ мм}$$

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

$$\phi_p = 1 - d_0 / t_p \quad (6.15)$$

$$\phi_p = 1 - 20,15 / 26 = 0,225$$

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

$$S_{np} = S_{pp} \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_n} \cdot \left( \frac{t_n}{t_p} - 1 \right)}; \sqrt{\phi_p} \right\} \quad (6.16)$$

$$S_{np} = 1,4 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{20,15}{8} \cdot \left( \frac{45}{32} - 1 \right)}; \sqrt{0,225} \right\} = 1,15 \cdot \max \{ -0,35; 0,474 \} = 0,65 \text{ мм}$$

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.

### 6.5 Визначення допоміжних величин

Відстань від осі кожуха до осі найбільш віддаленої труби визначаємо по формулі:

$$a_1 = 0,5 \cdot (D_0 - d_m), \quad (6.17)$$

де  $D_0 = 297 \text{ мм}$  [13] - діаметр окружності, за границю якої не повинні виступати теплообмінні труби.

$$a_1 = 0,5 \cdot (297 - 20) = 138,5 \text{ мм}$$

Відносну характеристику краю трубних решіток визначаємо по формулі:

$$m_n = 0,5 \cdot D/a_1 \quad (6.18)$$

$$m_n = 0,5 \cdot 317/138,5 = 1,3$$

Коефіцієнти впливу тиску на трубні решітки визначаємо по формулах:

$$\eta_\kappa = 1 - \frac{i \cdot d_m^2}{4 \cdot a_1^2}; \quad (6.19)$$

$$\eta_m = 1 - \frac{i \cdot (d_m - 2 \cdot S_m)^2}{4 \cdot a_1^2} \quad (6.20)$$

де  $i = 100 \text{ ум}$  [13] – кількість труб у решітках.

$$\eta_\kappa = 1 - \frac{100 \cdot 20^2}{4 \cdot 138,5^2} = 0,467$$

$$\eta_m = 1 - \frac{100 \cdot (20 - 2 \cdot 2)^2}{4 \cdot 138,5^2} = 0,67$$

Коефіцієнт твердості трубних решіток визначаємо по формулі:

$$\psi_0 = \eta_m^{2,33} \quad (6.21)$$

$$\psi_0 = 0,67^{2,33} = 0,393$$

Модуль пружності основи (системи труб) визначаємо по формулі:

$$K_y = \frac{2 \cdot E_m \cdot (\eta_m - \eta_k)}{l} \quad (6.22)$$

де  $E_m = 200 \cdot 10^3$  МПа [14] – модуль поздовжньої пружності при  $t_m = 110^\circ\text{C}$ .

$$K_y = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot (0,67 - 0,467)}{2000} = 26,25$$

Зведене відношення твердості труб до твердості кожуха розраховуємо по формулі:

$$\rho = \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{2 \cdot E_k \cdot S_k} \quad (6.23)$$

де  $E_k = 199 \cdot 10^3$  МПа [14] – модуль поздовжньої пружності при  $t_k = 150^\circ\text{C}$ .

$$\rho = \frac{26,25 \cdot 138,5 \cdot 2000}{2 \cdot 199 \cdot 10^3 \cdot 4} = 6,22$$

Значення коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів кожуха  $\alpha_k$  і труб  $\alpha_m$  ухвалюємо по [15]:

$$\alpha_k = 16,75 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}; \quad \alpha_m = 16,65 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta = l \cdot \left| \left[ \alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0) \right] \right| \quad (6.24)$$

$$\Delta = 2000 \cdot \left| \left[ 16,75 \cdot 10^{-6} \cdot (150 - 20) - 16,65 \cdot 10^{-6} \cdot (110 - 20) \right] \right| = 1,04 \text{ мм}$$

