

## ЗМІСТ

Вступ.....	.....
Перелік умовних позначень.....	.....
1. Аналітичний огляд.....	.....
1.1 Перегонка рідини.....	.....
1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини.....	.....
1.3 Конструкція теплообмінного обладнання.....	.....
2. Опис технологічної схеми та конструкції обладнання.....	.....
2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони.....	.....
2.2 Опис конструкції підігрівача.....	.....
3. Конструкційні матеріали для виготовлення підігрівача.....	.....
4. Визначення основних розмірів колони та підігрівача.....	.....
4.1 Розрахунки насадочної ректифікаційної колони для розділення суміші сірковуглець - чотирихлористий вуглець продуктивністю 6,0 т/год по дистилляту.....	.....
4.2 Теплові розрахунки підігрівача.....	.....
5. Аналіз впливу конструктивних особливостей контактних пристроїв на розміри колонного апарата.....	.....
6. Розрахунки на міцність елементів підігрівача.....	.....
6.1 Вихідні дані.....	.....
6.2 Розрахунки на міцність підігрівача.....	.....
6.3 Розрахунки кожуха підігрівача.....	.....
6.4 Визначення товщини трубних решіток.....	.....
6.5 Визначення допоміжних величин.....	.....
6.6 Розрахунки лінзового компенсатора.....	.....
6.7 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість.....	.....
7 Технологія виготовлення дефлегматора.....	.....
7.1 Виготовлення обичайок.....	.....
7.2 Виготовлення еліптичних днищ.....	.....
7.3 Встановлення штуцерів.....	.....
7.4 Збирання й зварювання корпусу.....	.....
7.5 Кріплення труб в трубних решітках.....	.....
7.6 Розвальцьовування труб.....	.....
7.7 Зварювання труб з трубними решітками.....	.....
7.8 Збирання підігрівача.....	.....
7.9 Випробування після виготовлення.....	.....
8. Ремонт підігрівача.....	.....
8.1 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту.....	.....

8.2	Планово-попереджувальні ремонти для теплообмінного обладнання .....
8.3	Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів .....
8.4	Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки .....
9	Техніка безпеки .....
	Висновки.....
	Література.....

## 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 бінарної 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.);

$X_{cp}^g$  – 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;

$t_{xcp}^g$  – 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;

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

$U_{cp}^s$  – 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;

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

$t_{Ycp}^n$  – 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;

$H_{\text{сеп}}$  – 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;  
 $G_e$  – витрата охолодної води, кг/с;  
 $r_p$  – питома теплота паротворення дистилляту, кДж/кг;  
 $C_B$  – питома теплоємність води, Дж/кг · К;  
 $t_k$  – кінцева температура охолодної води, °С;  
 $t_n$  – початкова температура охолодної води, °С;  
 $t_{p\text{кін}}$  – кінцева температура дистилляту після холодильника, °С;  
 $Q_K$  – кількість тепла, яку треба подати в куб колони, Вт;  
 $C_w$  – питома теплоємність кубового залишку, Дж/кг · К;  
 $C_p$  – питома теплоємність дистилляту, Дж/кг · К;  
 $C_F$  – питома теплоємність вихідної суміші, Дж/кг · К;  
 $[\sigma]^{20}, [\sigma]^t$  – допустима напруга при 20°С та розрахунковій температурі, відповідно, МПа;  
 $t_k$  – розрахункова температура апарату, °С;

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

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

$P_z$  – гідростатичний тиск, МПа;

$\rho_c$  – 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;

$C_s$  – 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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Перегонка рідини

Перегонка рідин - процес, в якому колективна рідка суміш нагрівається до кипіння, а пара, що утворюється відбирається і конденсується. У результаті отримують рідину-конденсат, склад якої відрізняється від складу початкової суміші. Повторюючи багато разів процеси випаровування конденсату і конденсації, можна практично повністю розділити вихідну суміш на чисті складові частини (компоненти). Процес перегонки заснований на тому, що рідини, складові суміш, володіють різним тиском (пружністю) пари при одній і тій же температурі. Тому склад пара, а отже, і склад рідини, що виходить при конденсації пари, будуть дещо відрізнятися від складу початкової суміші: легколетучого компонента в парі буде міститися більше, ніж у перегониться рідини. Очевидно, що в невипарених рідини концентрація важколетучого компонента при цьому повинна збільшитися. У простому випадку перегонка майже не відрізняється від випарки. При випарюванні піддаються розчини, що складаються з летючого розчинника і практично нелетючої розчиненої речовини, а при перегонці в пар переходять і розчинник, і розчинена речовина. Перегонка є одним з найважливіших технологічних процесів розділення і очищення рідин і зріджених газів в хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, харчової та інших галузях промисловості. Перегонку поділяють на два основних види: просту перегонку (або дистиляцію) і ректифікацію. До простий перегонки відносять також перегонку з водяною парою, і молекулярну дистиляцію. Під простий перегонкою розуміють процес одноразового часткового випаровування вихідної рідкої суміші і конденсації утворюються при цьому парів. Її застосовують для розділення сумішей, що представляють собою Легколетюча речовина з деяким вмістом вельми важколетких речовин. Зазвичай просту перегонку використовують для попереднього розділення, очищення речовин від домішок, смол, забруднень. При цьому сконденсовані пари називають дистилятом, а решту пропареної рідини - залишком. За допомогою простої перегонки неможливо розділити суміш на відносно чисті

компоненти. Цього досягають ускладненим процесом перегонки — ректифікацією. Щоб здійснити процес ректифікації, між дистиляційним кубом і дефлегматором установлюють ректифікаційну колону, в якій відбувається контакт потоку пари, що рухається вгору, і флегми, що стікає вниз. Зустрічні потоки пари і рідини у будь-якому перерізі колони нерівноважні, тому між ними існує перерозподіл компонентів у напрямку встановлення фазової рівноваги. Щоб забезпечити тісний контакт між парою і рідиною, в колонах установлюють спеціальні пристрої — так звані тарілки, або контакт відбувається в шарі насадки, що заповнює колону. Здійснюючи послідовно у протитечії багаторазовий контакт нерівноважних потоків парової і рідкої фаз, можна змінити їхній склад до бажаного ступеня. В цьому й полягає суть ректифікації. Ректифікацію здійснюють в установках періодичної або безперервної дії. В установках періодичної дії вихідну суміш заливають у дистиляційний куб, де її підігрівають до кипіння, а потім безперервно кип'ятять. Утворювана пара надходить у колону, зрошувану флегмою. Частина пари, що не сконденсувалася у дефлегматорі, надходить у конденсатор, конденсат (дистилят) з якого відводиться у збірник дистиляту. Ректифікацію проводять доти, доки рідина в кубі (кубовий залишок) не досягне заданого складу. Після цього припиняють підігрівання кубової рідини, кубовий залишок вилучають, а куб знову заповнюють вихідною сумішшю, тобто процес повторюється. Ректифікаційні установки періодичної дії використовують найчастіше у виноробстві (виробництві коньяку) та на невеликих спиртових заводах. Недоліком установок періодичної дії є необхідність безперервного збільшення флегмового числа, тобто зменшення продуктивності установки для забезпечення заданого складу дистиляту, тоді як частка ЛЛК у кубі безперервно зменшується. Недоліком також є нерівномірність у часі споживання установкою енергії та охолоджувального агента. В установках безперервної дії вихідну суміш (живлення) безперервно подають у колону і так само безперервно відводять дистилят з конденсатора і кубовий залишок з кубової частини колони. Ректифікаційна колона в установках безперервної дії може

бути повною, тобто має нижню, виснажну (відгонну) та верхню, концентраційну частини, або неповною, що має тільки виснажну, або тільки концентраційну частину. У виснажній частині повної колони ЛЛК вилучається з вихідної суміші за допомогою пари, що рухається протитечією. В концентраційній частині збільшується вміст ЛЛК в парі, що рухається вгору, за рахунок флегми. Вихідна суміш може надходити у вигляді пари або рідини. Місцем надходження вихідної суміші є межа між виснажною та концентраційною частинами. У неповну виснажну колону живлення подають тільки в рідкому стані на верхню тарілку, в неповну концентраційну колону — тільки у паровому стані під нижню тарілку. У повних і неповних концентраційних колонах зрошення здійснюють флегмою. Дистиллят відбирають після повної або часткової конденсації пари в дефлегматорі. Зрошення неповної виснажної колони здійснюють рідким живленням, яке подають на верхню тарілку.

