

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему:

«Установка ректифікації суміші метанол – вода потужністю 19400 т/рік по вихідній суміші з розробкою дефлегматора».

Листів – \_\_\_\_, ілюстрацій – \_\_\_\_, таблиць – \_\_\_\_, посилань – \_\_\_\_.

МАСООБМІН, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, ТАРІЛКА,  
ТЕПЛООБМІННИК, ПІДГРІВАЧ, ФЛЕГМА, ДЕФЛЕГМАТОР

В данній дипломній роботі розглянуто установку ректифікації суміші метанол-вода з розробкою дефлегматора:

На основі аналітичного огляду вибрана конструкція дефлегматора, розміри якого отримані з технологічного розрахунку.

Виходячи з умов роботи і характеристик робочого середовища підібрані конструкційні матеріали;

Роботоспроможність апарата підтверджена розрахунками на міцність, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативно-технічною документацією;

Розглянуті питання технології виготовлення дефлегматора, його ремонт;

Висвітлені питання техніки безпеки.

## ЗМІСТ

|  |  |
|--|--|
| Перелік умовних позначень .....                              |  |
| Вступ.....   |  |
| 1. Аналітичний огляд .....                                   |  |
| 2. Опис технологічної схеми та конструкції обладнання .....  |  |
| 4. Визначення основних розмірів колони та дефлегматора ..... |  |
| 5. Розрахунки на міцність елементів дефлегматора.....        |  |
| 6 Технологія виготовлення дефлегматора.....                  |  |
| 7. Ремонт дефлегматора.....                                  |  |
| 8 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 дистиляті, %(мас.);

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

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

$G_P$  – продуктивність по дистиляту, 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;

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

$X_{cp}^6$  – 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.);

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

$t_{ХW}$  – температура кубового залишку, °С;

$t_{ХF}$  – температура вихідної суміші, °С;

$t_{хсп}^6$  – середня температура у верхній частині колони, °С;

$t_{ХP}$  – температура дистиляту, °С;

$t_{ХF}$  – температура вихідної суміші, °С;

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

$M_{Xcp}$  – 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  $t = 20$  °C, 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.);

$U_{cp}^g$  – 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 дистиляті, %(мол.);

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

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

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

$t_{ycp}^H$  – середня температура в нижній частині колони, °C;

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

$\rho_{ycp}$  – середня щільність, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_{ycp}$  – 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;

$D_{\kappa}^H$  – 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;

$H_{кол}$  – висота колони, м;

$n$  – число дійсних тарілок у колоні;

$h$  – відстань між тарілками, м;

$H_{сен}$  – висота сепараційної частини колони, м;

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

$\Delta P_{\kappa}$  – 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;

$h_{пер}$  – висота переливу, м;

$L$  – витрата рідкої фази, м<sup>3</sup>/год;

$l_{сл}$  – 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;

$G_\theta$  – 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, °C;

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

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

$P_e$  – 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;

$\Pi$  – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

$\tau$  – термін служби апарата, років;

$C_3$  – прибавка для компенсації ерозії, мм;

$S_p$  – розрахункова товщина стінки обичайки, мм;

$S$  – виконавча товщина стінки обичайки, мм;

$[P]$  – допустимий внутрішній надлишковий тиск, МПа;

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

$S_1$  – виконавча товщина стінки днища, мм;

## ВСТУП

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.

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.

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.



Дипломна робота присвячена апаратурному оформленню процесу ректифікації суміші метанол – вода.

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Перегонка рідини

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

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

За способом проведення розрізняють - безперервну й періодичну ректифікацію. У першому випадку поділювана суміш безупинно подається в ректифікаційну колону, а з колони безупинно виділяються дві або більш число фракцій, збагачених одними компонентами й збіднених іншими. Якщо вихідну суміш потрібно розділити безперервним способом на число фракцій більше двох, то застосовується послідовні або паралельно - послідовне з'єднання колон.

При періодичній ректифікації вихідна рідка суміш одноразово завантажується в куб колони. Пари надходять у колону й піднімаються до дефлегматора, де відбувається їхня конденсація. У початковий період

увесь конденсат вертається в колону, що відповідає режиму повного зрошення. Потім конденсат ділиться на дистиллят і флегму. У міру відбору дистилляту (або при постійному флегмовому числі, або з його зміною з колони виводяться спочатку легколетучі компоненти, потім середньолетучі і так далі). Потрібну фракцію (або фракції) відбирають у відповідний збірник. Операція триває до повної переробки спочатку завантаженої суміші.

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

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

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

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

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

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

По способу зливу рідини з тарілки на тарілку тарілчасті колони підрозділяються на колони з тарілками зі зливними пристроями й з тарілками без зливних пристроїв.

Тарілчасті колони зі зливними пристроями. 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 зливних пристроїв занурені в рідину на нижчерозташованих тарілках для створення гідрозатвора, що запобігає проходженню газу через зливи.

Сітчасті тарілки. Ці тарілки (рис. 1.1) 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, які забивають їхні отвори.

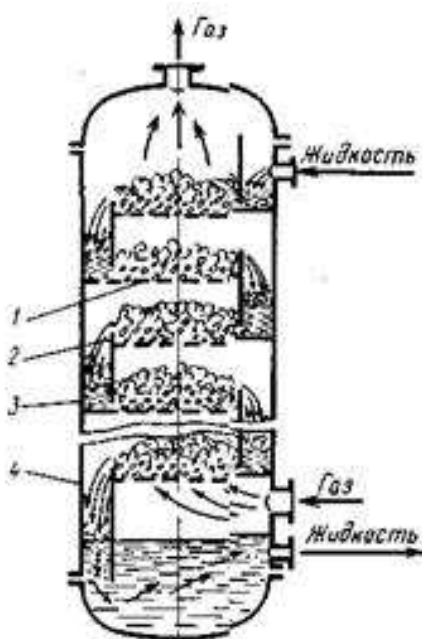


Рис. 1.1 Тарілчаста колона із сітчастими тарілками

### **1.3 Конструкції теплообмінників**

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.

Теплообмінники за конструкцією поділяють на - 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.

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 °C), 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.

Теплообмінні апарати з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі виготовляються із зовнішнім діаметром кожуха 159, 273, 325, 426, 630 мм і внутрішнім діаметром кожуха 400, 600, 800, 1000 та 1200 мм за технічними умовами [11].

Кожухотрубчасті теплообмінники типів ТН і ТК застосовуються для теплообмінювальних середовищ з температурою від мінус 70 до плюс 350 °С.

Апарати типу ТН діаметром 400 і 600 мм застосовуються на умовний тиск в трубах та кожусі 1,6; 2,5 і 4,0 МПа, діаметром 800 мм – на тиск 1,0; 1,6; 2,5 і 4,0 МПа, діаметром 1000 мм – на тиск 0,6; 1,0; 1,6; 2,5 і 4,0 МПа, діаметром 1200 мм – на тиск 0,6; 1,0; 1,6 і 2,5 МПа.

Апарати типу ТК діаметром 400 і 600 мм застосовуються для теплообмінювальних середовищ на умовний тиск в трубах та кожусі 1,6 МПа, діаметром 800 мм – на тиск 1,0 і 1,6 МПа, діаметром 1000 і 1200 мм – на тиск 0,6; 1,0 і 1,6 МПа.

Кожухотрубчасті теплообмінники з нерухомими трубними решітками та апарати з температурним компенсатором на кожусі горизонтальні і вертикальні складаються з трубного пучка 1, розподілювальної камери 2 та кришки 3 (для багатоходових по трубному простору апаратів), які з'єднуються між собою за допомогою фланців. Апарати обладнуються штуцерами для підведення та відведення робочих середовищ, нарізними пробками або штуцерами для спорожнення трубного та міжтрубного просторів, а також штуцерами-повітряниками, які встановлюються в нижніх та верхніх точках відповідних порожнин. Штуцери для введення та виведення середовищ повинні мати відповідні фланці (на рисунках не показані). Апарати з температурним компенсатором на кожусі обладнуються лінзовим компенсатором, призначеним для зниження температурних напружин, що

виникають в трубах та кожусі в робочих умовах. Горизонтальні апарати встановлюються на сідлових опорах, одна з яких нерухома, а друга – рухома (ковзна) [26]. Вертикальні апарати встановлюються на опорних лапах [16].

Основні розміри теплообмінників з нерухомими трубними решітками (тип ТН) і температурним компенсатором на кожусі (тип ТК), які виготовляються за технічними умовами [11], наведені в відповідних каталогах заводів - виробників.

Для виготовлення окремих вузлів та деталей кожухотрубчастих теплообмінників застосовуються різні марки вуглецевих, низьколегованих, корозійностійких сталей, двошарові сталі, титан та кольорові метали (латунні теплообмінні труби). Вибір матеріалу залежить від розрахункових тисків та температур, а також від корозійних властивостей робочих середовищ у відповідних порожнинах теплообмінників.

При роботі кожухотрубчастих теплообмінників типів ТН і ТК в їхніх елементах виникають температурні напружини, які обумовлені різними температурами і коефіцієнтами лінійного розширення матеріалів труб та кожуха, що обмежує галузь їхнього застосування.

Якщо різниця температур кожуха та труб перевищує 30°C, слід вибрати теплообмінник з температурним (лінзовим) компенсатором на кожусі. У цьому випадку необхідно перевірити можливість компенсації різниці у видовженні кожуха та труб лінзовим компенсатором за відповідним стандартом.

Допустима різниця у видовженні кожуха та труб для теплообмінників типу К наведена в технічних умовах.

Наведені в технічних умовах [11] умовні тиски відносяться до температури 100 °C. Якщо апарат призначено для роботи при більш високій температурі, його розрахунковий тиск має бути понижено. Граничний розрахунковий тиск для теплообмінників типів ТН і ТК наведено в таблиці 2.6.