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

Необхідне число лінз у компенсаторі розраховуємо по формулі:

$$n_l = \frac{\Delta}{\Delta_l} = \frac{1,04}{5,5} = 0,19$$

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

## 6.6 Розрахунки лінзового компенсатора

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_n}{d_n} \leq 0,035; 1,08 \leq \frac{D_n}{d_n} \leq 3,00; \frac{2r}{D_n - d_n} \leq 0,4. \quad (6.25)$$

$$\frac{S_n}{d_n} = \frac{3}{325} = 0,009 < 0,035;$$

$$1,08 < \frac{D_n}{d_n} = \frac{440}{325} = 1,35 < 3,00;$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_n - d_n} = \frac{2 \cdot 14}{440 - 325} = 0,29 < 0,4$$

виконуються.

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$d_1 = d_n - S_n \quad (6.26)$$

$$d_1 = 325 - 3 = 322 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребня хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_2 = D_n - S_n \quad (6.27)$$

$$d_2 = 440 - 3 = 437 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot r + S_n) \quad (6.28)$$

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо по формулі:

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{r}{d_1 + d_2} \quad (6.29)$$

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{16}{322 + 437} = 0,52 \text{ мм}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо по формулі:



$$b_x = 0,5 \cdot (d_2 - d_1 + \rho_x \cdot r_s) \quad (6.30)$$

$$b_x = 0,5 \cdot (437 - 322 + 0,52 \cdot 16) = 52,7 \text{ мм}$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$R_0 = 0,25 \cdot (d_2 + d_1 - 2 \cdot b_x) \quad (6.31)$$

$$R_0 = 0,25 \cdot (437 + 322 - 2 \cdot 52,7) = 132,4 \text{ мм}$$

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (d_2 + d_1) \quad (6.32)$$

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (437 + 322) = 379,5 \text{ мм}$$

Характеристики хвилі обчислюємо по формулах:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 \quad (6.33)$$

$$\xi = \frac{437}{322} - 1 = 0,3606$$

$$n = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot r_s} - 2 \quad (6.34)$$

$$n = \frac{437 - 322}{2 \cdot 16} - 2 = 1,031$$

$$\alpha = \frac{S_x}{d_1} \quad (6.35)$$

$$\alpha = \frac{3}{322} = 0,015$$

$$\lambda = \frac{b_x}{R_0} \quad (6.36)$$

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

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 \cdot r_s}{d_2 - d_1} \quad (6.37)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{437}{322} - \frac{3,2 \cdot 16}{437 - 322} = 2,173$$

Розрахункову товщину  $S_3$ , мм, розраховуємо по формулі:

$$S_3 = 0,25(d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P/[\sigma]_n} = \quad (6.38)$$

$$S_3 = 0,25 \cdot (437 - 322 - 2,173 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1}{148}} = 1,62 \text{ мм}$$

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

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{cp}}{2[\sigma]_n \cdot \phi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2l_k + 2,3r_s} = \quad (6.39)$$

$$S_4 = \frac{1 \cdot 379,5}{2 \cdot 148 \cdot 0,9} \cdot \frac{72}{437 - 322 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,988 \text{ мм}$$

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:

$$S_{sp} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 \cdot \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} \quad (6.40)$$

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

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:

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

Остаточню ухвалюємо виконавчу товщину стінки компенсатора рівної  $3 \text{ мм}$

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_1 = 16 \cdot \left( \frac{S_n - C_n}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_n \quad (6.41)$$

$$[P]_1 = 16 \cdot \left( \frac{3 - 0,22}{437 - 322 - 2,173 \cdot 16} \right)^2 \cdot 148 = 6,22 \text{ МПа}$$

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

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma]_n \cdot \phi \cdot (S_n - C_n)}{d_{cp}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 \cdot l_k + 2,3 \cdot r_s}{L} \quad (6.42)$$

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 148 \cdot 0,9 \cdot (3 - 0,22)}{379,5} \cdot \frac{437 - 322 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{72} = 5,18 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