## **1.2 Апаратне 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

розміщають 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 (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 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, 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 проходження газу через зливальне обладнання.

Принцип роботи колон такого типу показаний на рис. 1.1 на прикладі колони з ковпачковими тарілками. Рідина подається на верхню тарілку, рухається уздовж тарілки від одного зливального обладнання до іншого, перетікає з тарілки на тарілку й віддаляється з нижньої частини абсорбера. Пара надходить у нижню частину абсорбера, проходить через прорізи ковпачків (в інших абсорберах – через щілини і т.д.) і потім попадає в шар рідини на тарілці. При цьому пара в рідині розподіляється у вигляді пухирців і струменів, утворюючи в ній шар піни, у якій відбуваються основні процеси масо- і теплопереносу. Пройшовши через усі тарілки, пару йде з верхньої частини апарату.

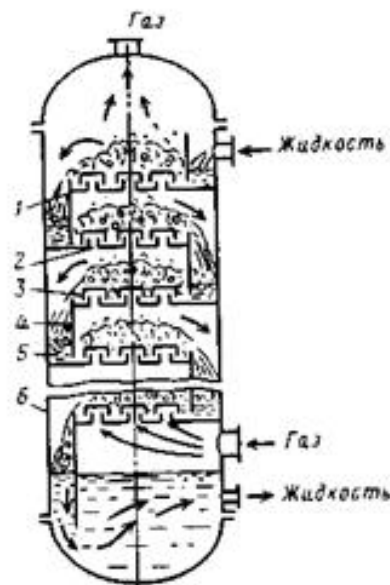


Рис. 1.1 Тарічаста колона з ковпачковими тарілками: 1-тарілки; 2-газові (парові) патрубки; 3-ковпачки; 4-переточні перегородки (труби); 5-гідравлічні затвори; 6-корпус колонни.

Ковпачкові тарілки стійко працюють при значних змінах навантажень по парі й рідині й вони мало чутливі до забруднень і опадом. Але недоліки ковпачкових тарілок досить істотні – вони складні в обладнанні, для їхнього

виготовлення потрібні більші витрати металу, вони відрізняються більшим гідравлічним опором і малою гранично припустимою швидкістю пари.

Сітчасті тарілки. Ці тарілки (рис. 1.2) 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.

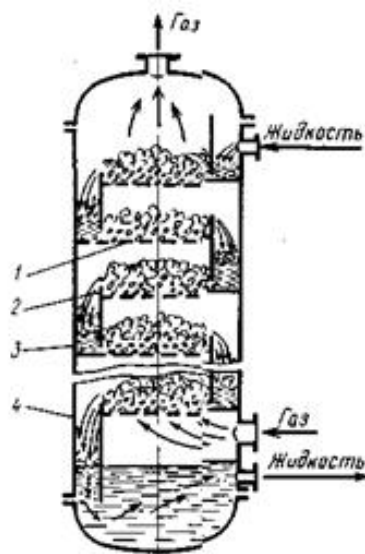


Рис. 1.2 Тарічаста колона із сітчастими тарілками

Клапанні тарілки. Принцип дії цих тарілок (рис.1.3) полягає в тому, що клапан 2, що вільно лежить над отвором у тарілці 1, зі зміною витрати пари збільшує підйом і, відповідно, площа зазору між клапаном і площиною тарілки для проходу пари. Тому швидкість пари в цьому зазорі, а значить і у вході в шар рідини на тарілці, залишається постійною, що забезпечує незмінно ефективну роботу тарілки. Гідравлічний опір тарілки при цьому збільшується незначно. Висота підйому клапана визначається висотою обмежувача 7.



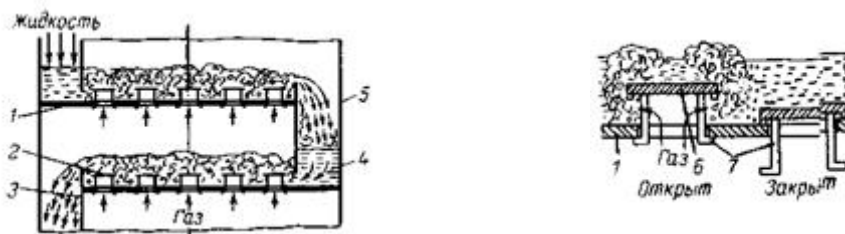


Рис. 1.3 Клапанні тарілки.

До достоїнств клапанних тарілок слід віднести їхню гідродинамічну стійкість і високу ефективність у широкому інтервалі зміни навантажень по пару. До недоліків цих тарілок відносяться їхній підвищений гідравлічний опір і ускладнена конструкція тарілки.

Колони з тарілками без зливальних обладнань. У тарілці без зливальних обладнань (рис. 1.4) пара й рідина проходять через ті самі отвори або щілини. При цьому одночасно із взаємодією фаз на тарілці відбувається стік рідини на нижчерозташовану тарілку – «провалювання» рідини.

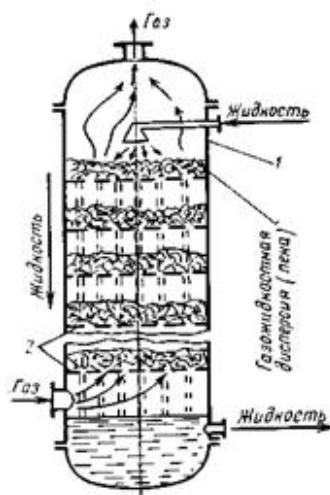


Рис. 1.4 Тарілчаста колона без зливальних обладнань

### 1.3 Конструкція підігрівача

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 багатоходові;

- за компонованням - одинарні та здвоєні;

- за матеріальним виконанням - основні вузли і деталі з вуглецевої, низьколегованої, корозійностійкої сталі, латуні та титану.

## 2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ

### 2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони

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

- колона **5**;
- ємності **1, 12, 9**;
- насоси **2, 10**;
- підігрівник вихідної суміші **3**;
- холодильники **11,8**;
- кип'ятильник **5**;
- дефлегматор **6**.

Установка працює наступним чином:

Принципова ректифікаційна установка безперервної дії представлена на рис. 2.1. Вихідну суміш сірковуглець - чотири хлористий вуглець із проміжної ємності 1 відцентровим насосом 2 подають у підігрівник 3, де вона підігрівається за рахунок тепла конденсації пари, що гріє, до температури кипіння. Нагріта суміш поступає на поділ в ректифікаційну колону 4 на тарілку живлення і далі стікає вниз колони, де взаємодіє з парою, яка утворилась при кипінні кубової рідини у кип'ятильнику 5. Початковий склад пари приблизно рівний складу кубового залишку, який збіднений легколетким компонентом – серовуглеця. В колоні на тарілках в результаті масообміну з рідиною пара збагачується метанолом, так як він є легколетким компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують флегмою, яка утворилась у дефлегматорі 6 при конденсації пари у зв'язку з контактом через теплообмінну поверхню з охолоджувальною водою.

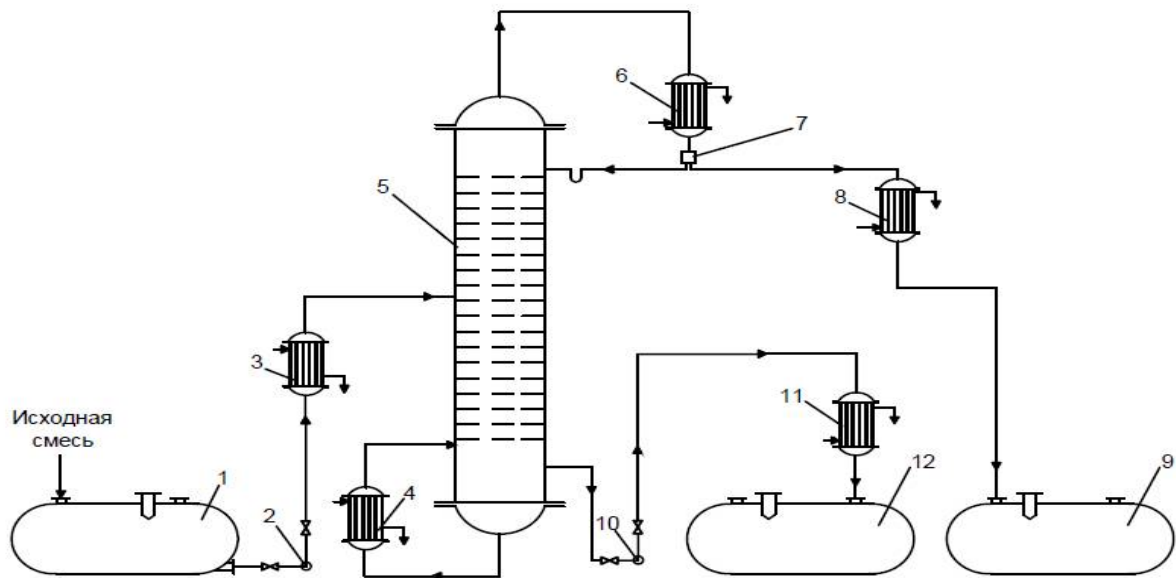


Рис. 2.1 – Схема ректифікаційній установці

Друга частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту – дистиляту, який охолоджується в холодильнику дистиляту 7, проходить конденсатовідводчик 8 та направляється у проміжну ємність дистиляту 9. З кубової частини колони самопливом безперервно виводиться кубовий залишок, який збагачений водою, так як вона є важколетким компонентом. Кубовий залишок охолоджують у холодильнику кубового залишку 10 і направляють у проміжну ємність кубового залишку 11.