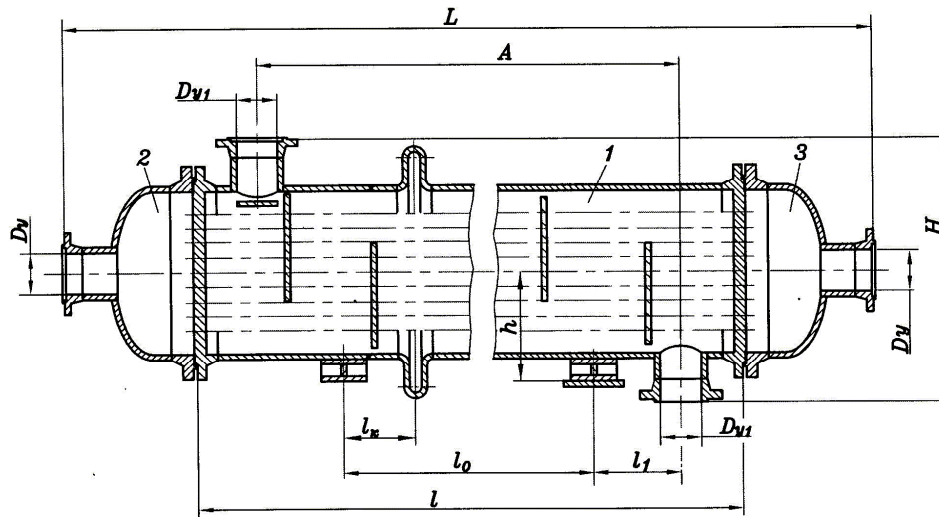


Рисунок 1.2 – Кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі горизонтальний одноходовий по трубам



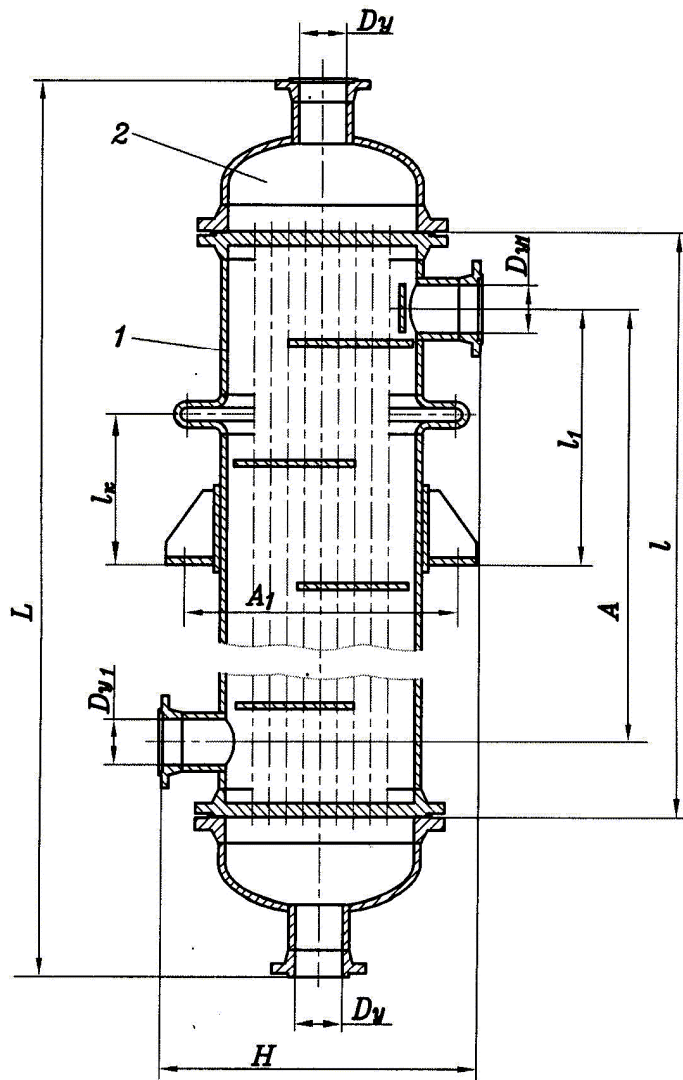


Рисунок 1.3 – Кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі вертикальний одноходовий по трубам

Допустима різниця у видовженні кожуха та труб для теплообмінників типу К наведена в технічних умовах.

Наведені в технічних умовах [11] умовні тиски відносяться до температури 100 °С. Якщо апарат призначено для роботи при більш високій температурі, його розрахунковий тиск має бути понижено. Граничний розрахунковий тиск для теплообмінників типів ТН і ТК наведено в нормативно-технічній документації

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

Установка працює наступним чином:

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

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

який проохолоджується в теплообміннику **X2** і направляється в проміжну ємність **E3**.

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

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

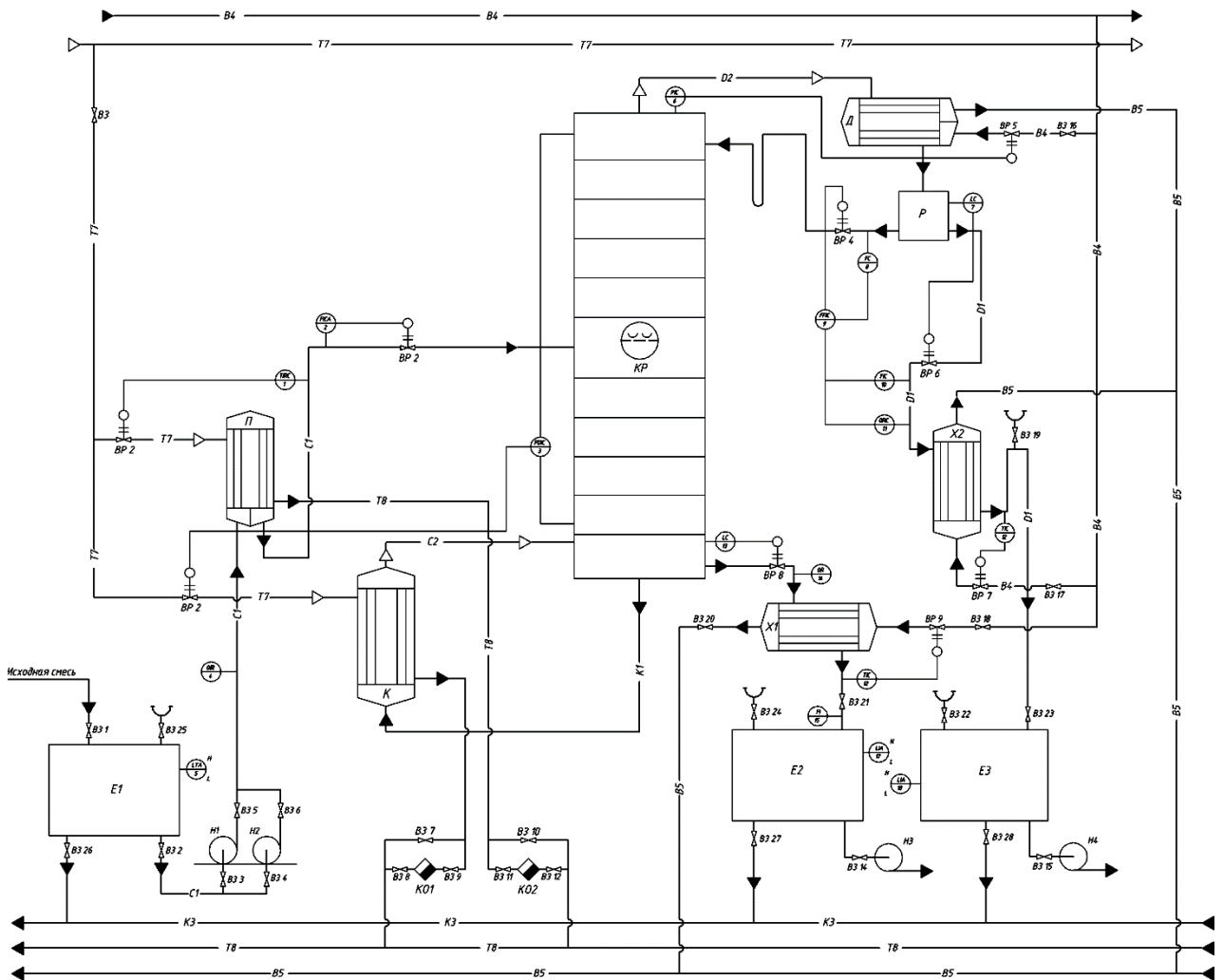


Рис. 2.1 – Схема ректифікаційній установки

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

Колона із сітчастими тарілками являє собою вертикальний циліндричний корпус із горизонтальними тарілками, у яких рівномірно по

всій поверхні просвердлене значне число отворів діаметром 2–8 мм. Для зливу рідини й регулювання її рівня на тарілці служать переливні трубки, нижні кінці яких занурені в склянки.

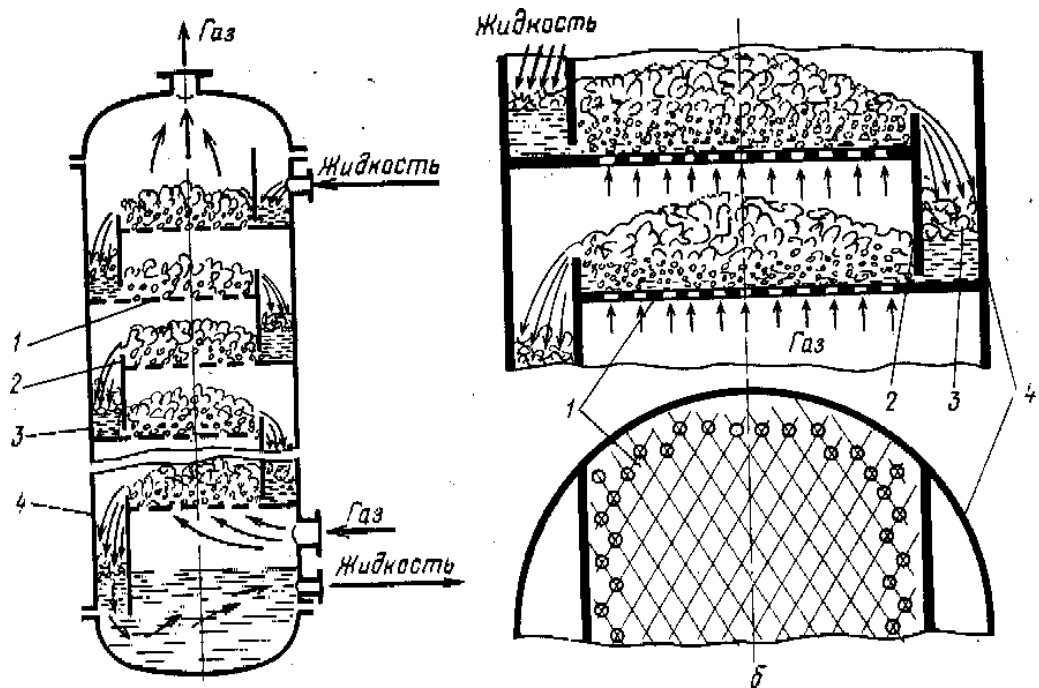


Рис. 2.2 – Колона з сітчастими тарілками.

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 дефлегматора

Дефлегматор зображено на рис. 2.3. Він призначений для конденсації пару і подачі зрошення (флегми) у колону, являє собою кожухотрубчастий теплообмінник, у міжтрубному просторі якого конденсуються пари, а в трубах рухається охолоджуючий агент (вода). Однак питання про напрямок паров, що конденсуються, і про охолоджуючого агента усередину або зовні труб слід вирішувати в кожному конкретному випадку, враховуючи бажаність підвищення коефіцієнта теплопередачі й зручність очищення поверхні теплообміну.

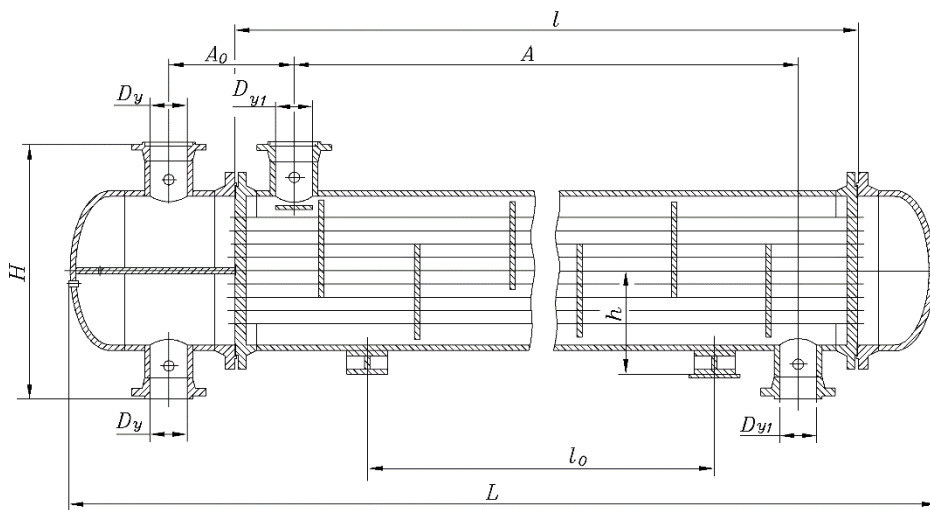


Рис. 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат (дефлегматор).