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

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

### 6.7 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість

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

$$N_w = N_p = 0,5 N = 500$$

Допустиму амплітуду інтенсивності напружин від розмаху тисків розраховуємо за формулою

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{A}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{B}{n_\sigma} \quad (6.43)$$

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - 150}{2300} \cdot \frac{0,6 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 500}} + \frac{270}{2} = 902,3 \text{ МПа}$$

Напружини від деформації розраховуємо за формулою

$$\sigma_w = \frac{E_n \cdot S_n}{n_n \cdot b_n^2} \cdot (2 + \lambda) \cdot \Delta w \quad (6.44)$$

$$\sigma_w = \frac{199 \cdot 10^3 \cdot 3}{2 \cdot 52,7^2} \cdot (2 + 0,398) \cdot 1,04 = 120 \text{ МПа}$$

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

Напружину від тиску визначаємо за формулою

$$\sigma_p = 3[\sigma]_n \cdot \frac{\Delta P}{[\Delta P]} \quad (6.45)$$

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

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

## 7 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КИП'ЯТИЛЬНИКА

### 7.1 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 риски уздовж крайки з найменшої серповидністю. На листі розмічаються риски під відрізу, риски з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні риски. 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.

## **7.2 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. Штмп складається із циліндричного пуансона з еліпсоїдною торцевою поверхнею, виконаної за формою кулі. Під час штампування, пуансон, рухаючись униз тягне заготовку через матрицю.

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

## **7.3 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.

#### **7.4 Збирання й зварювання корпусу**

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

#### **7.5 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 ґрат 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.

#### **7.6 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 лущення металу на внутрішній поверхні труби не допускаються.

### **7.7 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.

### **7.8 Збирання кип'ятильника**

Збирання кип'ятильника необхідно проводити в такій послідовності:

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

### **7.9 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 усієї 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°C і не вище +40°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  $P_{пр}$  при гідравлічному випробуванні підігрівана, а також трубопроводів в межах теплообмінника приймають:

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

де  $P$  – розрахунковий тиск, МПа

$[\sigma]^{20}$  – допустиме напруження матеріалу апарата при  $20^{\circ}\text{C}$ , 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.

## **8 РЕМОНТ КИП'ЯТИЛЬНИКА**

### **8.1 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 здачею обладнання ремонтному персоналу. Тривалість власне ремонтних робіт - це період від моменту приймання обладнання в ремонт до моменту здачі відремонтованого встаткування експлуатаційному персоналу, включаючи час випробувань на міцність і щільність і обкатування вхолосту.

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

## **8.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту**

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

Устаткування виводиться з роботи 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, узятого 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.

### **8.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів**

Ремонт посудини роблять за технологією, розробленою ремонтною

організацією до початку виконання ремонтних робіт. Всі види ремонтів повинні виконуватися в строгій відповідності із графіком ППР, затвердженому головним інженером.

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

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду й інших відкладень.

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

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

Не дозволяється знімати гайки зі шпильок або болтів доти, поки працюючий не переконається в тім, що апарат або ділянка трубопроводу не має тиску. Затягування гайок при ремонті повинна бути 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 скошу 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  $-20^{\circ}\text{C}$ .

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 використовують листи, завальцьовані по радіусу, рівному радіусу корпуса.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці заміняють новими.

#### **8.4 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки**

Основними способами кріплення труб до трубної решітки в трубчастих теплообмінних апаратах є розвальцьовування роликками і зварка у поєднанні з розвальцьовуванням. Аналіз виходу з ладу теплообмінників, виконаний ВНШПТхімнафтоапаратури, 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 роликми 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°С і тиску більше 14,0МПа, у поєднанні з розвальцьовуванням, виконаним роликним 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 облямівування. Для цього висвердлюють трубу приблизно на три довжини розвальцьованої 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 ВНШПТхімнафтоапаратури. 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 развальцьовочний 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 развальцьовочний 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  $\alpha$  (де  $\alpha=1^{\circ}30'—4^{\circ}30'$ ) 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.