Таким чином, у ректифікаційній колоні здійснюється безперервний нерівноважний процес поділу вихідної суміші метанол – вода на дистилят, який в основному містить метанол, та кубовий залишок, який в основному містить воду.

Колона з сітчастими тарілками (рис.2.2) призначена для розділення суміші сірковуглець - чотирихлористий вуглець продуктивністю 6,0 т/год по дистиляту.

Колона із сітчастими тарілками являє собою вертикальний циліндричний корпус із горизонтальними тарілками, у яких рівномірно по всій поверхні просвердлене значне число отворів діаметром 2–8 мм. Для зливу рідини й регулювання її рівня на тарілці служать переливні трубки, нижні кінці яких занурені в склянки.

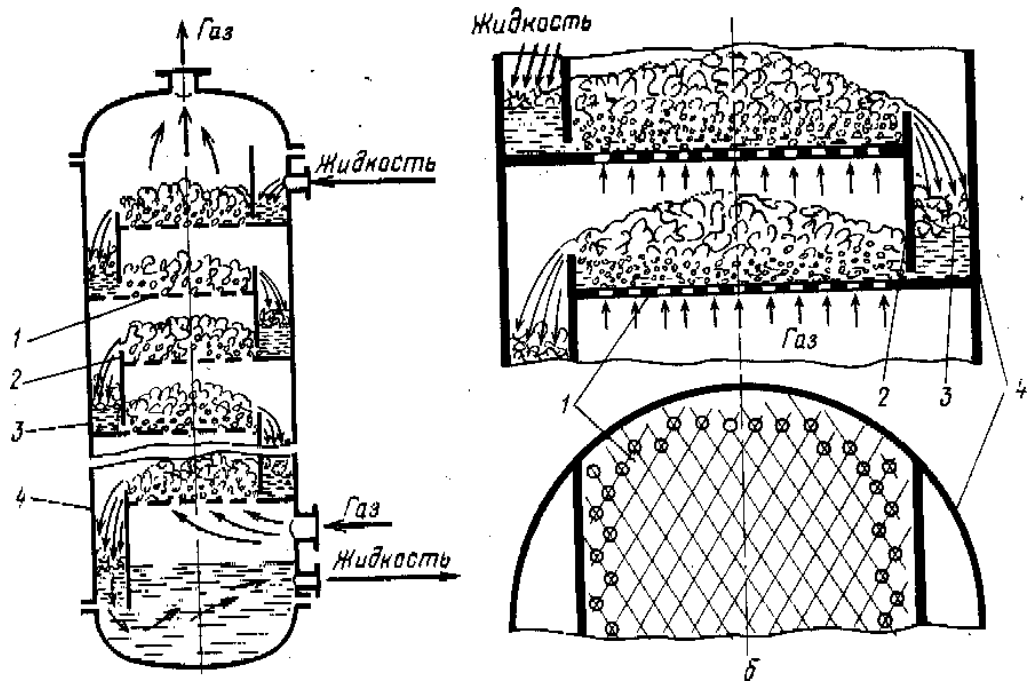


Рис. 2.2 – Колона з сітчастими тарілками.

Газ проходить крізь отвори тарілки й розподіляється в рідині у вигляді дрібних струмків і пухирців. При занадто малій швидкості газу рідина може просочуватися через отвори тарілки на нижчерозташована, 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 підігрівач

Підігрівач зображено на рис. 2.3. Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з нерухомими трубними решітками є найпростішими за конструкцією, достатньо зручними при експлуатації та ремонті (можлива механічна очистка внутрішньої поверхні та заміна пошкоджених труб). Проте їх застосування обмежується порівняно невеликою різницею температур кожуха та теплообмінних труб (до 30-60 °С), а також неможливістю механічної очистки зовнішньої поверхні труб. Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з температурним (лінзовим) компенсатором на кожусі застосовуються при більш високих різницях температур, але при цьому знижується умовний тиск у міжтрубному просторі та декілька ускладнюється конструкція апарата.

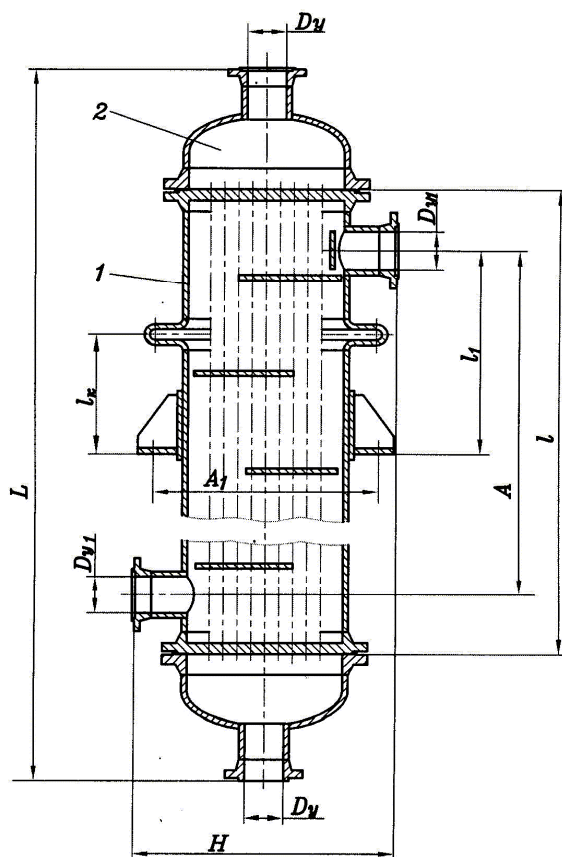


Рис. 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі вертикальний одноходовий по трубам (підігрівач вихідної суміші)

### **3. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ**

#### **ПІДІГРІВАЧА**

Широкий спектр використовуваних в апаратобудуванні матеріалів пояснюється різноманіттям реалізованих у виробі галузі фізико-хімічних процесів і способів виготовлення апаратів, охоплюючих майже всі види обробки: лиття, кування, штампування, обробку тиском, різання, зварювання, хімічну і термічну обробку.

Тому при виборі матеріала необхідно враховувати цілий комплекс показників, в тому числі міцність, теплопровідність, стійкість до різних видів корозії, вплив матеріалу на робоче середовище, лінійні властивості, зварюваність і т.д. Важливий фактор, що визначає конкурентоспроможність обладнання, є також вартість вихідного матеріалу і його дефіцитність на ринку металів.

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

Для кожного типу сталевих кожухо-трубчастих апаратів у залежності від їх призначення матеріали регламентовано відповідними ГОСТами.

В якості конструкційного матеріалу для основних деталей апарата вибираємо сталь 10X17M13N2T, яка використовується для виготовлення деталей хімічної апаратури при роботі з агресивними середовищами.