У випадку часткової конденсації парів у дефлегматорі, його розташовують безпосередньо над колоною, щоб забезпечити більшу компактність установки, поза габаритами колони. При цьому конденсат (флегму) з нижньої частини дефлегматора подають безпосередньо через гідравлічний затвор наверх колони, тому що в цьому випадку відпадає необхідність у ділянці флегми.

У випадку повної конденсації парів у дефлегматорі його встановлюють вище колони, безпосередньо на колоні або нижче верху колони для того, щоб зменшити загальну висоту установки.

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

Специфічні умови експлуатації хімічних машин і апаратів, які характеризуються широким діапазоном тисків і температур при агресивному впливі середовища, визначають наступні основні вимоги до конструкційних матеріалів:

- висока хімічна й корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при робочих параметрах;
- висока механічна міцність при заданих робочих тисках, температурі й додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічних випробуваннях і в період експлуатації апаратів;
- гарна зварюваність матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварених з'єднань;
- низька вартість і недефіцитність матеріалів.

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

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

В якості конструкційного матеріалу для основних деталей апарата вибираємо сталь Ст3 і сталь 10, яка використовується для виготовлення деталей хімічної апаратури при роботі з середовищами при температурах від 10 до 400 С.

## 4. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ДЕФЛЕГМАТОРА

**4.1 Розрахунки тарілчастої ректифікаційної колони для розділення суміші метанол-вода потужністю 19400 т/рік по дистиляту**

### 4.1.1 Вихідні дані

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Потужність за дистилятом   | - 19400 т/рік            |
| Концентрація метанолу:   |                          |
| у вихідній суміші  | - $a_F = 46,5\%$ (мас.), |
| в дистиляті  | - $a_P = 98,5\%$ (мас.), |
| в кубовому залишку   | - $a_W = 1,8\%$ (мас.).  |
| Температура:   |                          |
| охолоджуючої води  | - 12 °С,                 |
| дистиляту після холодильника                                       | - 20 °С,                 |
| кубового залишку після холодильника                                | - 20 °С,                 |
| вихідної суміші  | - 18 °С.                 |
| Тиск насиченої водяної пари  | - 5,0 ата.               |
| Коефіцієнт надлишку флегми   | - 1,8.                   |
| Молярні маси:  |                          |
| метанолу   | - 32 г/моль,             |
| води   | - 18 г/моль.             |
| Температури кипіння:   |                          |
| метанолу   | - 64,5 °С,               |
| води   | - 100,0 °С.              |
| Швидкість руху пару по колоні                                      | - 1,0 м/с.               |
| ККД тарілки  | - 0,87.                  |
| Відстань між тарілками   | - 500 мм.                |
| Діаметр отворів в тарілці  | - 5 мм.                  |
| Колона працює під атмосферним тиском.                              |                          |
| Вихідна суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння. |                          |

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

Продуктивність за дистилятом  $P_d/T_{\text{еф}} = 19400/8640 = 2,25$  т/год.

Продуктивність колони за вихідною сумішшю визначаємо за формулою:

$$G_F = G_P \cdot \frac{\alpha_P - \alpha_W}{\alpha_F - \alpha_W} = 2250 \cdot \frac{0,985 - 0,018}{0,465 - 0,018} = 4867,4 \text{ кг/Г} = 1,352 \text{ кг/с}$$

Продуктивність колони за кубовим залишком визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_P = 4867,4 - 2250 = 2617,4 \text{ кг/Г} = 0,727 \text{ кг/с}$$

Перевірка:

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

$$2263,3 = 2263,3$$

#### 4.1.3Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні за формулою:

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

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

Тоді концентрація вихідної суміші:

$$X_F = \frac{\frac{\alpha_F}{M_A}}{\frac{\alpha_F}{M_A} + \frac{1-\alpha_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,465}{32}}{\frac{0,465}{32} + \frac{1-0,465}{18}} = 0,337;$$

дистиляту:

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

кубового залишку:



$$X_w = \frac{\frac{\alpha_w}{M_A}}{\frac{\alpha_w}{M_A} + \frac{1 - \alpha_w}{M_B}} = \frac{\frac{0,018}{32}}{\frac{0,018}{32} + \frac{1 - 0,018}{18}} = 0,011$$

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,<br>мол. % |            | Температура<br>кипіння,<br>t, °C |
|-------------------------------|------------|----------------------------------|
| в рідині (x)                  | в парі (y) |                                  |
| 0                             | 0,0        | 100                              |
| 5                             | 26,8       | 92,3                             |
| 10                            | 41,8       | 87,7                             |
| 20                            | 57,9       | 81,7                             |
| 30                            | 66,5       | 78                               |
| 40                            | 72,9       | 75,3                             |
| 50                            | 77,9       | 73,1                             |
| 60                            | 82,5       | 71,2                             |
| 70                            | 87         | 69,3                             |
| 80                            | 91,5       | 67,6                             |
| 90                            | 95,8       | 66                               |
| 100                           | 100,0      | 64,5                             |

На діаграммі 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:

$$R_{\min} = \frac{x_p}{B_{\max}} - 1 = \frac{0,965}{0,543} - 1 = 0,65$$

Дійсне флегмове число:

$$R = K_R \cdot R_{\min} = 1,8 \cdot 0,65 = 1,17$$

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  $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,965}{1,17+1} = 0,445$ , 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.

Рис.1: Визначення кількості теоретичних тарілок

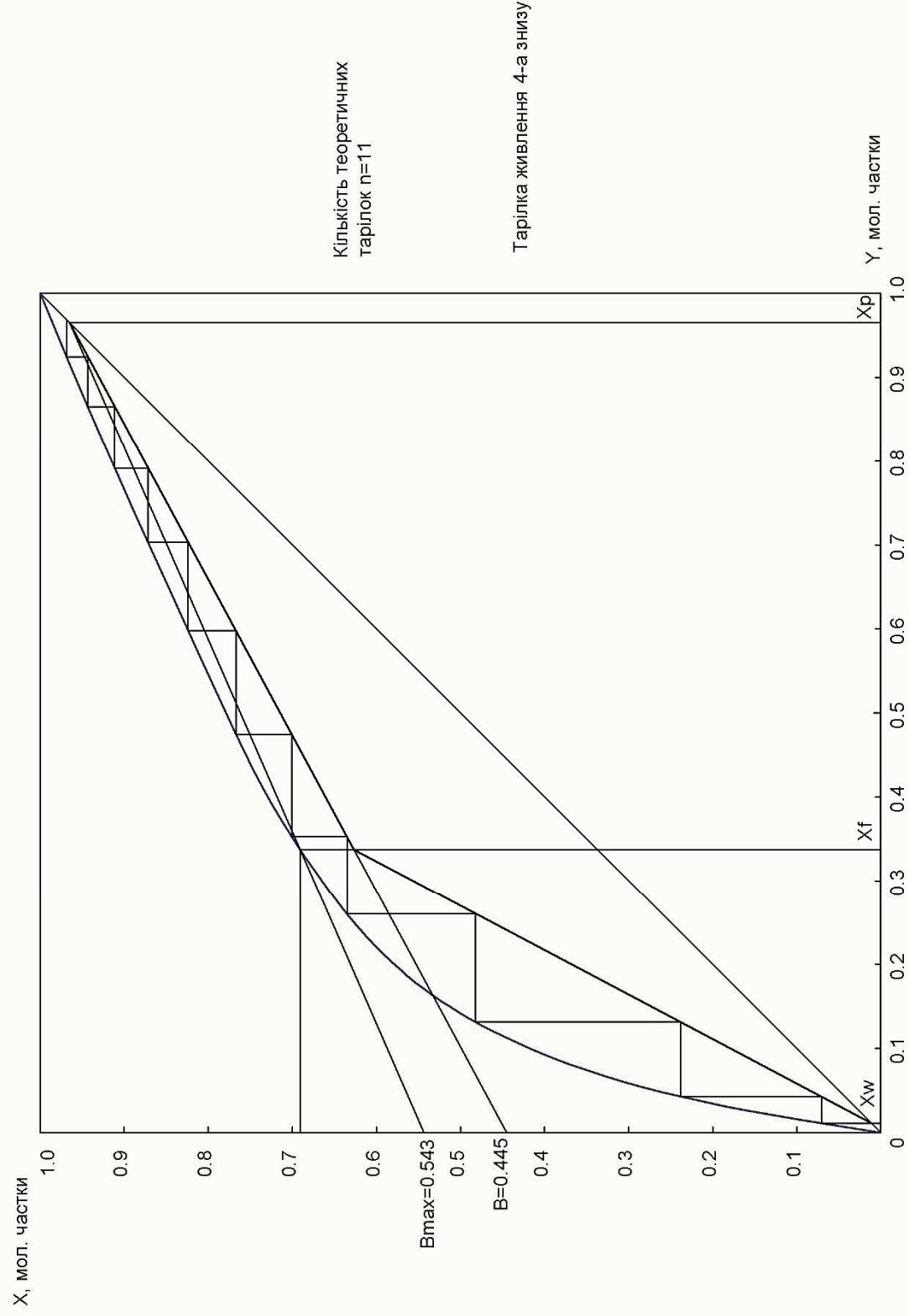
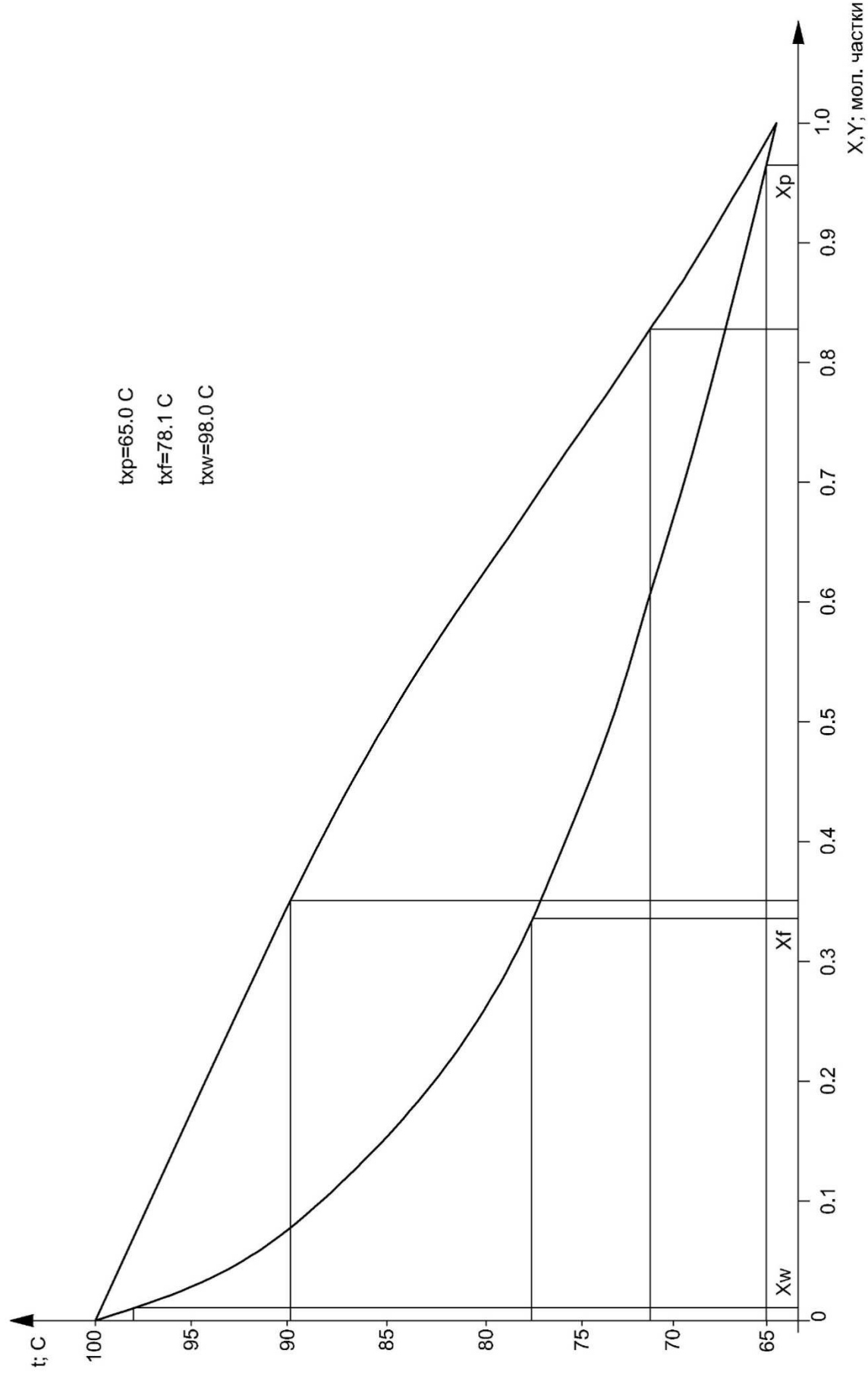