## **9 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ**

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних мір і засобів, спрямованих на збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, роботи машин, механізмів, устаткування й інших засобів виробництва, стан засобів колективного й індивідуального захисту, використовуваних працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних документів.

### **Виробництво характеризується:**

- наявністю шкідливих і небезпечних речовин,
- наявністю апаратів і трубопроводів, що працюють під тиском,
- наявністю частин механізмів, що рухаються й обертаються,
- наявністю високої температури (до 200° С),
- застосуванням електричної енергії високого 6000 В і низької 220, 380 В напруги,
- розміщенням устаткування на висоті,

Основними джерелами шуму в цеху є відцентрові насоси.

### **Вентиляція та опалення**

Для того щоб в технологічних приміщеннях не накопичувалися гази у вибухонебезпечних концентраціях або в концентраціях які перевищують санітарні норми, в звичайних умовах експлуатування передбачена примусова та природна витяжна вентиляція.

Для оповіщення про порушення в роботі приточних вентиляційних агрегатів передбачена світлова і звукова сигналізація з виносом на щит в ЦПУ.

В технологічних приміщеннях з виробництвами категорії А,Б,В,Е усі металеві повітряпровод та обладнання приточних та витяжних вентсистем

повинні бути заземлені, площадки та інші місця і установки вентиляційного обладнання повинні бути освітлені.

Площадки для обслуговування вентсистем, стаціонарні сходи і пройми у перекриттях повинні бути захищені перилами висотою не менш 1 м. Венткамери повинні бути оснащені засобами пожежегасіння.

Крім постійно діючих приточних систем передбачена аварійна витяжна вентиляція з видаленням повітря природнім шляхом – через шахти в покрівлі приміщення, яка забезпечує 8-кратний повітрообмін. Пряжки для конденсатних насосів і водопровідні канали обслуговуються постійно діючою приточною вентиляцією, яка забезпечує в них 10-кратний повітрообмін.

Електродвигуни вентиляційних систем здійснюється у місцях установки вентиляційних агрегатів. Їх відключення здійснюється зі щита ЦПУ.

При аварійному відключенні робочих вентиляторів передбачено автоматичне включення електродвигунів резервних вентиляторів.

Приточні осеві вентилятори, які встановлені за зовнішніми стінами, виконуються в іскрозахищенному виконанні з електродвигуном у вибухобезпечному виконанні.

Аварійна вентиляція вмикається тільки автоматично по сигналізації датчика газоаналізатора типа ГОА 5501, ГОА – 21.

В зимовий період опалення здійснюється підігрітим повітрям через приточну вентиляцію та за допомогою батарей централізованого опалення.

Оскільки основне технологічне устаткування знаходиться поза приміщенням, то розрахунок ведеться для ЦПК, габаритні розміри якого складають: довжина - 14 м, ширина - 11 м, висота - 3,5 м.

Кратність повітрообміну в ЦПК повинна бути не менше 5 год<sup>-1</sup>.

### **Освітлення**

Проектований апарат встановлений на відкритому майданчику.

По джерелам світлової енергії розрізняють три види освітлення: природне, штучне і сполучене. Робоче та аварійне освітлення в усіх приміщеннях, на

робочих місцях, відкритих просторах і вулицях повинно забезпечувати освітленість відповідно до вимог будівельних норм і правил.

Природне освітлення створюється природними джерелами світла – прямими сонячними променями (80%) і дифузійним світлом небозводу (20%, тобто решта сонячних променів, розсіяних атмосферою).

Штучне освітлення промислових підприємств здійснюється штучними джерелами світла. На цей час розроблені освітлювальні установки, які за яскравістю, характером, спектром випромінюваного світла наближаються до природного спектра, що дає змогу доповнювати штучним "денним" світлом недостатність природного світла.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне і чергове. За способом розташування джерел світла – на загальне, місцеве і комбіноване.