## 4. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ПІДГРІВАЧА

4.1 Розрахунки тарілчастої ректифікаційної колони для розділення суміші сірковуглець - чотирихлористий вуглець продуктивністю 6,0т/год по дистилляту

### 4.1.1 Вихідні дані

Продуктивність за дистиллятом	- 6,0 т/год.
Концентрація метанолу:	
у вихідній суміші	- $a_F = 40,0\%$ (мас.),
в дистилляті	- $a_P = 97,5\%$ (мас.),
в кубовому залишку	- $a_W = 1,8\%$ (мас.).
Температура:	
охладжуючої води	- 12 °С,
дистилляту після холодильника	- 22 °С,
кубового залишку після холодильника	- 23 °С,
вихідної суміші	- 20 °С.
Тиск насиченої водяної пари	- 5,0ата.
Коефіцієнт надлишку флегми	- 2,0
Молярні маси:	
сірковуглець	- 76.1 г/моль,
чотирихлористий вуглець	- 153,82 г/моль.
Температури кипіння:	
сірковуглець	- 46°С,
чотирихлористий вуглець	- 76,75°С.
Швидкість руху пару по колоні	- 0,8 м/с.
ККД тарілки	- 0,9.
Відстань між тарілками	- 500 мм.
Діаметр отворів в тарілці	- 3 мм.
Колона працює під атмосферним тиском.	
Вихідна суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння.	

#### 4.1.2 Визначення продуктивності за вихідною сумішшю і кубовим залишком

Продуктивність колони за вихідною сумішшю визначаємо за формулою:

Продуктивність колони за кубовим залишком визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_D = 6000 - 2394,98 = 3605,02 \text{ кг/ч} = 1,001 \text{ кг/с.}$$

Перевірка:

$$6000 \cdot 0,4 = 2394,98 \cdot 0,975 + 3605,02 \cdot 0,018$$
$$2400 = 2400$$

#### 4.1.3 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні за формулою:

$$X = \frac{\frac{a}{M_A}}{\frac{a}{M_A} + \frac{1-a}{M_B}},$$

де  $X$  – концентрація низькокиплячого компонента А (сірвуглеця) в бінарній суміші, мол. частки;  $a$  – вміст низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мас. частки;  $M_A$ ,  $M_B$  – молярна маса компонента А і В (відповідно).

Тоді концентрація вихідної суміші:

;

дистиляту:

;

кубового залишку:

Мінімальне флегмове число визначаємо графоаналітичним способом. Для цього на підставі дослідних даних в координатах у-х будуємо криву рівноваги для суміші метанол-вода при атмосферному тиску (рис.1) і криву температур кипіння і конденсації (рис.2).

Таблиця 1 - Рівноважні дані для суміші метанол-вода.

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
в рідині (x)	в парі (y)	
0	0,0	76,7
5	13,2	73,7
10	24	71
20	42,3	66
30	54,4	62,3
40	64,5	59
50	72,6	56,1
60	79,1	53,7
70	84,8	51,6
80	90,1	49,6
90	95	47,9

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
в рідині (x)	в парі (y)	
100	100,0	46,3

На діаграмі у-х з точки  $(x_p = y_p)$  через точку  $(x_F, y_F^*)$  проводимо пряму лінію до перетину з віссю у. Відрізок, що відсікається на осі у, позначимо через  $B_{\max} = 0,543$ . За величиною цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{x_p}{B_{\max}} - 1 = \frac{98,7}{50} - 1 = 0,974$$

Дійсне флегмове число:

$$R = K_R \cdot R_{\min} = 2,0 \cdot 0,974 = 1,974.$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа  $R = 1,17$  (рис.1): для цього на осі у відкладаємо

відрізок  $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,987}{1,948+1} = 0,3348$ , кінець якого з'єднуємо прямою з точкою

$(x_p = y_p)$ ; точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією, проведеної з абсциси  $x_F$ , і точку  $(x_F, y_F)$  з'єднуємо з точкою  $(x_W = y_W)$ . Отримані лінії є робочими лініями для верхньої і нижньої частин колони, відповідно.

кінець якого з'єднуємо прямою з точкою, яка має координати  $(x_D = y_D)$ . Точку перехрестя цієї прямої з вертикальною лінією, яка установлена в точці  $x_F$  вісі абсцис, що має координати  $(x_F, y_F)$ . Та, кінець кінцем, з'єднують с точкою  $(x_W = y_W)$ . Лінії, які є відповідно робочими лініями для верхньої та нижньої частин ректифікаційної колони.

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

Рідкафаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$x_{сер}^H = \frac{x_W + x_F}{2} = \frac{0,5739 + 0,0357}{2} = 0,3048$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$x_{сер}^G = \frac{x_F + x_D}{2} = \frac{0,5739 + 0,9874}{2} = 0,7806$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$x_{сер} = \frac{x_{сер}^H + x_{сер}^G}{2} = \frac{0,2748 + 0,7806}{2} = 0,542$$

Середня масова концентрація по колоні:

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{x\text{сеп}}^H = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{74 + 54}{2} = 64 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{x\text{сеп}}^e = \frac{t_{XF} + t_{XD}}{2} = \frac{54 + 46}{2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

$$t_{x\text{сеп}} = \frac{t_{x\text{сеп}}^H + t_{x\text{сеп}}^e}{2} = \frac{64 + 50}{2} = 57 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Значення  $t_{XW}$ ,  $t_{XF}$ ,  $t_{XD}$  взяті з діаграми  $t - x$ ,  $y$  (рис. 2).

Середня мольна маса:

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

$$M_{x\text{ср}} = 76,13 \cdot 0,5277 + 158,84 \cdot (1 - 0,5277) = 112,8324 \text{ кг/кмоль}$$

Середня густина визначається по формулі:

де  $\rho_A$  і  $\rho_B$  – густина компонентів А і В при температурі  $t_{x\text{ср}}$ .

$$t_{x\text{ср}} = 54 \text{ }^\circ\text{C}; \rho_A = 1522,85 \text{ кг/м}^3, \rho_B = 1204,95 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{x\text{ср}} = \frac{1522,85 \cdot 1204,95}{1204,95 \cdot 0,356 + 1522,85(1 - 0,356)} = 1301,68 \text{ кг/м}^3.$$

Середнє значення поверхневого натягу визначається за рівнянням:

$$\sigma_{x\text{ср}} = \sigma_A \cdot X_{\text{ср}} + \sigma_B \cdot (1 - X_{\text{ср}}),$$

де  $\sigma_A$  і  $\sigma_B$  – поверхневі натяги компонентів А і В, Н/м.

Поверхневий натяг при  $t_{x\text{ср}} = 57 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\sigma_A = 22,37 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}, \sigma_B = 26,935 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

$$\sigma_{x\text{ср}} = 22,37 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5277 + 26,935 \cdot 10^{-3} (1 - 0,5277) = 24,526 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}.$$

Парова фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{\text{ср}}^H = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,0357 + 0,573}{2} = 0,304.$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{сер}^6 = \frac{y_F + y_D}{2} = \frac{0,573 + 0,987}{2} = 0,78.$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{сер} = \frac{y_{сер}^H + y_{сер}^6}{2} = \frac{0,304 + 0,78}{2} = 0,542.$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{сер}}^H = 69 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y_{сер}}^6 = 54,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температури  $t_{y_{сер}}^H$ ,  $t_{y_{сер}}^6$  знайдені з діаграми  $t - x$ ,  $y$  (рис. 2).

Середня температура по колоні:

$$t_{y_{сер}} = \frac{t_{y_{сер}}^H + t_{y_{сер}}^6}{2} = \frac{69 + 54,2}{2} = 61,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня мольна маса:

$$\begin{aligned} M_{y_{сер}} &= M_A \cdot y_{сер} + M_B \cdot (1 - y_{сер}) = 76,13 \cdot 0,548 + 18 \cdot (1 - 0,548) = \\ &= 111,25 \text{ кг/кмоль.} \end{aligned}$$

Середня густина:

$$\rho_{y_{сер}} = \frac{M_{y_{сер}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T},$$

тут  $T = 273 + t_{y_{сер}}$ ,  $^\circ\text{C}$ ;  $P = 1 \text{ кгс/см}^2$  (тиск в колоні атмосферний).

$$\rho_{y_{сер}} = \frac{111,25}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{334,6} = 3,922 \text{ кг/м}^3.$$

#### 4.1.5 Визначення діаметру колони

Діаметр колони визначаємо за рівнянням:

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

Витрата пари, яка підіймається колоною, може бути розрахована як:

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y_{сер}}} = \frac{G_D \cdot (R + 1)}{\rho_{y_{сер}}} = \frac{2398 \cdot (1,948 + 1)}{3600 \cdot 3,934} = 0,49916 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} = \sqrt{\frac{0,49916}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,892 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони  $D = 1,0$  м і уточнюємо швидкість пару в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,49916}{0,785 \cdot 1^2} = 0,6358 \text{ м/с}$$



#### 4.1.6 Визначення висоти колони

Число дійсних тарілок, яке забезпечує задану чіткість поділу, визначається за формулою:

$$n_{\text{дійсн}} = \frac{n_{\text{теор}}}{\text{КПД}_{\text{тарілки}}},$$

де  $n_{\text{теор}}$  - число теоретичних тарілок в колоні. Визначається як число ступенів в межах концентрацій  $X_W \div X_P$  на графіку  $x-y$  (рис. 1).