Рис. 2: Крива температур кипіння та конденсації



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

Рідка фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колоні:

$$X_{cp}^n = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,011 + 0,337}{2} = 0,174.$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колоні:

$$X_{cp}^e = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,337 + 0,965}{2} = 0,651.$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^n + X_{cp}^e}{2} = \frac{0,174 + 0,651}{2} = 0,413.$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$\alpha_{cp} = \frac{x_{cp} \cdot M_A}{x_{cp} \cdot M_A + (1 - x_{cp}) \cdot M_B},$$
$$\alpha_{cp} = \frac{0,413 \cdot 32}{0,413 \cdot 32 + (1 - 0,413) \cdot 18} = 0,556.$$

Середня температура в нижній частині колоні:

$$t_{xcp}^n = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{98,0 + 78,1}{2} = 88,05^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колоні:

$$t_{xcp}^e = \frac{t_{XF} + t_{XP}}{2} = \frac{78,1 + 65,0}{2} = 71,55^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

$$t_{xcp} = \frac{t_{xcp}^n + t_{xcp}^e}{2} = \frac{88,05 + 71,55}{2} = 79,8^\circ\text{C}.$$

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

Середня мольна маса:

$$M_{xcp} = M_A \cdot X_{cp} + M_B \cdot (1 - X_{cp}),$$
$$M_{xcp} = 32 \cdot 0,413 + 18 \cdot (1 - 0,413) = 23,78 \text{ г/моль}.$$

Середня густина визначається по формулі:

$$\rho_{x\text{ cp}} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_{\text{cp}} + \rho_A (1 - \alpha_{\text{cp}})}$$

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

$$t_{x\text{ cp}} = 79,8\text{ }^{\circ}\text{C}; \rho_A = 736,2\text{ кг/м}^3, \rho_B = 772,1\text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{x\text{ cp}} = \frac{736,2 \cdot 772,1}{772,1 \cdot 0,556 + 736,2(1 - 0,556)} = 751,7\text{ кг/м}^3.$$

Середнє значення поверхневого натягу визначається за рівнянням:

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

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

Поверхневий натяг при  $t_{x\text{ cp}} = 79,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\sigma_A = 17,62 \cdot 10^{-3}\text{ н/м}, \sigma_B = 62,64 \cdot 10^{-3}\text{ н/м}.$$

$$\sigma_{x\text{ cp}} = 17,62 \cdot 10^{-3} \cdot 0,413 + 62,64 \cdot 10^{-3} (1 - 0,413) = 44,05 \cdot 10^{-3}\text{ н/м}.$$

Паровафаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{\text{cp}}^{\text{н}} = \frac{y_{\text{w}} + y_{\text{F}}}{2} = \frac{0,011 + 0,691}{2} = 0,351.$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{\text{cp}}^{\text{в}} = \frac{y_{\text{F}} + y_{\text{P}}}{2} = \frac{0,691 + 0,965}{2} = 0,828.$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{\text{cp}} = \frac{y_{\text{cp}}^{\text{н}} + y_{\text{cp}}^{\text{в}}}{2} = \frac{0,351 + 0,828}{2} = 0,590.$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y\text{ cp}}^{\text{н}} = 89,8\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y\text{ cp}}^{\text{в}} = 71,2\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температури  $t_{y\text{ cp}}^{\text{н}}$ ,  $t_{y\text{ cp}}^{\text{в}}$  знайдені з діаграми  $t - x$ ,  $y$  (рис. 2).

Середня температура по колоні:

$$t_{y\text{ cp}} = \frac{t_{y\text{ cp}}^{\text{н}} + t_{y\text{ cp}}^{\text{в}}}{2} = \frac{89,8 + 71,2}{2} = 80,5\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Середня мольна маса:

$$M_{y\text{cp}} = M_A \cdot y_{\text{cp}} + M_B \cdot (1 - y_{\text{cp}}) = 32 \cdot 0,590 + 18 \cdot (1 - 0,590) = 26,26 \text{ г/моль.}$$

Середня густина:

$$\rho_{y\text{cp}} = \frac{M_{y\text{cp}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T},$$

тут  $T = 273 + t_{y\text{cp}}$ , °C;  $P = 1$  кгс/см<sup>2</sup> (тиск в колоні атмосферний).

$$\rho_{y\text{cp}} = \frac{26,26}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 80,5)} = 0,876 \text{ кг/м}^3.$$

#### 4.1.5 Визначення діаметру колони

Діаметр колони визначаємо за рівнянням:

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

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

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y\text{cp}}} = \frac{G_p \cdot (R + 1)}{\rho_{y\text{cp}}} = \frac{0,625 \cdot (1,17 + 1)}{0,876} = 2,202 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} = \sqrt{\frac{2,202}{0,785 \cdot 1,0}} = 1,529 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони  $D = 1,6$  м і уточнюємо швидкість пару в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{2,202}{0,785 \cdot 1,6^2} = 1,10 \text{ м/с}$$

#### 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.

$$n_{\text{дійсн}} = \frac{n_{\text{теор}}}{\text{КПД}_{\text{тарілки}}} = \frac{11}{0,87} = 13,1 \approx 14$$

Тоді висота колони

$$H = (n_{\text{дійсн}} - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} = (14 - 1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2,0 = 9,3 \text{ м}$$

#### 4.2 Теплові розрахунки дефлегматора

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді при конденсації пару в дефлегматорі, визначається з рівняння теплового балансу дефлегматора:

$$Q_D = G_P \cdot (R + 1) \cdot r_P = G_B \cdot C_B \cdot (t_K - t_H),$$

$$\text{тут } r_P = a_P \cdot r_A + (1 - a_P) \cdot r_B.$$

Питомі теплоти пароутворення метанолу  $r_A$  і води  $r_B$  при  $t_{\text{ХР}}=65,0^\circ\text{C}$ :

$$r_A = 1098,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; r_B = 2346,4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$r_P = 0,985 \cdot 1098,3 + (1 - 0,985) \cdot 2346,4 = 1123,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$Q_D = 0,625 \cdot (1,17 + 1) \cdot 1123,3 \cdot 10^3 = 2166991,7 \text{ Вт}$$

Приймаємо температуру охолоджуючої води на виході з дефлегматора  $25^\circ\text{C}$ , тоді витрата охолоджуючої води:

$$G_B = \frac{Q_D}{C_B \cdot (t_K - t_H)} = \frac{2166991,7}{4190 \cdot (25 - 12)} = 39,8 \text{ кг/с}$$



Середня різниця температур при протиточній схемі руху теплоносіїв:

$$\begin{array}{ccc} 65,0\text{ }^{\circ}\text{C} & \longrightarrow & 65,0\text{ }^{\circ}\text{C} \\ 25\text{ }^{\circ}\text{C} & \longleftarrow & 12\text{ }^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\delta} = 65,0 - 12 = 53,0\text{ }^{\circ}\text{C};$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = 65,0 - 25 = 40,0\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Враховуючи, що  $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{53,0}{40,0} = 1,325 < 2$ , то

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2} = \frac{53,0 + 40,0}{2} = 46,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Приймаємо орієнтовно коефіцієнт теплопередачі  $K = 500\text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

Поверхня теплообміну дефлегматора:

$$F = \frac{Q_{\text{д}}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{2166991,7}{500 \cdot 46,5} = 41,2\text{ м}^2.$$

Ухвалюємо двоходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками:

- діаметр кожуха 400 мм;
- труба 20х2 мм;
- кількість труб у теплообміннику 166 шт;
- довжина труб 4 м;
- поверхня теплообміну 42 м<sup>2</sup>.