Загальне освітлення – це освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні рівномірно, без урахування розташування робочих місць (загальне рівномірне освітлення) або обладнуються залежно від розташування устаткування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Загальне рівномірне розміщення світильників (у прямокутному чи шаховому порядку) для створення раціональної освітленості застосовують при виконанні однотипних робіт. Загальне локалізоване освітлення передбачається для забезпечення на ряді робочих місць освітленості у певній площі (прилади КВП та А тощо), коли біля кожного з них обладнують додатковий світильник (наприклад, кососвіт), а також при виконанні на ділянках цеху різних за характером робіт чи за наявності затінювального устаткування.

Для загального освітлення використовують світильники типу «ВЗГ». В цих світильниках освітлювальна арматура перерозподіляє світловий потік лампи в просторі, захищає очі працівника від засліплювальної дії ламп. Окрім того, вона захищає джерело світла від впливу навколишнього пожежо- та



вибухонебезпечного чи хімічно активного середовища, механічних ушкоджень, пилу, бруду, атмосферних опадів.

Місцеве освітлення є додатковим до загального і створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочому місці. Місцеве освітлення буває стаціонарним і переносним (напруга 12-36 В) і служить для освітлення тільки робочих місць.

Застосування одного місцевого освітлення санітарними нормами не допускається, оскільки одне місцеве освітлення не забезпечує достатню рівномірність освітлення сусідніх зон. При цьому потрібно мати на увазі, що освітленість робочої поверхні, створювана світильниками загального освітлення, при системі комбінованого освітлення має становити 10% від норми, але не менше 150 лк при використанні газорозрядних ламп і 50 лк при лампах розжарювання.

Аварійне освітлення – освітлення для продовження роботи при аварійному відключенні робочого освітлення. Аварійне освітлення передбачається, якщо відключення робочого освітлення може викликати:

- вибухи, пожежі, отруєння людей;
- тривале порушення технологічного процесу;
- порушення роботи таких об'єктів, як електростанції, насосні станції водопостачання, каналізації і теплофікації та ін.

Світильники аварійного освітлення повинні відрізнятися від світильників робочого освітлення спеціально нанесеною літерою "А" червоного кольору.

Живлення аварійного освітлення має бути надійним і здійснюватися від незалежного джерела постачання (акумулятор, дизельна електростанція (ДЕС), система шин від інших джерел живлення). При зникненні напруги на робочих шинах мережа аварійного освітлення автоматично вмикається.

Евакуаційне освітлення (аварійне освітлення для евакуації) – освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення.

Евакуаційне освітлення створюється в місцях, небезпечних для проходження людей, у проходах і на сходах, передбачених для евакуації людей (до 50 осіб) та основними проходами виробничих приміщень, у яких працює понад 50 осіб. На відкритих територіях  $E_{\min} = 0,2$  лк, у приміщеннях  $E_{\min} = 0,5$  лк.

### **Природне освітлення**

Визначається коефіцієнтом природної освітленості (КЕО), який є відношенням у відсотках освітленості в даній точці приміщення до спостережуваної на тому ж рівні, в той час освітленості просто неба (%):

Приблизно природне освітлення здійснюється через світлові отвори в стінах будівель (бічне світло) або в світлових ліхтарях (верхнє світло), розраховують виходячи з відношення площі світлових отворів до площі підлоги (світловий коефіцієнт).

### **Штучне освітлення**

Розраховуємо освітлення для приміщення ЦПК, яке відноситься до третього розряду (точні роботи).

### **Заходи боротьби з шумом і вібрацією**

Для зниження рівня шуму, що з'являється при руху газу і рідин по трубопроводах, застосовують трубопроводи більшого діаметра для зниження швидкості руху й шуму відповідно.