В результаті побудови (рис. 1) отримуємо число теоретичних тарілок  $n=11$ , тарілка живлення 4-а знизу. Дійсна тарілка живлення – 5-а знизу.

$$n_{\text{дійсн}} = \frac{n_{\text{теор}}}{\text{КПД}_{\text{тарілки}}} = \frac{15}{0,9} = 16,6 = 17$$

Тоді висота колони

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} = (15 - 1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2,0 = 10,2 \text{ м}$$

#### 4.2 Теплові розрахунки підігрівача

Рівняння теплового балансу для підігрівника вихідної суміші:

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot c_F' \cdot (t_{\text{XF}} - t_{\text{п}}) = G_{\text{г.п.}} \cdot r_{\text{г.п.}},$$

де  $t_{\text{XF}}$  – температура кипіння вихідної суміші;

$t_{\text{п}}$  – початкова температура суміші.

Теплові втрати приймають в розмірі 5% від корисної теплоти, що затрачується.

Питома теплоємність вихідної суміші

где  $c_A, c_B$  – питомі теплоємності метилового спирту та води при середній

температурі  $t_{X_F}^{сер} = \frac{t_{X_F} + t_n}{2} = \frac{54 + 20}{2} = 37 \text{ } ^\circ\text{C};$

$c_A = 0,2414 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; c_B = 0,2119 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, [1, \text{с. } 562];$

$c_F' = 0,4 \cdot 0,2414 + (1 - 0,4) \cdot 1 = 0,223 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 933,701 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$

$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot c_F' (t_{X_F} - t_n) = 1,05 \cdot \frac{6000}{3600} \cdot 933,701 (54 - 20) = 55552,92 \text{ Вт.}$

Витрата пари, що гріє:

$G_{г.п.} = \frac{Q}{r_{г.п.}} = \frac{55552,92}{2117 \cdot 10^3} = 0,02624 \text{ кг/с,}$

де  $r_{г.п.} = 2117 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  при  $P = 5 \text{ кгс/см}^2$ ];

Середня різниця температур

151,1  $\longrightarrow$  151,1

20  $\longrightarrow$  54

Температура насиченої водяної пари при  $P = 5 \text{ кгс/см}^2$  складає  $151,1^\circ$ .

Більша різниця температур:

$\Delta t_б = 151,1 - 20 = 131,1 \text{ } ^\circ\text{C};$

менша різниця температур:

$\Delta t_м = 151,1 - 54 = 97,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$

Так як  $\frac{\Delta t_б}{\Delta t_м} = \frac{131,1}{97,1} = 1,35 < 2$ , то середню різницю температур визначаємо за

рівнянням:

$$\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{м}}{2} = \frac{131,1 + 97,1}{2} = 114,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплопередачі приймають орієнтовно рівним  $250 \text{ Вт/м}^2\text{К}$   
Поверхня теплообміну підігрівника вихідної суміші

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{сер}} = \frac{55552,92}{250 \cdot 114,1} = 1,94 \text{ м}^2.$$

Велика різниця температур вимагає використання теплообмінника з плаваючою головкою згідно каталогам такі теплообмінники серійно випускаються з площею поверхні теплообміну  $10\text{м}^2$  і більше, що істотно перевищує необхідну площу. Тому для можливості використання в якості підігрівача теплообмінника з лінзовим компенсатором на кожусі пропонується знизити параметри пари, що гріє надходить в підігрівачі:  $P_{\text{п}} = 1,232$  (абсолютний тиск), (температура пари).

Середня різниця температур

$$105 \quad \longrightarrow \quad 105$$

$$20 \quad \longrightarrow \quad 54$$

Температура насиченої водяної пари при  $P = 1,232 \text{ кгс/см}^2$  складає  $105^\circ$ .

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\delta} = 105 - 20 = 85 \text{ } ^\circ\text{C};$$

менша різниця температур:

$$\Delta t_{м} = 105 - 54 = 51 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Так як  $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}} = \frac{85}{51} = 1,35 < 2$ , то середню різницю температур визначаємо за

рівнянням:

$$\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{м}}{2} = \frac{85 + 51}{2} = 68 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплопередачі приймають орієнтовно рівним 250 Вт/м<sup>2</sup>·К

Поверхня теплообміну підігрівника вихідної суміші

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{сер}} = \frac{55552,92}{250 \cdot 68} = 3,26 \text{ м}^2.$$

- діаметр кожуха 273 мм;
- труба Ø 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 68 шт.;
- довжина труб 1,0м;
- поверхня теплообміну 4,0 м<sup>2</sup>.

## 6 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕФЛЕГМАТОРА

### 6.1 Вихідні дані

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

Діаметр кожуха $D$ , мм	273
Довжина теплообмінних труб $l$ , мм	1000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби $d_m$ , мм	20
Товщина стінки труби $S_m$ , мм	2
Число ходів по трубах	1
Розрахунковий тиск у трубному просторі, МПа	0,05
Розрахунковий тиск у міжтрубном просторі, МПа	0,5
Розрахункова температура труб, °С	54
Розрахункова температура кожуха, °С	105
Матеріал кожуха	10X17H13M2T
Матеріал кришки	10X17H13M2T
Матеріал трубних решіток та теплообмінних труб	10X17H13M2T
Матеріал прокладки кожуха	пароніт
Матеріал прокладки розподільної камери	пароніт
Середовище в трубному просторі	Пожежовибухонебезпечне шкідливе, 1 класу небезпеки
Середовище в міжтрубном просторі	4 класу небезпеки

*Теплообмінник 273ТКВ-1,6-М9/20-1-2-У ТУ 3612-024-00220302-02*

## 6.2 Розрахунки на міцність дефлегматора

### Розрахункова температура

Розрахункова температура розподільної камери:

$$t_{кам} = 2 t_m - t_k \quad (6.1)$$

$$t_{кам} = 2 \cdot 105 - 54 = 156 \text{ }^\circ\text{C}$$

Розрахункова температура ізолюваних фланців:

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

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

Розрахункову температуру ізолюваних апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери підігрівача приймаємо рівній температурі розподільної камери, тобто  $t_\phi = t_{кам} = 156 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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

$$t_\phi = t_k = 105 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів ізолюваних фланцевих з'єднань:

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

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

$$t_\delta = 0,97 \cdot t_{кам} = 0,97 \cdot 156 = 151,38 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

$$t_\delta = 0,97 \cdot t_k = 0,97 \cdot 105 = 101,85 \text{ }^\circ\text{C}.$$

### Допустиме напруження.

Допустимі напруги при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  і при температурі  $20^\circ\text{C}$   $[\sigma]_{20}$ , МПа, для матеріалів елементів апарата наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 Допустимі напруження матеріалів елементів підігрівача.

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напруження, МПа		Відношення допустимих напружень, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20 °С, $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі, $[\sigma]$	
Кожух	10X17H13M2T	184	160	1,15
Трубні решітки	10X17H13M2T	184	160	1,15
Труби	10X17H13M2T	184	160	1,15
Фланці апаратні	10X17H13M2T	184	160	1,15
Фланці штуцерів трубного простору	10X17H13M2T	184	160	1,15
Фланці штуцерів кожуха	10X17H13M2T	184	160	1,15
Болти й гайки апаратних фланців і штуцерів трубного	10X17H13M2T	184	160	1,15
Болти й гайки фланцевих з'єднань штуцерів кожуха	10X17H13M2T	184	160	1,15

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

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

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

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружень  $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,016$  пробний тиск становить

$$P_{np\ m} = 1,25 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,05 \cdot 1,15 = 0,071$$