## 5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕФЛЕГМАТОРА

### 5.1 Вихідні дані

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

|  |   |
|--|---|
| Діаметр кожуха $D$ , мм                          | 400                                       |
| Довжина теплообмінних труб $l$ , мм              | 4000                                      |
| Зовнішній діаметр теплообмінної труби $d_m$ , мм | 20  |
| Товщина стінки труби $S_m$ , мм                  | 2   |
| Число ходів по трубах                            | 2   |
| Розрахунковий тиск у трубному просторі, МПа      | 1,0                                       |
| Розрахунковий тиск у міжтрубном просторі, МПа    | 1,0                                       |
| Розрахункова температура труб, °С                | 53  |
| Розрахункова температура кожуха, °С              | 65  |
| Матеріал кожуха, розподільної камери, кришки     | Ст3                                       |
| Матеріал трубних решіток                         | 16ГС                                      |
| Матеріал теплообмінних труб                      | Ст10                                      |
| Матеріал прокладки кожуха                        | пароніт                                   |
| Матеріал прокладки розподільної камери           | пароніт                                   |
| Середовище в трубному просторі                   | Взривопожежобезпечне, 4 класу небезпеки   |
| Середовище в міжтрубном просторі                 | Взривопожежонебезпечне, 2 класу небезпеки |

Теплообмінник 400 ТКГ-1,0-М1/20-4-2-У ТУ 3612-024-00220302-02

## 5.2 Розрахунки на міцність дефлегматора

### Розрахункова температура

Розрахункова температура розподільної камери:

$$t_{кам} = 2 \cdot t_m - t_k \quad (5.1)$$

$$t_{кам} = 2 \cdot 53 - 65 = 41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункова температура ізолюваних фланців:

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

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

Розрахункову температуру ізолюваних апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери дефлегматора приймаємо рівній температурі розподільної камери, тобто  $t_\phi = t_{кам} = 41 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

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

$$t_\phi = t_k = 65 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів ізолюваних фланцевих з'єднань:

$$t_{\bar{o}} = 0,97 \cdot t \quad (5.3)$$

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

$$t_{\bar{o}} = 0,97 \cdot t_{кам} = 0,97 \cdot 41 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

$$t_{\bar{o}} = 0,97 \cdot t_k = 0,97 \cdot 65 = 63 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### 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 5.1 Допустимі напруження матеріалів елементів дефлегматора.

| Елементи апарата   | Матеріал | Допустимі напруження, МПа              |   | Відношення допустимих напружень, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ |
|--|----------|--|---|---|
|  |          | при температурі 20 °С, $[\sigma]_{20}$ | при розрахунковій температурі, $[\sigma]$ |   |
| Кожух  | Ст3      | 154                                    | 151                                       | 1,019   |
| Трубні решітки   | 16ГС     | 196                                    | 191                                       | 1,026   |
| Труби  | Ст10     | 130                                    | 127,5                                     | 1,016   |
| Фланці апаратні  | Ст3      | 154                                    | 152,5                                     | 1,009   |
| Фланці штуцерів трубного простору                            | Ст3      | 154                                    | 152,5                                     | 1,009   |
| Фланці штуцерів кожуха                                       | Ст3      | 154                                    | 151                                       | 1,019   |
| Болти й гайки апаратних фланців і штуцерів трубного простору | 35       | 130                                    | 129                                       | 1,008   |
| Болти й гайки фланцевих з'єднань штуцерів кожуха             | 35       | 130                                    | 127,5                                     | 1,017   |

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

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

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

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

$$P_{np.m} = 1,25 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,016 = 1,28 \text{ МПа}$$

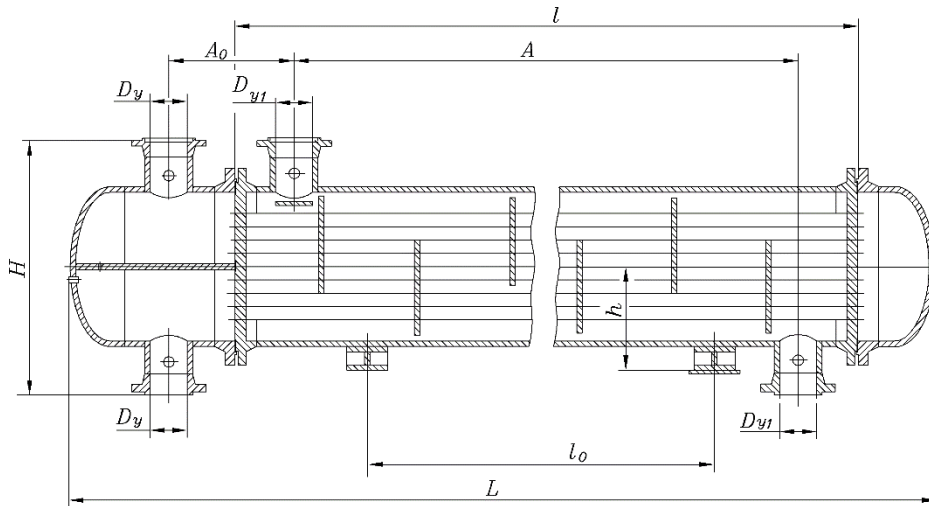


Рис. 5.1 - Кожухотрубчатий теплообмінний апарат.

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору дефлегматора становить

$$P_{гтр} = \rho_g \cdot g \cdot H_T \cdot 10^{-6}, \quad (5.5)$$

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

$$P_{гтр} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,726 \cdot 10^{-6} = 0,007 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{гтр} = 0,007 \text{ МПа} < 0,05 P_{np.m} = 0,05 \cdot 1,28 = 0,064 \text{ МПа}$$

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

$$P_{um} = P_{np.m} = 1,28 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{um} = 1,28 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,016 = 1,38 \text{ МПа}$$

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

Для міжтрубного простору (кожуха) при відношенні допустимих напружень  $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,09$  пробний тиск становить:

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

$$P_{np\kappa} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1,019 = 1,3 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{\kappa} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H_{\kappa} \cdot 10^{-6} \quad (5.7)$$

$$\text{де } H_{\kappa} = 0,726 \text{ м [13]}$$

$$P_{\kappa} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,726 \cdot 10^{-6} = 0,007 \text{ МПа}$$

$$P_{\kappa} = 0,007 \text{ МПа} < 0,05 \cdot 1,3 = 0,065 \text{ МПа}$$

$$P_{ик} = P_{np\kappa} = 1,3 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{ик} = 1,3 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_{\kappa} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1 \cdot 1,019 = 1,4 \text{ МПа}$$

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

#### Коефіцієнти міцності зварених швів

Трубний простір дефлегматора по розрахунковому тискові, температурі і характеру робочого середовища відносяться до 4 групи судин, для яких довжина контрольованих швів становить не менш 25 % від їхньої загальної довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварених швів ухвалюємо рівним  $\varphi_p = 0,9$  [14].

Міжтрубний простір дефлегматора 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  $\varphi_p = 1$  [14].

Для стикових (кільцевих) швів, які доступні зварюванню лише з однієї сторони і мають у процесі зварювання металеву підкладку з боку кореня шва, яка прилягає по всій довжині шва до основного металу, при контрольованій

довжині швів 100 %, коефіцієнт міцності зварених кільцевих швів кожуха ухвалюємо рівним  $\varphi_m = 0,8$  [14].

Добавки до розрахункових величин

Суми добавок до розрахункових величин визначаємо по формулі:

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

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

$C_2$  - добавка для компенсації мінусового допуску, мм.

Добавку для компенсації корозії і ерозії  $C_1$  розраховуємо по формулі:

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

де  $P$  - швидкість проникнення корозії;

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

$C_3$  - добавка для компенсації ерозії, мм.

Добавку для компенсації ерозії не враховуємо, ухвалюючи, що дефлегматор 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

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

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

### 5.3 Розрахунки кожуха дефлегматора

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

$$S_{p\kappa} = \frac{P_{\kappa} \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_{\kappa} \cdot \phi_p - P_{\kappa}} \quad (5.10)$$

де  $P_{\kappa}$  – розрахунковий тиск у міжтрубном просторі дефлегматора при розрахунковій температурі, МПа;

$D = 400 \text{ мм}$  - внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

$\phi_p$  - коефіцієнт міцності поздовжніх зварених швів.

$$S_{p\kappa} = \frac{1 \cdot 400}{2 \cdot 151 \cdot 1 - 1} = 1,46 \text{ мм}$$

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

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

ураховуємо, так як вона перевищує 5 % від номінальної товщини листа.

Сума додатків до розрахункової товщини стінки кожуха становить

$$C_{\kappa} = C_{I\kappa} + C_{2\kappa} = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо по формулі:

$$S_k > S_{p\kappa} + C_{\kappa} \quad (5.11)$$

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

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки кожуха рівною  $S_{\kappa} = 4 \text{ мм}$ .

Припустимий внутрішній надлишковий тиск у кожусі визначаємо по формулі:

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

$$[P] = \frac{2 \cdot 151 \cdot 1 \cdot (4 - 1)}{400 + (4 - 1)} = 1,45 \text{ МПа}$$

Умова міцності

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

Умова застосування розрахункових формул



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

виконується.

#### 5.4 Визначення товщини трубних решіток

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

Розрахунковий тиск визначаємо по формулі

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

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

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

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

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

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 21,3 \sqrt{1 / 191} = 1,15 \text{ мм}$$

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

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

Ухвалюємо  $S_p = 20 \text{ мм}$ .

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначаємо по формулі

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

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

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

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

$$S_{np} = 1,4 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{20,15}{8} \cdot \left( \frac{45}{26} - 1 \right)}; \sqrt{0,225} \right\} = 1,15 \cdot \max \{-0,35; 0,474\} = 0,65 \text{ мм}$$

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

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

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

### 5.5 Визначення допоміжних величин

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

$$\alpha_k = 11,6 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}C ; \alpha_m = 11,6 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}C$$

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

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

$$\Delta = 4000 \cdot \left| \left[ 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot (65 - 20) - 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot (53 - 20) \right] \right| = 1,04 \text{ мм}$$

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

Необхідне число лінз у компенсаторі розраховуємо по формулі:

$$n_{\text{л}} = \frac{\Delta}{\Delta_{\text{л}}} = \frac{1,04}{5,5} = 0,19$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа, тобто  $n_{\text{л}} = 1$ .

## 5.6 Розрахунки лінзового компенсатора

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_{\text{л}}}{d_{\text{н}}} \leq 0,035; 1,08 \leq \frac{D_{\text{л}}}{d_{\text{н}}} \leq 3,00; \frac{2r}{D_{\text{л}} - d_{\text{н}}} \leq 0,4. \quad (5.18)$$

$$\frac{S_{\text{л}}}{d_{\text{н}}} = \frac{3}{408} = 0,007 < 0,035;$$

$$1,08 < \frac{D_{\text{л}}}{d_{\text{н}}} = \frac{562}{408} = 1,377 < 3,00;$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_{\text{л}} - d_{\text{н}}} = \frac{2 \cdot 14}{562 - 408} = 0,18 < 0,4$$

виконуються.

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$d_1 = d_{\text{н}} - S_{\text{л}} \quad (5.19)$$

$$d_1 = 408 - 3 = 405 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_2 = D_{\text{л}} - S_{\text{л}} \quad (5.20)$$

$$d_2 = 562 - 3 = 559 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot r + S_{\text{л}}) \quad (5.21)$$

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо по формулі:

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

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

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$b_{\text{л}} = 0,5 \cdot (d_2 - d_1 + \rho_{\text{л}} \cdot r_s) \quad (5.23)$$

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

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

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

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

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

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

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

Характеристики хвилі обчислюємо по формулах:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$S_3 = 0,25 \cdot (559 - 405 - 2,173 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1}{151}} = 1,62 \text{ мм}$$

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

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

$$S_4 = \frac{1 \cdot 482}{2 \cdot 151 \cdot 1} \cdot \frac{72}{559 - 405 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,988 \text{ мм}$$

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

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

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

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

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

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

Виконавчу товщину стінки лінзового компенсатора розраховуємо по формулі:

$$S_l \geq S_{np} + C_l = 1,78 + 0,22 = 2 \text{ мм}$$

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

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

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

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

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

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

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

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

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

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

### 5.7 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість

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

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

Допустиму амплітуду інтенсивності напруження від розмаху тисків розраховуємо за формулою

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{0,45 \cdot 10^5}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{0,66 \cdot R_m^{20} - 0,43 \cdot R_e^{20}}{n_\sigma} \quad (5.37)$$

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

Напруження від деформації розраховуємо за формулою

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

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

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

$$[\Delta P] = [P]_n$$

Напруження від тиску визначаємо за формулою

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

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

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

## **6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕФЛЕГМАТОРА**

### **6.1 Виготовлення обичайок**

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

Для виготовлення обичайки спочатку виконується розмітка листових заготівель із метою вказівки границь обробки й раціонального розкрою листа для найбільш повного використання металу. Розмітка виконується на розмічальних столах або плитах. По маркуванню листа перевіряється відповідність марки металу, довжини, товщини й ширини листа вимогам креслення. Лист укладається на розмічальний стіл маркуванням нагору й на ньому розмічається базова ризику уздовж крайки з найменшої серповидності. На листі розмічаються ризики під відрізок, ризики з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні ризики. Різання листа здійснюють на гильйотинних ножицях. Після різання здійснюють обробку кромek на верстаті. Після цього лист подається до преса для підгибки кромek. Після підгинання кромek 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 різакom 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.

