

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних
виробництв"

Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші бензол-толуол. Розробити горизонтальний кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації парів бензолу.

Виконав:

студент групи ХМ-91/3кі-1

Довгаль Олександр Вадимович

підпис

Залікова книжка

№ 21510016

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

Михайловський Яків

Емануїлович

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних
виробництв"

Курс 4 Група ХМ-91/3кі-1 Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студенту Довгалю Олександрю Вадимовичу

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші бензол-толуол. Розробити горизонтальний кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації парів бензолу.

2 Вихідні дані: Витрата парів бензолу 18000 кг/год під атмосферним тиском. Холодний теплоносій – вода технічна з початковою температурою 20°C.

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

- | | |
|--|----------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u> | - 1 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарата</u> | - 1 арк. |
| 3. <u>Креслення деталей і вузлів апарата</u> | - 3 арк. |

4 Рекомендована література: Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 32с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання _____

Керівник _____

підпис _____

Зміст

Вступ	5
1. Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва	6
1.2 Теоретичні основи процесу	7
1.3 Описання об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	10
1.3.1 Описання об'єкта розроблення	10
1.3.2 Вибір конструкційного матеріалу	13
1.4 Порівняння конструкції проектованого апарату з аналогами	16
2. Технологічні розрахунки процесу та апарата	21
2.1 Конструктивні розрахунки	22
2.2 Розрахунок діаметра штуцерів	26
2.3 Гідравлічний опір апарату	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	28
3. Розрахунки апарату на міцність.	29
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки апарата	29
3.2 Розрахунок і вибір опори	32
3.3 Розрахунок фланцевого з'єднання	34
4. Монтаж та ремонт апарата	40
4.1 Монтаж розробленого апарата	40
4.2 Ревізія та ремонт	43
5. Охорона праці	48
Список літератури	53

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Довгаль</i>				<i>Кожухотрубчастий теплообмінник</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Михайловський</i>						4	54
<i>Н. Контр.</i>					<i>Пояснювальна записка</i>	<i>ХМ-91/Зкі-1</i>		
<i>Утв.</i>								

Вступ

Завданням на кваліфікаційну роботу було запропоновано розробити кожухотрубчастого теплообмінника для конденсації парів бензолу в складі ректифікаційної установки.

Теплообмінниками називаються апарати, в яких відбувається теплообмін між робочими середовищами незалежно від їх технологічного або енергетичного призначення (підігрівачі, випарні апарати, конденсатори, пастеризатори, випарники, деаератори, економайзери і ін.).

Технологічне призначення теплообмінників різноманітне. Зазвичай розрізняються власне теплообмінники, в яких передача тепла є основним процесом, і реактори, в яких теплової процес відіграє допоміжну роль.

За основним призначенням розрізняються підігрівачі, випарники, холодильники, конденсатори.

Бензол в цьому процесі займає головне місце. Його завдання це через вхідних штуцер потрапити то між трубного простору теплообмінника в стані пари під атмосферним тиском. Після цього пароподібний бензол сконденсується на трубах апарата, та вже у рідкому стані через вихідний штуцер вийде з теплообмінника.

Також бензол використовується як розчинник у різних реакціях. З його допомогою можна перетворювати різні органічні сполуки. Напівпродукти, отримані з використанням цієї субстанції, можуть застосовуватися для виготовлення пластику, каучуків, медичних препаратів, інсектицидів і т.д. Крім того, необхідність купити бензол виникає і при виробництві автомобільного палива. Але в цьому випадку вміст фенілового водню має бути мінімальним, не перевищувати 1%.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

1. Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Технологічна схема ректифікаційної установки в складі якої є заданий конденсатор показаний на рисунку 1.1