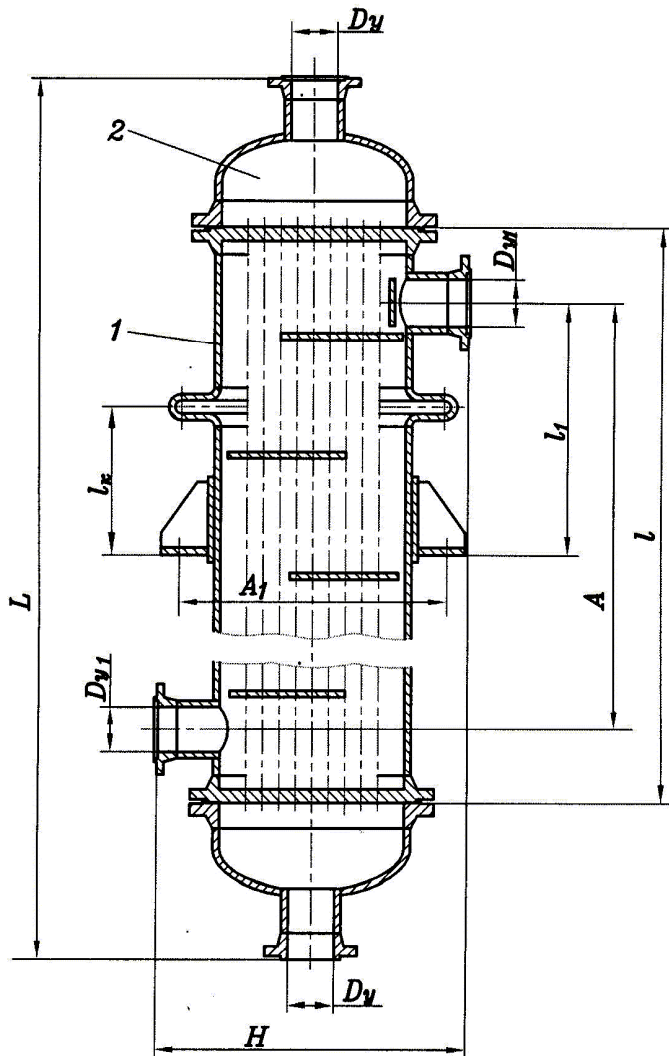


Рис. 6.4 - Кожухотрубчастий теплообмінний апарат.

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору підігрівача становить

$$P_{г\ mp} = \rho_v \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6}, \quad (6.5)$$

де  $H_T = 0,726\text{м}$  [13]- висота стовпа води в трубному просторі

$$P_{г\ mp} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,45 \cdot 10^{-6} = 0,014$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{г\ mp} = 0,014 \leq 0,05 P_{np\ m} = 0,05 \cdot 0,071 = 0,00355 \text{ МПа}$$



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

$$P_{im} = P_{nrm} = 0,071 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{im} = 0,071 \text{ МПа} \leq 1,35 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,05 \cdot 1,15 = 0,077 \text{ МПа}$$

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

Для міжтрубного простору (кожуха) при відношенні допустимих напружень  $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,15$  пробний тиск становить:

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

$$P_{nrk} = 1,25 \cdot 0,5 \cdot 1,15 = 0,718$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

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

де  $H_k = 0,6 \text{ м}$  [13]

$$P_{zk} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,6 \cdot 10^{-6} = 0,005 >$$

$$> 0,05 P_{nrk} = 0,05 \cdot 0,718 = 0,0035 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{ik} = 0,0035 \leq 1,35 P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,5 \cdot 1,15 = 0,776$$

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

Коефіцієнти міцності зварених швів

Міжтрубний простір підігрівача 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  $\varphi_p = 1,0$  [14].

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

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

#### Добавки до розрахункових величин

Суми добавок до розрахункових величин визначаємо по формулі:

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

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 дефлегматора;

$C_3$  - добавка для компенсації ерозії, мм.

Добавку для компенсації ерозії не враховуємо, ухвалюючи, що підігрівач 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 і міжтрубного просторів

$$C_{1m} = 0 \text{ мм}$$

- для кожуха

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

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

### 6.3 Розрахунки кожуха підігрівача

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

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

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

$D = 273$  мм - внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

$\varphi_p$  - коефіцієнт міцності поздовжніх зварених швів.

$$S_{pk} = \frac{0,5 \cdot 273}{2 \cdot 160 \cdot 1 - 0,5} = 0,42 \text{ мм}$$

Відповідно стандарту [14] виконавчу товщину стінки кожуха ухвалюємо рівною  $S_k = 6$  мм. Додаток для компенсації мінусового допуску для сталевих листів товщиною 6 мм становить  $C_2 = 0,6$  мм. Додаток

$$C_2 = 0,6 \text{ мм} > 0,05 \cdot S_k = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ мм}$$

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

$$C_k = C_{1k} + C_{2k} = 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо по формулі:

$$S_k \geq S_{pk} + C_k = 0,42 + 1,2 = 1,62 \text{ мм} \quad (6.11)$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки кожуха рівною  $S_k = 8$  мм.

Припустимий внутрішній надлишковий тиск у кожусі визначаємо по формулі:

$$[P] = \frac{2 [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 160 \cdot 1,0 \cdot (8 - 1,2)}{273 + (8 - 1,2)} = 7,7 \quad (6.12)$$

Умова міцності

$$P_k = 0,5 \leq [P]_k = 7,7 \text{ МПа}$$

виконується.

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{8 - 1,2}{273} = 0,024 \leq 0,1$$

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

$$P = \max\{|P_m|; |P_k|; |P_m - P_k|\} \quad (6.13)$$

$$P = \max\{0,05; 0,5; |0,05 - 0,5|\} = 0,5 \text{ МПа.}$$

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  $D_e = 30,46 \text{ мм}$  [13] – діаметр окружності, уписаної в максимальну безтрубну зону, визначаємо конструктивно.

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 30,46 \sqrt{0,5 / 160} = 0,85 \text{ мм}$$

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

$$S_p > S_{pp} + C_p = 0,85 + 1,2 = 2,05 \text{ мм}$$

Ухвалюємо  $S_p = 20 \text{ мм}$ .

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначаємо по формулі

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

$$\phi_p = 1 - d_0 / t_p = 1 - 25,15 / 32 = 0,214.$$

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

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

$$S_{np} = 0,75 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{20,15}{8} \cdot \left( \frac{55,4}{32} - 1 \right)}; \sqrt{0,214} \right\} =$$

$$= 0,75 \cdot \max \{ -0,3; 0,463 \} = 0,347 \text{ мм.}$$

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

$$S_n > S_{np} + C_p = 0,347 + 1,2 = 1,547 \text{ мм}$$

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

### 6.5 Розрахунки лінзового компенсатора

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_l}{d_n} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_l}{d_n} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_l - d_n} \leq 0,4 \quad (6.17)$$

$$\frac{S_l}{d_n} = \frac{8}{273} = 0,029 < 0,035;$$

$$1,08 < \frac{D_l}{d_n} = \frac{422}{273} = 1,54 < 3,00;$$

$$\frac{2r}{D_l - d_n} = \frac{2 \cdot 24,6}{422 - 273} = 0,33 < 0,4.$$

виконуються.

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$d_1 = d_n - S_l = 273 - 8 = 265 \quad (6.18)$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_2 = D_l - S_l = 422 - 8 = 414 \quad (6.19)$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot r + S_l) = 0,5(2 \cdot 24,6 + 8) = 28,6 \quad (6.20)$$

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо по формулі:

$$\rho_x = 2 - 100 \cdot \frac{r}{d_1 + d_2} = 2 - 100 \cdot \frac{28,6}{265 + 414} = 2,21 \quad (6.21)$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$b_n = 0,5 \cdot (d_2 - d_1 + \rho_x \cdot r_s) = 0,5 \cdot (414 - 265 + 0,09 \cdot 24,6) = 75,6 \text{ мм} \quad (6.22)$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$R_0 = 0,25 \cdot (d_2 + d_1 - 2 \cdot b_n) = 0,25 \cdot (414 + 265 - 2 \cdot 75,6) = 131,95 \text{ мм} \quad (6.23)$$

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (d_2 + d_1) = 0,5 \cdot (414 + 265) = 339,5 \quad (6.24)$$

Характеристики хвилі обчислюємо по формулах:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 = \frac{414}{265} - 1 = 0,56 \quad (6.25)$$

$$n = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot r_s} - 2 = \frac{414 - 265}{2 \cdot 24,6} - 2 = 1,028 \quad (6.26)$$

$$\alpha = S_n / d_1 = 8 / 265 = 0,03; \quad (6.27)$$

$$\lambda = \frac{b_n}{R_0} \quad (6.28)$$

$$\lambda = b_n / R_0 = 75,6 / 131,95 = 0,57; \quad (6.29)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 \cdot r_s}{d_2 - d_1} = 1 + 1,25 \cdot \frac{414}{265} - \frac{3,2 \cdot 24,6}{414 - 265} = 2,42$$