Метод ротаційного видавлювання

Метод ротаційного видавлювання (спининговання) полягає в тому, що формоутворення днищ проводиться роликами з малою зоною пластичної деформації, локалізованої на незначній частині обертової заготовки. Деформація заготовки здійснюється на універсальних давильних верстатах вертикального й горизонтального виконання. Оснащення складається з оправлення, притискної шайби і давильних роликів. Оправлення виготовляють для кожного типорозміру литтям, штампуванням, механічною обробкою зі сталі, чавуну, твердого дерева.

Давильні ролики виготовляють зі сталі, капрону ( для міді, алюмінію).

Процес видавлювання на давильних верстатах передбачає переміщення давильного ролика від центру до периферії при обертанні оправлення із заготовкою. На давильних верстатах передбачена також підрізування крайок днища (токарска операція).

При формованні днищ роликами без нагрівання заготовки її опуклу частину попередньо штампують на пресі.

Неглибокі днища при одиничному виробництві видавлюють без оправлення за допомогою опорного ролика, що обертається від самостійного привода. Шпиндель верстата і притискна шайба призначені лише для закріплення заготовки, але не для передачі крутного моменту. За такою схемою працюють верстати фірм "Болдрини" (Італія) і " Шляйфенбаум-Стайнлянтц" (Німеччина).

Видавлювання днищ більших розмірів і товщини роблять на важких порталних машинах, сполучаючи цю операцію з гарячим штампуванням. Маршрут обробки в цьому випадку наступний: 1) нагрівання заготовки; 2) штампування центральної частини днищ; 3) закачування борту з одночасним

завершенням формовання центральної частини днища; 4) отбортовка днища нерухливим бортовочним і нерухливим давильним валками.

Основним дефектом при виготовленні днищ методом ротаційного видавлювання є їх разнотолщинність по перетину деталі. Використання для зменшення утонення змінних оправлень економічно не вигідно через велику металоємність і трудомісткості виготовлення.

Для усунення цього недоліку використовуються вихідні заготовки у вигляді конуса з висотою, рівної  $1,1 \dots 1,3$  висоти днища. Причому, чим більше діаметр днища й пластичней матеріал, тем меншої висоти конуса виготовляється заготовка. Це забезпечує виключення разнотолщинності днища за рахунок перерозподілу матеріалу по його перетину, а також зменшення жолоблення через зменшення напруг у матеріалі.

Такі заготовки застосовують на пристрої, створеному на базі токарно-карусельного верстата, на планшайбі якого встановлюють оправлення, до якої притискним кільцем фіксують конічну заготовку. Формування відбувається за рахунок зусилля давильного ролика, закріпленого на траверсі з можливістю осьового й радіального переміщення. Особливістю даного способу є те, що рух давильного ролика, здійснюване в площині, зміщеної щодо центру обертання днища, забезпечує підвищення його якості за рахунок зменшення величини пружних деформацій у матеріалі. Ці деформації виникають при ротаційній витяжці у відсутності сдвигових деформацій, які відбуваються при проході давильного ролика через центр заготовки, і після відводу ролика приводять до утвору сферичного виступу, спрямованого усередину днища. Величину зсуву рекомендується вибирати в діапазоні  $1/8 \dots 1/4$  діаметра накатного ролика.

Застосування секційного оправлення й регульованої довжини траверси робить цю конструкцію універсальною ( для різних розмірів, матеріалів і толщин заготовки).

Більш широкими технологічними можливостями має установка для ротаційного видавлювання

У ній передбачене ротаційне видавлювання з одночасною зміною висоти й кута нахилу шпинделя стосовно осі обертання опорного ролика. Це забезпечує спрощення технології за рахунок проведення обтиску крайки днища без його переміщення на, що калібрує верстат ротаційної витяжки. Крім того, зміна кута нахилу шпинделя дозволяє змінити напрямок сдвигових деформацій на поверхні оброблюваної деталі - чим більше кут нахилу, тим більше величина сдвигових деформацій, верб те ж час нижче швидкість ротаційного видавлювання. Таким чином, при ротаційному видавлюванні з'являється можливість досягати максимальної якості поверхні деталі навіть при значному розкиді фізико-механічних властивостей матеріалу заготовок.

Можливість подачі накатного ролика в радіальному напрямку щодо центру сфери опорного ролика дозволяє забезпечувати виготовлення днищ із аркуша різної товщини й різної пластичності матеріалу. При цьому досягається більш висока чистота поверхні при випуску партії днищ із однакового матеріалу.

Основні переваги способу виготовлення днищ апаратів спинингованиєм (в умовах одиничного й дрібносерійного виробництва) у порівнянні зі штампуванням на пресах наступні:

- значно менша вартість через меншу масу й розмірів устаткування;
- майже в 5 - 6 раз менша тривалість переналагодження встаткування;
- більш висока якість і точність виробу;
- універсальність машин (на машині Rubo-25 (Італія) виготовляють днища діаметром від 1300 до 3800 мм і товщиною від 8 до 30 мм);
- простота оснащення і її низька вартість.

На унікальних порталних машинах у США, Японії, Великобританії одержують днища діаметром до 9000 мм і товщиною до 165 мм.

Особливості виготовлення тонкостінних днищ.

Штампування тонкостінних днищ ( $6 < 2$  мм) утрудняється схильністю заготовки до складообразованню і їх низкою механічною міцністю. Тому

потрібне попереднє притиснення заготовки 1 по периферії й протяжному кільцю фланцем спеціальної конструкції.

Використовують також прес подвійної дії із зовнішнім і внутрішнім повзунами, який виконує дві самостійні операції: притиск заготовки до штампа і витяжку. Після притиску заготовки внутрішній плунжер діє незалежно від зовнішнього.

Надійна фіксація заготовки забезпечується при використанні оснащення. У цьому випадку витяжка днища також розділяється на два етапи: штампування плоского днища притискним кільцем з попередньою витяжкою центральної частини заготовки й остаточне штампування днища пуансоном.

Застосування в практиці апаратобудування знаходить також штампування в поліуретанові (гумові) матриці й гідравлічна витяжка тонкостінних днищ. Необхідний тиск рідини досягає 40 Мпа.

Новим напрямком в удосконалюванні встаткування для виготовлення тонкостінних днищ є забезпечення змінного по величині зусилля притиснення заготовки в міру її формовання. Це дозволяє суттєво знизити дефекти при виготовленні.

В установці, у яку поряд з гідравлічним пресом подвійної дії входять також регулювальний клапан і копирная лінійка, закріплена на штанзі, для зниження зусилля від ваги рухливих частин притискного повзуна (їх вага досягає 1400 кН) передбачені піднімальні циліндри, керовані за допомогою насосної станції й клапана.

Міняючи профіль копирной лінійки, можна одержати практично будь-який закон зміни зусилля притиску, при цьому практично повністю усунути дефекти штампування й знизити утонение стінки днища.

Складання вузлів апаратів

Установка опорних елементів і тарілок

Установка опорних елементів контактних пристроїв є одною з найбільш складних у технологічному плані операцій по складанню колонної апаратура. Розглянемо основні специфічні особливості цієї операції.

1 Розмітка. На розмітку корпус апарата надходить повністю зібраним і звареним по довжині із привареними люками й штуцерами. У якості єдиної постійної бази для визначення положення тарілок у корпусі прийнято два реперні пристрої (рис. 6.1), установлюваних на корпусі в одній з діаметральних площин на максимальній відстані друг від друга.

Вивірка апарата на монтажі проводиться теодолітом по марках у двох площинах, розташованих під кутом  $90^\circ$  до напрямку реперних пристроїв.

Розмітка виконується оптичним методом. У комплекс технологической оснащення, призначеної для оптичної розмітки корпусів, входять: лазерний візир, мішень, оптичний розмітник (рис. 6.2).

Лазерний візир 1 призначений: а) для одержання паралельного пучка монохроматичного когерентного світла діаметром 20 - 30 мм; б) для установки бобышки репера на корпус апарата; в) для завдання напрямку допоміжних технологічних баз.

Мішень 6 необхідна для визначення положення допомогательной технологической бази усередині апарата. Стоїка 8 мішені служить також для установки бобышки на корпус, а струна 7 для установки мішені при розмітці корпусу змінного діаметра. Оптичний розмітник використовується для визначення на внутрішній поверхні корпусу крапок під установку опорних елементів тарілок. Використовуючи явище дифракції монохроматичних лучей, розмітник дозволяє одержати на поверхні корпусу чітко видимий хрест або крапку.

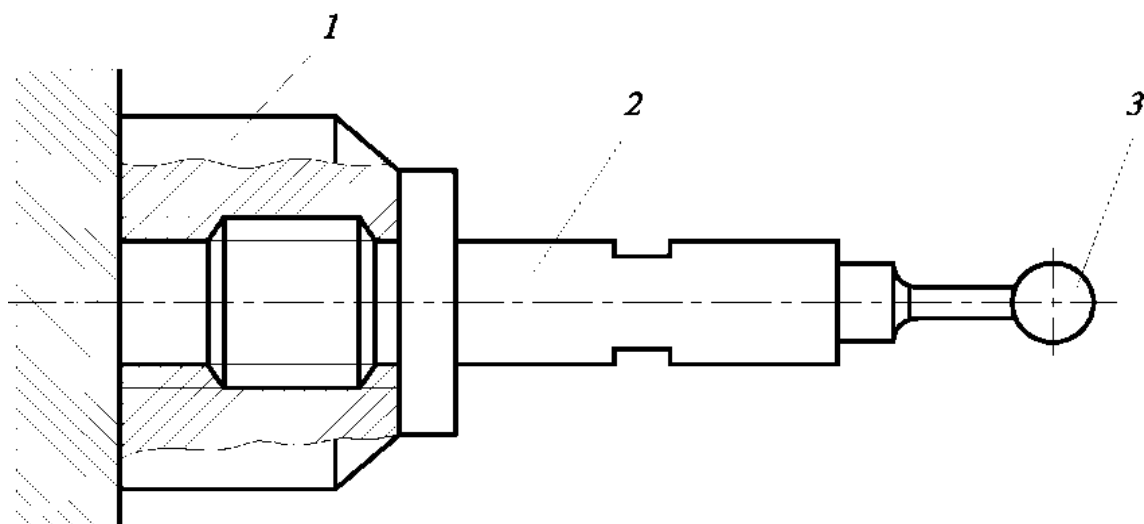


Рис. 6.1 Схема установки реперного пристрою:

1 - бобышка репера; 2 - репер; 3 - марка

Рис. 4.7 Схема установки реперного пристрою:

1 - бобышка репера; 2 - репер; 3 - марка

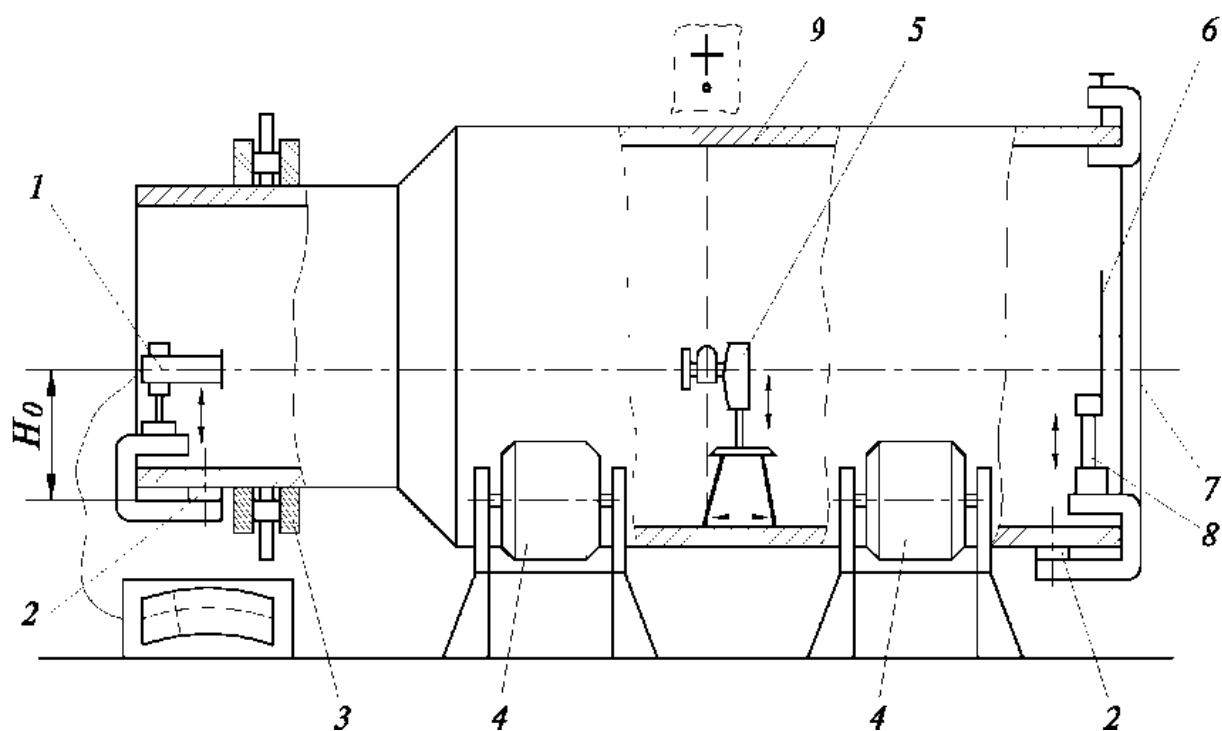


Рис. 6.2 Схема розмітки опорних елементів:

1 - лазерний візир; 2 - бобышка репера; 3 - кільце каліброване;

4 - роlikоопора; 5 - розмітник; 6 - мішень;

7 - струна; 8 - стійка; 9 - корпус

Для калібрування корпусу використовують калібровані кільця. Розмітка проводиться в наступному порядку:

- визначають положення чотирьох головних осей на зовнішній і внутрішній поверхні корпусу й допоміжних ( під установку деталей і вузлів тарілок, що приварюються до корпусу) за допомогою виска;
- знаходять дві контрольні точки для розташування контрольних кільцевих ліній і крапок для установки опорних елементів ( за допомогою рулетки);
- установлюють і закріплюють до стійок лазерного візира й мішені бобышки реперів;
- установлюють лазерний візир і мішень;
- наносять за допомогою оптичного розмітника кільцеві контрольні лінії під установку опорних елементів;
- прихоплюють бобышки реперів до корпусу апарата;
- знімають технологічне оснащення;
- розмічають на внутрішній поверхні корпусу місця під установку деталей, що приварюються, і вузлів;
- розмічають на зовнішній поверхні корпусу базові лінії під установку вертикальної опори.

Головні осі на зовнішній і внутрішньої поверхнях, допоміжні осі відбиваються за допомогою намеленной нитки. Кінці ліній кернят ( по шару, що плакує, відзначають фарбою). Ширина ліній не більш 1 мм.

2 Розглянемо порядок установки деталей, що приварюються до корпусу ( на прикладі однопотоківих клапанних тарілок).

Послідовність складання наступна:

а) набудовують шаблон, зафіксувавши профіль корпусу по місці монтажу сегментів;

б) обрізають сегменти по шаблону й у зборі з косинцями й косинками подають у корпус апарата;

в) установлюють сегменти в зборі по черзі по розмітці, витримуючи розмір К;

г) установлюють косинки по розмітці;

д) установлюють по розмітці перегородки в зборі з косинцями;

е) повертаючи корпус у зручне положення, установлюють по розмітці півкільця й косинки тарілок.

У процесі установки деталей прихоплюють їх до корпусу.

3 Зварювання деталей і вузлів тарілок.

Проводиться ручний або напіваавтоматичним електродуговим зварюванням. Леговані сталі - ручної електродугової.

4 Установка коробів і балок тарілок у корпус. Проводиться за допомогою двотаврової балки й талі.

У процесі установки контролюють правильність розташування деталей і вузлів тарілок і зазори під зварювання між корпусом і опорними елементами тарілок.

З'єднання фланців з днищами

Для забезпечення складання фланців із днищем (кришкою) використовують спеціальний стенд. Днище установлюють на хрестовину. Зверху встановлюють фланець і пневмоприжимами натягають на днище до упору в хрестовину. Пневмоприжимов найчастіше буває шість, у горизонтальному напрямку вони переміщуються вручну по опорі.

При складанні литих фланців із днищами (обичайкою) встик застосовують струбцину-домкрат. При складанні під зварювання досить два - три пристосування.

Складання теплообмінних апаратів

У загальному обсязі продукції апаратобудування теплообмінники займають близько 30 %. Різноманітність умов, у яких працюють теплообмінні апарати, є причиною існування безлічі різних конструкцій і, відповідно, технологій, застосовуваних для їхнього виготовлення.



Із загального обсягу теплообмінників: 80 % кожухотрубчатые; 8 % труба в трубі; 12 % - інші. Враховуючи, що кожухотрубчатые теплообмінники найпоширеніші, розглянемо особливості технології їх складання.

Технологія складання кожухотрубчатих теплообмінників містить у собі цілий ряд операцій, у результаті яких окремі вузли й деталі з'єднуються в готові вироби. Особливі вимоги до точності складання стосуються в першу чергу вузлів з'єднання трубного пучка із ґратами й ґрат з корпусом теплообмінника.

Граничні відхилення розмірів у місцях кріплення труб до ґрат не повинні перевищувати  $h_1. 2 \pm 5$  мм;  $h_2 = 1,5 \pm 1 + 1$  мм. Відхилення від перпендикулярності торця трубки не більш 1 мм.

Граничні відхилення від перпендикулярності трубних ґрат до осі пучка повинні бути не більш 1 мм для  $D$  до 1000 мм; 1,5 мм для  $D$  до 1500 мм і 2 мм для  $D > 1500$  мм.

Граничні відхилення відстані між центрами двох сусідніх отворів у ґратах -  $\pm 0,25$  мм і  $\pm 0,5$  мм на будь-яку суму кроків.

Зразковий маршрут виготовлення кожухотрубчатих теплообмінників включає послідовне виконання наступних груп операцій:

- 1) складання обичайки з установкою й приваркой штуцерів і опорних лап;
- 2) складання трубного пучка (складання й зварювання обичайки із трубними ґратами, установка труб у ґрати, вальцювання труб із двох сторін, торцювання кінців труб);
- 3) випробування (гідравлічні випробування на пробний тиск межтрубного простору, а також пневматичне випробування робочим тиском із зануренням трубного пучка у ванну з водою);
- 4) складання кришок;
- 5) складання трубного пучка із кришками;
- 6) гідровипробування трубного простору на пробний і робочий тиск.

Зміст складальних операцій полягає, як правило, у проведенні зварювальних робіт і в складанні нарізних сполучень, що не представляє особливих складностей.

## **7 РЕМОНТ ДЕФЛЕГМАТОРА**

### **7.1 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту**

Дефлегматор 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.

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

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

Після закінчення провітрювання варто зробити аналіз повітря, узятим з різних порожнин дефлегматора.

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

Ремонт посудини виконують за технологією, розробленою ремонтною організацією до початку виконання ремонтних робіт. Всі види ремонтів повинні виконуватися в строгій відповідності із графіком ППР, затверджене 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 кромок 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 більш 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 заміняють цілою або полистно. При заміні цілої проміжної обичайки використовують вантажопідйомні механізми. Вони утримують верхню неушкоджену частину апарата. Цю частину відокремлюють від дефектної обичайки й опускають на землю. Ушкоджену обичайку за допомогою тих же механізмів також опускають на землю. Нову обичайку піднімають і стикують із нижньою частиною апарата. Потім піднімають верхню частину й після стикування з обичайкою й перевірки частин обоє стикових шва заварюються. При полистовій заміні використовують листи, завальцьовані по радіусу, рівному радіусу корпусу.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці заміняють новими.

### **7.3 Зварювання при ремонті**

Зварюванням усуваються ушкодження цілісності деталей.

Вихід з ладу корпусних деталей пов'язаний із тривалою зупинкою встаткування, наносить великий економічний збиток підприємству. Тому ремонт таких великовагових деталей, виконуваний звичайно методами зварювання, набуває важливого значення. Ремонт корпусних деталей -тривала й відповідальна операція. Основні складності пов'язані з демонтажем деталей, необхідністю їх прогріву, збереження основних розмірів деталі й забезпечення міцності відремонтованої деталі.

Для ремонтних цілей застосовуються різноманітні способи зварювання: дугова ручна; електрошлакова; автоматична й напівавтоматична у вуглекислому газі (двоокиси вуглецю) і під флюсом; ацетилено-киснева й інші.

Дугове зварювання найбільше широко використовується при ремонті, тому що дозволяє виконувати роботи при будь-якому положенні шва. Великий асортимент, що випускається промисловістю електродів забезпечує можливість добору металу шва по механічних властивостях і хімічному складу, близьким до основного металу.

Для зварювання легированих сталей слід застосовувати електроди, що мають трохи більший ступінь легування, чому в металу, що зварюється, деталі, тому що частина легуючих добавок при зварюванні окисниться. Для підвищення стійкості горіння дуги електроди покриваються крейдовою обмазкою. Крейдова обмазка підвищує стійкість дуги, але не захищає метал від впливу повітря. Електродні покриття містять органічні речовини, які, згоряючи, утворюють  $\text{CO}_2$  і  $\text{CO}$ , що витісняють повітря з області дуги, і, таким чином, захищають метал від окиснення. Електродні обмазки включають і шлакоутворювальні матеріали (мармур, польовий шпат, каолін); одержуваний рідкий шлаки в процесі зварювання теж ізолює поверхню металу від повітря. Крім цього, в електродні покриття входять раскисляющие речовини (графіть, алюміній, феросплави), які, з'єднуючись із окислами, утворюють легкоплавкі шлаки.