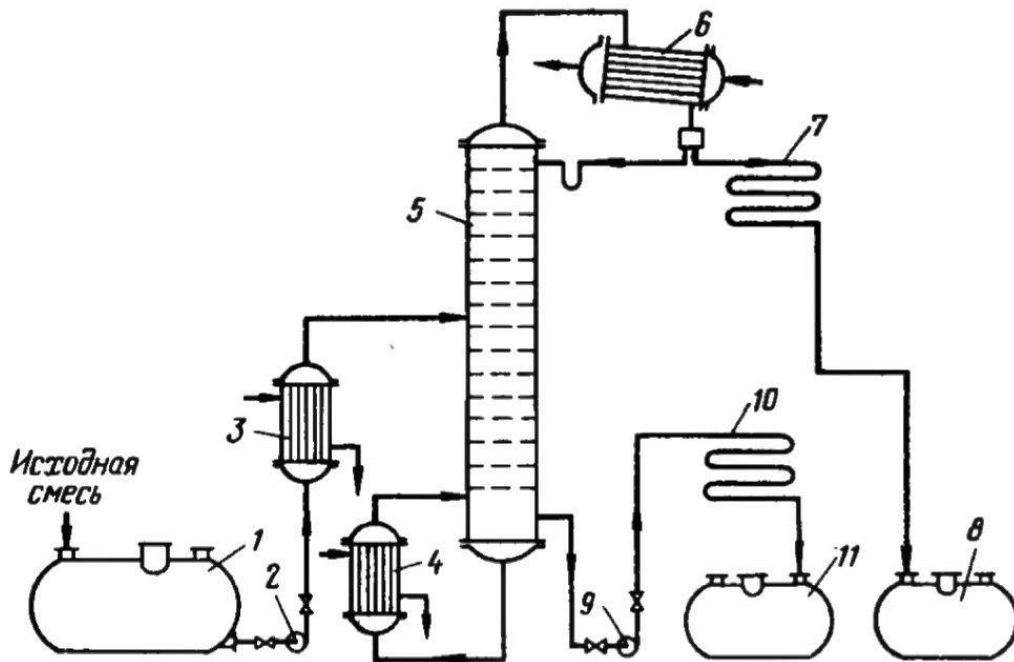


Рисунок 1.1 – Принципіальна схема ректифікаційної установки 1 – ємність для вихідної суміші; 2, 9 – насоси; 3 – теплообмінник-підігрівач; 4 – кип'ятильник; 5 – ректифікаційна колона; 6 – дефлегматор; 7 - холодильник дистиляту; 8 – ємність для збору дистиляту; 10 – холодильник кубової рідини; 11 – ємність для кубової рідини

Принципіальна схема ректифікаційної установки представлена на рисунку 2.1. Вихідна суміш з проміжної ємності 1 відцентровим насосом 2 подають у теплообмінник 3, де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш подається на розділення в ректифікаційну колону 5 на тарілку, де склад рідини дорівнює складу вихідної суміші. [1]

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з паром, що підіймається вгору, який обраховується при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику 4.

					ХІ.Т.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Початковий склад пари приблизно дорівнює складу кубового залишку (збіднений легко летучим компонентом). В результаті масообміну з рідиною пара збагачується легко летучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують у відповідності з заданим флегмовим числом рідини (флегми) складу, отримуючої в дефлегматорі 6 шляхом конденсації пари, що виходить з колони.

Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту розділення дистиляту, який охолоджується в теплообміннику 7 та направляється в проміжну ємність 8.

З кубової частини колони насосом 9 безперервно виводиться кубова рідина – продукт, збагачений важколетучим компонентом, який охолоджується в теплообміннику 10 та направляється в ємність 11.

Таким чином, в ректифікаційній колоні відбувається безперервний неврівноважений процес розділення вихідної бінарної суміші на дистилят (з високим вмістом легко летучого компоненту) та кубовий залишок (збагачений важко летучий компонент).

Найголовніша перевага даної схеми ректифікації, це те що в установці передбачено раціональне використання тепла. Тепловідведених потоків використовується для нагрівання висхідний, тобто нагрівають початкову суміш за рахунок тепла рідини, віддається з нижньої частини колони, так званого кубового залишку. Тобто все тепло, що виділяється у будь якому апараті використовується для підвищення загально ККД установки.