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

$$S_3 = 0,25 (d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P / [\sigma_n]} = \\ = 0,25 \cdot (414 - 265 - 2,42 \cdot 24,6) \cdot \sqrt{0,5 / 160} = 2,89 \quad (6.30)$$

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

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{cp}}{2[\sigma]_n \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2 l_k + 2,3 r_s} = \quad (6.31)$$

$$= \frac{0,5 \cdot 339,5}{2 \cdot 160 \cdot 0,9} \cdot \frac{74}{414 - 265 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 24,6} = 0,2 \text{ мм}$$

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

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

Розрахункову товщину стінки компенсатора  $S_{lp}$  визначаємо по формулі:

$$S_{lp} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 \cdot \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} = 0,2 \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (2,89 / 0,2)^4}} = 2,89 \quad (6.32)$$

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:

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

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

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_1 = 16 \cdot \left( \frac{S_n - C_n}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_n \quad (6.33)$$

$$[P]_1 = 16 \cdot \left( \frac{3 - 0,22}{559 - 405 - 2,173 \cdot 16} \right)^2 \cdot 151 = 6,22 \text{ МПа}$$

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

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma]_n \cdot \phi \cdot (S_n - C_n)}{d_{cp}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 \cdot l_k + 2,3 \cdot r_s}{L} \quad (6.34)$$

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 151 \cdot 1 \cdot (3 - 0,22)}{482} \cdot \frac{559 - 405 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{72} = 5,18 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_n = \frac{[P]_1}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_1}{[P]_2} \right)^2}} \quad (6.35)$$



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

## 6.6 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість

Так як точні дані про числа циклів  $N_{\sigma}$  і  $N_p$  відсутні, приймаємо

$$N_{\sigma} = N_p = 0,5 N = 500.$$

Допустиму амплітуду інтенсивності напруження від розмаху тисків розраховуємо за формулою

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{0,45 \cdot 10^5}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{0,66 \cdot R_m^{20} - 0,43 \cdot R_e^{20}}{n_{\sigma}} \quad (6.36)$$

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - 65}{2300} \cdot \frac{0,45 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 500}} + \frac{0,66 \cdot 460 - 0,43 \cdot 250}{2} = 902,3 \text{ МПа.}$$

Напруження від деформації розраховуємо за формулою

$$\sigma_{\omega} = \frac{E_n \cdot S_n}{n_n \cdot b_n^2} \cdot (2 + \lambda) \cdot \Delta \varpi \quad (6.37)$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{194,5 \cdot 10^3 \cdot 3}{2 \cdot 52,7^2} \cdot (2 + 0,398) \cdot 1,04 = 120 \text{ МПа}$$

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

Напруження від тиску визначаємо за формулою

$$\sigma_p = 3[\sigma]_n \cdot \frac{\Delta P}{[\Delta P]} \quad (6.38)$$

$$\sigma_p = 3 \cdot 151 \cdot \frac{1}{2,98} = 317 \text{ МПа.}$$

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

## 7 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА

### 7.1 Виготовлення обичайок

Циліндричні обичайки є одним з основних елементів хімічних апаратів. З них утворюються циліндричний корпус апарата, вони є складовою частиною до різних внутрішніх та зовнішніх пристроїв апаратів.

Найчастіше обичайки виготовляють вальцюванням з листового прокату, іноді з труб.

Обичайки, які виготовляються з листового прокату, мають внутрішній базовий діаметр, який визначається за стандартом [10]. Обичайки, що виготовляються з труб, мають зовнішній базовий діаметр.

При зварюванні корпусу посудини повинні застосовуватися, як правило, стикові двосторонні шви з повним проваренням. Односторонні шви застосовуються лише в тих випадках, коли неможливо застосувати двостороннє зварювання. При цьому зварювання здійснюється на знімній або залишеній підкладці. 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 ризика уздовж крайки з найменшої серповидністю. На листі розмічаються ризики під відрізу, ризики з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні ризики. Різання листа здійснюють на гильйотинних ножицях. Після різання здійснюють обробку кромки на верстаті. Після цього лист подається до преса для підгибки кромки. Після підгинання кромки лист подається до листозгинальної машини із трьома валками розташованими симетрично. Зборку поздовжнього стику роблять гідравлічними струбцинами. Після приварки на ролікоопорах вхідної й вихідної планок звареним трактором виконується зварювання внутрішнього шва па флюсовій

подушці, а після зачищення кореня шва зварюється зовнішній поздовжній шов. Після зварювання зовнішнього шва на стенді шов зачищають, знімають посилення й видаляють вхідну й вихідну планки. Далі обичайка подається до листозгинальної машини на виправлення, зварні шви контролюються ультразвуковою дефектоскопією. Отвори в обичайці під штуцера обробляють вирізкою газовим різакон з попередньою розміткою.

## **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 роликани, 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 корпуса виробляється вирізка отворів для установки люків, штуцерів й інших елементів арматури апарата.

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

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

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

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

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

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

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

Патрубок прихоплюється й потім приварюється до фланця.

#### **7.4 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 грат плюс 20 мм. Довжина зачистки кінців П-образних труб повинна дорівнювати товщині решіток плюс 20мм. Зовнішній діаметр труби після зачищення не має бути менше величини для відповідного класу точності з'єднання.

#### **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 луцення металу на внутрішній поверхні труби не допускаються.

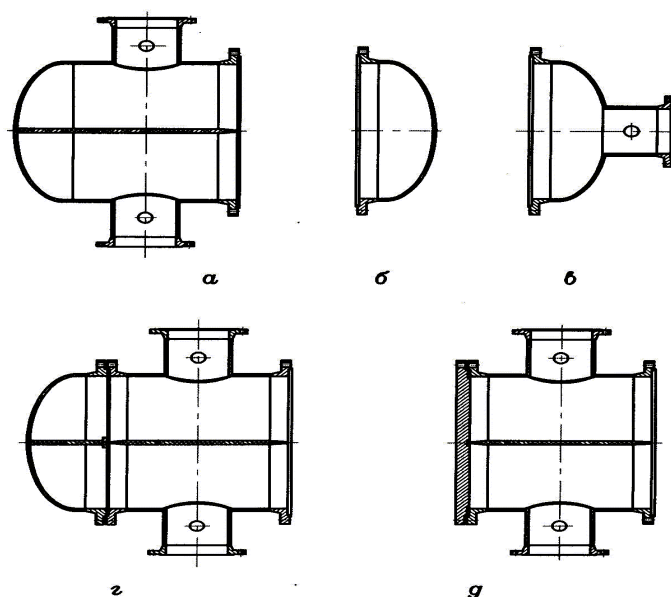


Рис. 8.1 – Типові конструкції розподільних камер і кришок

*а* – розподільна камера з приварною еліптичною кришкою двоходового апарата; *б* – кришка двоходового апарата; *в* – розподільна камера одноходового апарата; *г* – розподільна камера двоходового апарата з від'ємною еліптичною кришкою; *д* – розподільна камера двоходового апарата з від'ємною плоскою кришкою;

### 7.7 Зварювання труб з трубними решітками

Аналіз роботи кожухотрубчастих теплообмінних апаратів показує, що від 14 до 25 % відмов викликано порушенням герметичності з'єднання труб з трубними решітками. Із-за недостатнього ресурсу безвідмовної роботи теплообмінних апаратів хімічні та нафтопереробні підприємства несуть значні збитки, тому забезпечення високої якості кріплення труб до трубних решіток –

одна з найважливіших задач при виготовленні теплообмінних апаратів.

В кожухотрубчастих теплообмінних апаратах застосовують два види з'єднань труб із трубними решітками:

- вальцьовані;
- комбіновані, які отримуються зваркою труб із трубними решітками з наступним розвальцюванням.

Перед зваркою труб із трубними решітками кінці труб на довжині відповідно по стандарту, а також лицеву поверхню решітки та отвори в трубній решітці слід зачистити до чистого метала від іржі, бруду, мастила та ретельно знежирити.

Діаметральний зазор між трубною решіткою та трубою рекомендується не більше 0,3 мм. Для забезпечення цієї вимоги рекомендується конічне розвальцювання труби перед зваркою до торкання зовнішньої поверхні труби з краєм трубного отвору (рисунок 8.2).

Зварення слід проводити неплавким або плавким електродом у середовищі захисних газів на вертикальній площині або в нижньому положенні. Варіант зварки в нижньому положенні – переважний.