Рівень шуму в робочих зонах установки залежно від загальної кількості годин, протягом яких робочий персонал надовго впливу шуму, не повинен перевищувати наступних значень:

Для забезпечення безшумної роботи вентиляційних установок передбачено:

Для попередження захворювань від впливу шуму, велике значення має застосування індивідуальних засобів захисту:

- а) антифони, протишумні навушники типу ВЦННІОТ;
- б) протишумні каски - призначені для захисту працюючих від впливу шуму з рівнем до 120 Дб;

в) вкладиші «Беруши»

Засоби захисту від вібрації - віброзахисне взуття і рукавиці.

Для усунення шуму й вібрації встаткування застосовують ізоляцію з пружних матеріалів .

### **Засоби боротьби з пилом**

Основним видом пилу на виробництві є роздроблені гранули аміачної селітри. Пил з'являється при механічному руйнуванні гранул селітри.

Основним напрямком боротьби з пилом на виробництві є попередження його утворення і надходження в повітря. Цей апарат встановлений на відкритому майданчику, але роботи проводяться всередині апарата і пиловидалення не можна попередити. Тому рекомендується застосовувати індивідуальні захисні засоби: респіратори типу «Лепесток», шлангові протигази ПШ-1, ПШ-2, захисні окуляри.

### **Заходи захисту від статичної електрики**

До таких способів ставлять захисне заземлення всіх металевих частин, а також захисне занулення.

Захисне занулення використовується для електродвигунів, використовуваних на проектованому виробництві.

Для відведення статичної електрики, що накопичується на людині, робітників забезпечують струмопровідним взуттям, забороняється одяг із синтетичних матеріалів і шовку, а також кільця й металеві прикраси.

Заземленню на виробництві підлягають:

Заходи електробезпеки

Щоб уникнути електротравматизму роблять недоступними струмопровідні потенціалу.

При поразки електричним струмом необхідно швидко звільнити потерпілого від дії електроструму. Для цього необхідно негайно частини (під напругою), електророзподільні мережі, застосування заземлюючих пристроїв, застосовується мала напруга, установка запобіжних вимикачів, застосування 2-ої ізоляції, вирівнювання відключити установку, встаткування або лінію, якої

стосується потерпілий. Якщо потерпілий перебуває на висоті вжити заходів, що забезпечують безпеку падіння його після відключення електроструму.

При неможливості відключення установки, встаткування або лінії необхідно швидко відокремити потерпілого від струмоведучих частин. Для цього необхідно скористатися гумовими рукавичками, сухим одягом, дошкою або іншими сухими неметалічними предметами, що не проводять електричний струм.

Звільнити потерпілого від одягу, що стискує. Якщо потерпілий не дихає, робити йому штучне дихання з одночасним непрямим масажем серця, негайно викликати швидку медичну допомогу.

Якщо потерпілий знепритомнів, але дихає потрібно привести його в почуття, не допускаючи западання язика.

Прокожен нещасний випадок, що пов'язаний з виробництвом, сам потерпілий або свідок нещасного випадку зобов'язаний негайно сповістити начальника зміни й начальника цеху.

Всі електроустановки виробництва аміачної селітри мають надійну електроізоляцію. Електропроводка монтується закритою.

Для усунення переходу напруги на корпус апарата і на неструмоведучі частини електричного й технологічного встаткування при замиканні на них однієї з фаз, застосовують захисне заземлення.

До заходів щодо електробезпечності відносяться: забезпечення недоступності струмоведучих частин, які перебувають під напругою; усунення небезпеки поразки з появою напруги на корпусах, частинах електроустановки, що досягається використанням малих напруг, застосуванням подвійної ізоляції; організація безпечної експлуатації електроустановок.

Розрахунок заземлюючого контуру, установки для проєктованого виробництва аміачної селітри здійснюють, виходячи з умови, що загальний опір заземлюючого контуру  $R_{ззп}$  повинен бути меншим за 4 Ом.