При підготовці до зварювання сталевих деталей проводиться оброблення крайок до повного видалення тріщини. Оброблення виконується механічним способом (рубання, фрезерование, проточка), газовому різанню і виплавою електричною дугою. Коли обсяг металу, що віддається, великий, доцільно на дефектну ділянку вварити вставку з металу, близького по составу до основного.

При ручному дуговому зварюванні не потрібно складного зварювального встаткування, її можна виконувати в різних виробничих умовах як на місці установки ремонтного встаткування, так і в ремонтному цеху. Зварювання сталевих виробів великої товщини (55-50 мм) зі сталі, що містить  $> 0,23\% \text{ S}$ ,

здійснюється із загальним або місцевим підігрівом до 250—350 °С. Нагрівання може бути індукційним, в електричних печах і горнах, пальниками. Якщо за умовами технології необхідна загальна термообробка виробу після зварювання, то більш зручно виконувати роботи в спеціальних електропечах. Піч повинна бути побудована так, щоб місце, де проводиться зварювання, було доступно для роботи й надійно ізольоване від загального обсягу печі. При зварюванні деталей значної товщини застосовуються електроди діаметром 5; 6 і 8 мм. При відсутності електродів великого діаметра рекомендується з'єднувати електроди в пучки — по два, три й чотири. У цьому випадку зварювання здійснюється від джерел постійного струму при зворотній полярності.

Для зменшення внутрішніх напружень і жолоблень при зварюванні сталевих виробів великої товщини застосовуються наступні способи.

1. Накладення багат шарових швів «каскадом» або «гіркою». Зварювання починають із нижньої частини оброблення й поступово заповнюють металом увесь перетин. При такому способі перетин шва заповнюється повністю, заварена ділянка здобуває необхідну міцність і небезпека появи тріщин при зварюванні суттєво зменшується.

2. Застосування двостороннього оброблення крайок, якщо зварювання виконується при вертикальному положенні шва. При цьому зварювання «гіркою» потрібно виконувати одночасно із двох сторін. Такий спосіб забезпечує рівномірну усадку й майже повна відсутність жолоблень.

3. Виконання зварювання за один тепловий цикл, до повного закінчення всіх операцій по зварюванню.

Для посилення місць зварювання сталевих деталей можуть використовуватися накладки, товщина яких не повинна перевищувати товщину деталі.

Дефекти корпусів сталевих апаратів проявляються в утворенні випучин і тріщин. Випучини виникають при перегріві корпусу в результаті обвалення футеровки або зниження рівня холодоагенту. Тріщини утворюються під впливом напруг при супутньому впливі корозії. Випучини видаляють, а потім вварюють латки. Тріщини необхідно заварити. При розбіжності крайок тріщини більш 15 мм установлюється латка. Щоб уникнути термічного впливу зварювання двох поздовжніх швів ширина латки повинна бути не менш 250 мм. Аркуші, призначені для виготовлення латок, загинаються по радіусу, рівному радіусі кривизни корпусу. Після цього по шаблоніві, знятому з місця вирізу, виготовляється латка.

При заварці дефектів корпусу апаратів із двошарових сталей спочатку здійснюється оброблення крайок і заварка основного шару, а, що потім плакує. Однак при ремонті не завжди є можливість проведення зварювання із внутрішньої сторони апарата, тобто з боку, що плакує шару. У цьому випадку після оброблення крайок зварювання обох шарів ведеться із зовнішньої сторони апарата.

Послідовність нанесення зварювальних шарів наступна. Шар, що плакує, наноситься в середовищі аргону першим. Потім у цьому ж середовищі наноситься розділовий шов з використанням у якості присадки армко-залоза (режим повинен забезпечувати мінімальне проплав-леніс шару, що плакує). У последню'очередь наноситься основний шар. При цьому електроди повинні відповідати марці металу, що зварюється. Для зварювання тонкостінних виробів (баки, кожухи і т.д.) застосовується ацетилено-кисневе зварювання. У якості присадочного металу при газовому зварюванні використовується сталевий дріт.

**Автоматичне зварювання під шаром флюсу.** Сутність цього способу полягає в тому, що електрична дуга горить під розплавленим флюсом. Флюс запобігає розбризкуванню металу, захищає метал від



кисню повітря, забезпечує формування нормального звареного шва. Електродний дріт подається з касети автоматичною головкою. Використання флюсу дозволяє застосовувати електродний дріт без покриття. Частина флюсу під час наплавлення розплавляється й перетворюється в жужільну кірку, яка віддаляється ударами молотка. Нерас- частина, Що Плавився, флюсу використовується повторно. Автоматичне зварювання під шаром флюсу застосовується в основному для зварювання циліндричних деталей (вузли трубопроводів, корпуса апаратів) при обертанні елементів, що зварюються, за допомогою вращателя або маніпулятора. Діаметр труб повинен бути не менш 200 мм. При меншому діаметрі використовуються зварювальні напівавтомати. Зварювання проводиться не менш чому у два шари. Режим зварювання в кожному випадку встановлюються на пробних зразках. При накладенні багат шарових швів після накладення кожного валика віддаляється шлаки й шляхом зовнішнього огляду перевіряється якість шва на відсутність тріщин і пор. Дефектні місця повинні бути повністю видалені, а вирубані ділянки знову заварені.

**Зварювання в середовищі вуглекислого газу.** При цьому способі зварювання зварювальна дуга й розплавлений метал захищаються від шкідливого впливу повітря струменем вуглекислого газу, що подавати в зону зварювання. Вуглекислий газ важче повітря в 1,5 рази й відтискує його від зони зварювання. Електродний дріт з касети безупинно подається в зону зварювання із заданою швидкістю. Підведення струму до дроту здійснюється за допомогою мундштука й наконечника. Наконечник розташовується усередині газового пальника, що подає захисний газ у зону зварювання.

Автоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу дозволяє механізувати процес нанесення покриттів на деталі зі складними профілями поверхонь, що зношуються, а також відновлювати

циліндричні поверхні деталей малих діаметрів (менш 45 мм). Цим способом можна відновлювати також ішли-цевые поверхні валів, отвору в корпусних деталях і т.д.

Зварювання й наплавлення в середовищі вуглекислого газу має ряд переваг перед іншими методами: 1) надійний захист зварювальної ванни від окиснення киснем навколишнього повітря;

2) відсутність флюсу при зварюванні процес, що ускладнює цей;

3) висока продуктивність; 4) простота процесу й можливість його механізації.

Автоматичне й напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу використовується не тільки при ремонті, але й при виготовленні нової апаратури. Напівавтоматичне зварювання електродом, що плавить, застосовується для зварювання углеродистых, низько-п високолегованих сталей. Тонкий зварювальний дріт (0,8 — 1,2 мм) використовується для зварювання стикових з'єднань із товщиною аркуша 1-4 мм, а дріт діаметром 1,6-2,0 мм - для зварювання металу товщиною більш 4 мм. Зварювання проводиться постійним струмом зворотної полярності, яка характеризується більшою стійкістю дуги, меншою схильністю шва до порообразованию, малим розбризкуванням, зниженим вигоранням вуглецю, поліпшенням чистоти наплавленого шару.

Поряд зі зварюванням у вуглекислому газі при ремонті використовується аргонодуговая зварювання. Аргон хімічно більш інертний, чому вуглекислий газ, і в ряді випадків краще захищає метал у зварювальній ванні від окиснення. Аргонодуговая зварювання забезпечує більш висока якість зварених з'єднань нержавіючих сталей і застосовується для найбільш відповідальних зварених швів. Матеріали товщиною до 2-3 мм доцільно зварювати не плавлячимся вольфрамовим електродом. При товщині металу понад 2-3 мм зварювання здійснюється електродом, що плавиться.

При зварюванні відповідальних трубопроводів захист кореня шва від окиснення здійснюється поддувом аргону зі зворотної сторони шва. З метою економії аргону на ділянці трубопроводу в зоні стику ставляться заглушки.

Ціль зварювання кореневого шару — забезпечення повного провару кореня шва з гарним формуванням його внутрішньої сторони.

Аргонодуговая зварювання труб із трубними ґратами дозволяє одержувати щільні, якісні шви. Отвору трубних ґрат після сверловки раззенковуються під кутом  $60^\circ$  на глибину 2 мм. Кінці трубок виступають із трубних ґрат на 1,5-2,0 мм. При зварюванні вони оплавляються й заповнюють оброблення. Недоліком аргонодуговой зварювання є те, що аргон дорогий.

Якщо при зварюванні, змінним струмом на електродах виділяється приблизно однакова кількість теплоти, то при зварюванні постійним струмом на позитивному електроді виділяється більша кількість теплоти, чому на негативному електроді. Тому процес зварювання можна регулювати, застосовуючи струм прямої або зворотної полярності. При зварюванні масивних деталей їх з'єднують із позитивним полюсом, (струм прямої полярності), що приводить до кращого прогріву деталі в процесі зварювання, збільшенню глибини плавлення металу. При зварюванні тонколистових деталей їх з'єднують із негативним полюсом (струм зворотної полярності, що дозволяє уникнути перегріву й прожога аркуша.

Зварювання чавуну. Корпусні деталі машин часто відливаються із чавуну. Зварювання чавуну скрутне внаслідок великого змісту вуглецю, низької пластичності й міцності чавуну, високої чутливості до нагрівання. Чавунні деталі можна зварювати холодним і гарячим способами. (

Холодне зварювання чавуну здійснюється без попереднього підігріву деталі, що зварюється. У цьому випадку швидке

охолодження звареного шва приводить до відбілювання чавуну й утвору тендітного прошарку між основним металом і металом шва. Через відмінність коефіцієнтів лінійного подовження сірого й білого (вибіленого) чавуну з'являються тріщини. Незважаючи на цей недолік, холодне зварювання чавуну доводиться застосовувати для тих корпусних деталей і станин, нагрівши яких скрутний. Для виключення відбілювання чавуну використовуються спеціальні електроди.

Підготовка чавунної деталі до зварювання проводиться вирубкою, фрезерованием, свердлінням до чистого металу. Використання зварювальної дуги й зварювальних пальників неприпустимо! Для посилення звареного шва в товстостінних деталях на краях канавок встановлюються ввертиші.

## 8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

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

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

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. Забороняється проводити зварювальні роботи на відкритому повітрі під час дощу й снігопаду.

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. 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 налічує не менш двох осіб: один працює, а іншої спостерігає за ним. 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 пускатчем 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.

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 огороджує, 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.



## **ВИСНОВКИ**

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

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

У ході виконання даного дипломного проекту були розраховані матеріальний і тепловий баланси. Виконано конструктивний розрахунок проектного апарату, в ході якого визначено основні розміри проектованої колони та дефлегматора. Визначено діаметри штуцерів, підібрані стандартні конструктивні елементи.

Накреслена графічна частина: загальний вигляд дефлегматора, технологічна схема ректифікаційної установки, збірні одиниці апаратів.

## ЛІТЕРАТУРА

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

химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.

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

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

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

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

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

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

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

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