Зварювальні матеріали та вимоги до зварних з'єднань повинні відповідати галузевому стандарту [3].

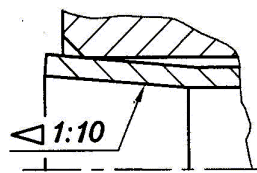


Рис. 8.2 – Конічне розвальцювання труби перед зварюванням

## **7.8 Збирання підігрівача**

Збирання підігрівача необхідно проводити в такій послідовності:

- приєднати кришки;
- змонтувати фланцеві сполуки кришок та трубчатки;
- змонтувати трубопроводи входу та виходу продукту;
- за ізолювати підігрівача.

## **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 вимогам 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.

Кожний перетік середовища в трубному просторі від одного кінця теплообмінника до другого є ходом. Змінюючи число ходів, можна змінювати швидкість руху середовища усередині труб. В теплообмінних апаратах, які виготовляються за технічними умовами, число ходів складає 1, 2, 4, 6.

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

Якщо умовний тиск для кожуха менше умовного тиску для трубного простору, випробування герметичності здійснюється повітрям, гасом,



галоїдами, гелієм, хладоном, аміаком тощо. Якщо товщина трубної решітки розрахована на перепад тиску між трубним та міжтрубним просторами, умови гідравлічного випробування та випробування на герметичність кріплення труб в трубних решітках повинні проводитись відповідно до вимог галузевого стандарту.

Зварний шов приварення трубної решітки до фланця та кожуха в апаратах з трубним пучком, який не витягається з кожуха, має бути перевірений радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією по всій його довжині.

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

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

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

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

Тиск при випробуванні повинний контролюватися двома манометрами.

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

Мінімальну величину пробного тиску  $P_{пр}$  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 ДЕФЛЕГМАТОРА**

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

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

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

Підготовка устаткування до ремонту впливає на повноту усунення дефектів, а також на кількість ремонту. Крім того, правильна підготовка встаткування до ремонту досить важлива для забезпечення безпеки персоналу,

зайнятого на ремонтних роботах. Послідовність і зміст операцій по виводу працюючого встаткування в ремонт обмовляється в технологічних інструкціях.

Устаткування виводиться з роботи в плановому порядку обслуговуючим персоналом за вказівкою особи відповідального за його стан і безпечну експлуатацію. Потім його від'єднують від діючих трубопроводів і від іншого встаткування установкою заглушок. Заглушки встановлювані у фланцевих розніманнях, виготовляють відповідно до вимог норм із пофарбованими в червоні кольори хвостовиками, із вказівкою привласнених номерів,  $D_y$  та  $P_y$ .

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

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

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

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

### **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 скосу не повинен перевищувати 15°. Допускаються стикові шви без попереднього утонення стінки, якщо різниця між товщинами елементів, що з'єднуються, не перевищує 30 % від товщини більше тонкого елемента, але не більше 5 мм.

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

При ремонті корпусів використовують ручне електродугове зварювання, крім того може бути використане автоматичне й напівавтоматичне зварювання. Зварні шви, що виконуються при ремонті, повинні забезпечувати необхідну

міцність і бути доступними для контролю. Їх розташовують поза опорою корпусу. Перетинання зварних швів, що проводяться ручним електродуговим зварюванням не допускається.

Ушкоджену обичайку замінюють 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 полистовій заміні використають листи, завальцьовані по радіусу, рівному радіусу корпусу.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці замінюють новими.

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

Основними способами кріплення труб до трубної решітки в трубчастих теплообмінних апаратах є розвальцьовування роликми і зварка у поєднанні з розвальцьовуванням. Аналіз виходу з ладу теплообмінників, виконаний ВНПТхімнафтоапаратури, 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°C і тиску більше 14,0МПа, у поєднанні з розвальцьовуванням, виконаним роликковим інструментом, а також імпульсними методами і ін. Таке комбіноване кріплення труб застосовують і при меншому тиску і температурах у випадках, коли до герметичності з'єднань пред'являють особливі вимоги, пов'язані з пожежо- або вибухонебезпекою, а також токсичністю або радіоактивністю робочого середовища.

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

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

Труби видаляють найчастіше вручну з використанням облямовування. Для цього висвердлюють трубу приблизно на три довжини 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 відрізають на відстані 5—10 мм від внутрішньої поверхні трубних решіток. Перед



видаленням дефектні труби доцільно відрізати з внутрішньої сторони трубних решіток. Потім стрижень з різьбленням за допомогою ручного або електричного ключа угвинчують в трубу, що підлягає видаленню, на стрижень надягають гідравлічний пістолет із змінним упором, що нагвинчується на його кінець; при цьому стрижень затискається і гідропістолет витягує трубу.

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

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

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

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

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

Течія в місцях кріплення труб в умовах експлуатації усувається зазвичай

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

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

Трьохроликівий розвальцьовочний інструмент з регульованою глибиною розвальцьовування набув в даний час найбільшого поширення як у нас, так і за рубежом. У пазах корпусу, що розташовані під кутом  $120^\circ$  один до іншого і під кутом  $\alpha$  (де  $\alpha=1^\circ30'—4^\circ30'$ ) до подовжньої осі інструменту, обертаються ролики, які утримуються від випадіння завальцьованими краями пазів. Усередині 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 розвальцьовочного інструменту. Все більшого поширення набувають передачі з проміжним валом (зазвичай – телескопічного типу) між інструментом і приводом.

## 9. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

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

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

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

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

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

«Роботи електрозварювальні. Загальні вимоги безпеки» і Правилами пожежної безпеки при проведенні зварювальних і інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства. До зварювальних і інших вогневих робіт

допускаються фахівці, що мають талон про перевірку знань вимог пожежної безпеки. Зварники проходять інструктаж з безпеки праці через кожні три місяці. Роботи з електрозварювання у взриво- і пожеженебезбечних приміщеннях повинні проводитися відповідно до вимог Типової інструкції з організації безпечного ведення вогневих робіт, затвердженої Держтехнаглядом. *Забороняється* проводити зварювальні роботи на відкритому повітрі під час дощу й снігопаду.

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

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

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

Ємнісне обладнання, що підлягає розкриттю для ремонту, повинне бути охолоджене, звільнене від продукту, відключене від діючої апаратури й трубопроводів. Потім це обладнання промивається, пропарюється гострою

парою, продувається інертним газом і повітрям. Устаткування розкривається тільки в присутності начальника зміни й відповідального за проведення робіт особи, які перевіряють готовність цього встаткування до розкриття.

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

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

Якщо температура в апараті перевищує 50 °С, то працювати в ньому *забороняється*. Дублер завжди перебуває біля люка апарата й спостерігає за працюючим, тримаючи в руці сигнально-рятувальну мотузку. Спостерігач повинен бути споряджений так, щоб у будь-який момент він міг надати працюючому допомогу і якщо буде потреба витягти його з апарату. У період

роботи усередині обладнання необхідно систематично робити аналіз повітря в ньому. У випадку збільшення концентрації небезпечних газів в апараті роботи повинні бути припинені, а працюючі вилучені з нього.

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

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

*Забороняється* при роботі вантажопідйомних механізмів: перебувати під вантажем, що піднімається; відривати краном устаткування від бетонної підливи, що примерзло до землі; допускати розгойдування вантажу; залишати на тривалий час вантаж у піднятому стані; виправляти під час роботи лебідки неправильне намотування троса на барабан; допускати повне розмотування троса (на барабані повинне залишатися не менш півтора витків троса). Якщо встаткування експлуатується з використанням електроенергії, то перед його

ремонтom необхідно відключити енергію, а на рубильнику повісити плакат «Не включати – працюють люди».

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

При ремонті деталей на свердлильних верстатах необхідно виконувати наступні правила:

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

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

При ремонті й випробуванні обладнання необхідно передбачати заходи, які виключають ушкодження діючого встаткування. Крім того, *забороняється* проведення пневматичних випробувань устаткування й трубопроводів без видалення працюючих з небезпечної зони; не можна проводити одночасно

вогневі роботи й роботи, які можуть викликати викид вибухонебезпечних або горючих газів. Під час гідравлічних і пневматичних випробувань *забороняється* перебувати персоналу поруч із апаратом. Пневматичні випробування не можна проводити в діючих цехах, на естакадах і в каналах, де є працюючі трубопроводи. Підвищення й зниження тиску при випробуванні проводиться плавно й повільно. *Забороняється* робити огляд і під час підвищення й зниження тиску.

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

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

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

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