### **Заходи пожежної безпеки**

Для забезпечення пожежної безпеки й дотримання протипожежного режиму необхідно:

- не допускати паління на території і у виробничих приміщеннях, розведення багать, використання сірників,
- не допускати застосування відкритого вогню, газо- і електрозварювальних робіт без оформлення дозволу на вогневі роботи,
- не допускати зберігання горючих і мастильних матеріалів, балонів з киснем, ацетиленом у непередбачених для цих місцях, спільне зберігання балонів з киснем і ацетиленом,
- не допускати захаращення проходів, виходів і підходів до засобів пожежогасіння, сигналізації, зв'язку,
- - все електроустаткування повинне бути надійно заземлено,
- при загорянні електроустаткування або приладів КІПіА в першу чергу необхідно виключити електроживлення. Гасіння сухим піском, азбестовим полотном, порошковим і вуглекислотним вогнегасниками.

*Спеціальні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки процесу*

Для забезпечення пожежної безпеки процесу виробництва передбачені:

- блокування по температурі плаву понад 185 °С,
- щомісячне чищення устаткування й прибирання території у відділенні

Вимоги до утримання приміщень, примикаючих територій, проходів, проїздів.

У приміщеннях і зовнішніх установках всі проходи, евакуаційні виходи, тамбури, сходи, коридори, підступи до виробничого устаткування, засобом пожежогасіння, зв'язку й пожежній сигналізації завжди повинні бути вільними.

Протипожежні системи, установки, устаткування приміщень, будівель і споруджень повинні постійно утримуватися в справному робочому стані.

Прорізи в стінах, перегородки, перекриття повинні бути обладнані захисними пристроями проти поширення вогню й продуктів горіння. Не

допускається встановлювати будь-які пристосування, що перешкоджають довільному закриттю дверей, а також знімати пристрої, що самозакриваються.

Стаціонарні зовнішні пожежні сходи, сходи на перепадах висот і огороження на дахах (покриття) будинків повинні втримуватися в постійній справності й бути пофарбованими.

У технологічних приміщеннях повинна бути забезпечена справна й безперебійна робота всіх вентиляційних пристроїв.

Експлуатація нагрівальних приладів, крім систем центрального й повітряного опалення, не дозволяється.

*Засоби пожежогасіння, призначення й правила їхнього застосування.*

Для пожежогасіння застосовуються ящики з піском, азбестове полотно, вогнегасники, комунікації пожежної води з пожежними кранами й рукавами, системи пожежогасіння.

Основними вогнегасними засобами є: вода, водяна пара, пісок, азбестове полотно, вогнегасники вуглекислотні й порошкові.

Вогнегасники ОУ-2, ОУ-5 застосовуються для гасіння твердих речовин, легкозаймистих і горючих рідин, електричних установок, що перебувають під напругою до 380 В.

Для гасіння устаткування, що перебуває під напругою до 1140 В, а також горючих речовин, використовуються порошкові вогнегасники ОП-5 і ОП-10. Для їхнього заповнення використовуються порошки, що не працюють корозійного впливу на устаткування. Вогнегасна дія вогнегасника заснована на тому, що робочий газ вогнегасника розпорошує порошок, при цьому створюється вогнегасна хмара.

Пісок застосовується в тих місцях, де варто очікувати розливу невеликих кількостей легкозаймистих і горючих рідин. Пісок зберігають у ящиках. Для закидання піском місць загорянь необхідно мати совок або лопату.

**Безпека виробництва забезпечується наступними заходами:**

1. Передбачена аварійна світлозвукова сигналізація відхилень від норм основних параметрів технологічного процесу й стану роботи машин і апаратів.
2. Для виключення можливості переливів і переповнення ємнісного встаткування передбачена світлова й звукова сигналізація максимальних рівнів.
3. На фланцевих з'єднаннях трубопроводів, по яких транспортується азотна кислота, повинні бути встановлені захисні кожухи.
4. Трубопроводи, що транспортують газоподібний аміак, повинні бути заземлені.
5. Для захисту устаткування від підвищення тиску газоподібного аміаку, пари передбачені запобіжні клапани.
6. На токсичних і вибухонебезпечних середовищах застосована сталева арматура з ущільнювальною поверхнею « шип-паз» або « виступ-западина».
7. Всі робочі місця цеху пов'язані із центральним пультом керування телефонами технологічного зв'язку.
8. Слюсарний інструмент для роботи на газопроводах аміаку при ревізії і ремонті повинен виключати іскроутворення.
9. Щоб уникнути травм всі обертові й частини, що рухаються, машин і механізмів надійно обгороджені. Змащення й ремонт обертювих і частин, що рухаються, механізмів і машин на ходу забороняється.

**Основні вимоги правил техніки безпеки при ремонті та монтажі технологічного устаткування.**

1. До ремонту устаткування можна приступати, переконавшись у відключенні ремонтюванюго обладнання запірними арматурами, заглушками, установленими на комунікаціях входу й виходу речовин.
2. Одночасне розбирання конструкцій або демонтаж устаткування у двох або більше ярусах по одній вертикалі не допускаються. При проведенні робіт в одній вертикалі, нижче розташовані робочі місця повинні бути обладнані захисними пристроями (сітки, козирки).

3. Рознімання фланцевих з'єднань працюючих під тиском, робити поступовою паралельним відпуском протилежних болтів або шпильок до розкриття фланцевого з'єднання.

4. Затягування гайок при ремонті повинно бути рівномірним, щоб уникнути перенапруги в окремих болтах.

5. Під час складання й стикування секцій устаткування не застосовувати сторонні предмети.

6. Працювати інструментом, що відповідають наступним вимогам:

- кувалди й молотки повинні бути насаджені на рукоятки овального перетину, розклинені металевими клинами й виготовлені з дерева твердих порід (дуб, клен),

- гайкові ключі повинні бути справними й відповідати розмірам болтів і гайок, нарощувати довжину ключів іншими предметами забороняється.

7. До роботи з вантажопідйомними механізмами, до стропування вантажів допускаються спеціально навчені особи.

8. Забороняється застосовувати для стропування деталей несправні вантажозахватні пристрої, а також стропи, що не мають бирок.

Під час перерв у роботі не залишати підняті елементи обладнання у висячому положенні.

При роботі з вантажопідйомними механізмами не стояти під піднімаючим вантажем, і не допускати сторонніх у зону роботи.

9. Для живлення світильників повинне застосовуватися напруга не вище 12 В.



## ВИСНОВКИ

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

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

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

- 1) діаметр колони – 1200 мм;
- 2) висота колони – 16800 мм;
- 3) відстань між тарілками – 500 мм;
- 4) кількість тарілок – 29 шт;
- 5) діаметр кип'ятильника – 325 мм;
- 6) діаметр трубок – 20x2 мм;
- 7) довжина трубок – 2000 мм;
- 8) кількість трубок – 100 шт;

Визначено діаметри штуцерів, підібрані стандартні конструктивні елементи.

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

## ЛІТЕРАТУРА

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
2. Методические указания к выполнению курсовой работы на тему “Расчет ректификационной установки непрерывного действия”. - Ильиных А.А., Носач В.А., Резанцев И.Р., 2005 – 90с.
3. Отраслевой стандарт (Ост 26-01-1488-83).
4. Доманский И.В., Исаков В.П. и др. Под общей редакцией Соколова В.Н. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
5. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справочник/Под редакцией Судакова Е.Н., 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 568 с.
6. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Под ред. Дытнерского Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии, 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
7. Коган В.Б., Фридман В.М., Кафаров В.В. Равновесие между жидкостью и паром. Справочное пособие, книга 1-я и 2-я. – М.-Л.: Наука, 1966. – 640 с. + 786 с.
8. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
9. Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу "Процессы и аппараты химической промышленности". – Л.: Химия, 1985. – 54 с.
10. Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.
11. Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.
12. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
13. В.В. 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. – Сєверодонецьк, 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. Сєверодонецьк, 2003. – 24 с.

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

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