1.2 Теоретичні основи процесу

Якщо створені такі умови при яких пара контактує з поверхнею, температура якої нижча за температуру насичення цієї пари, то за законами фізики він конденсується на стінках у вигляді багатьох невеликих крапель рідини.

Якщо виділяти процес конденсації саме та твердій поверхні, то розрізняють три види такого процесу.

					<i>XI. T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

Перший вид – це плівкова конденсація, це такий вид конденсації при якій утворений конденсат з'являється на поверхні і стікає у вигляді однієї суцільної плівки. Найчастіше може зустрічатися при процесах інтенсивної конденсації. До речі практично в сучасних конденсаторах завжди проходить плівкова конденсація.

Другий найпростіший вид – крапельна. Це коли конденсат випадає на поверхні у вигляді окремих крапель (має місце на не змочених поверхнях охолодження). Велика перевага цього виду конденсації це те, що на відміну від інших можна отримувати великі коефіцієнти тепловіддачі. Для прикладу приведу значення коефіцієнту тепловіддачі плівкової конденсації звичайної водяної пари при атмосферному тиску – це дорівнює $(7\div 12)\cdot 103 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, а за таких же умов при крапельній конденсації - $(4\div 10)\cdot 104 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Особливо дієвою крапельна конденсація є в апаратах, поверхня охолодження яких не змочується конденсатом через фізичні властивості рідкої фази. Для прикладу можемо привести конденсатор ртутного пара, а також при періодичному введенні в пару ефективних гідрофобізаторів.

Останній вид конденсації – це змішана. Також доволі зрозумілий вид – конденсація при якій частина поверхні покрита краплями, а частина - плівкою конденсату.

Якщо ж говорити про апарати в яких проводяться ці процеси, то ми можемо привести в приклад кожухотрубні теплообмінники.

Кожухотрубний теплообмінник це різновид тепло технічного апарату рекуперативного типу, в якому відбувається теплообмін між двома не змішуючимися середовищами, розділеними стінками прохідних каналів.

Якщо ж говорити про те, чому відбувається теплообмін, через що два різних середовищ обмінюються теплом і чому ж теплообмінник працює, то одразу в голову приходять поняття рушійної сили.

Середня рушійна сила процесу залежить від початкових та кінцевих температур кожного теплоносія, а також від схеми взаємного руху теплоносіїв. Незважаючи на те що теплообмінник за трубним і за міжтрубним просторами є багатоходовим, середня рушійна сила розраховується як для чистої протитечії за рівнянням [8]:

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_{H2} - t_{KX}) - (t_{K2} - t_{HX})}{\ln \frac{t_{H2} - t_{KX}}{t_{K2} - t_{HX}}}$$

де t_{H1} – початкова температура гарячого теплоносія;

t_{KX} – кінцева температура холодного теплоносія;

t_{K1} – кінцева температура гарячого теплоносія;

t_{H1} – початкова температура холодного теплоносія.

Також немало важливим параметром для процесу теплообміну є значення коефіцієнта тепловіддачі для обох теплоносіїв, гарячого та холодного.

Значення коефіцієнта тепловіддачі на зовнішній поверхні труби (в нашій ситуації це тепловіддача гарячого теплоносія) [8]:

$$\alpha_2 = 0,728 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot g}{\mu \cdot \Delta t \cdot d_H}}$$

де ε - усереднений коефіцієнт для пучка труб;

λ - коефіцієнт теплопровідності;

ρ – густина теплоносія;

r – питома теплота конденсації теплоносія;

g – прискорення вільного падіння;

μ - динамічна в'язкість;

Δt – різниця температур між стінкою та теплоносієм;

d_H - зовнішній діаметр труб теплообмінника.

Значення коефіцієнта тепловіддачі холодного теплоносія [8]:

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \cdot \lambda_x}{d_6}$$

де Nu_x - коефіцієнт тепловіддачі при течії в міжтрубному просторі з перегородками (критерій Нусельта, який також дізнаємося по окремій формулі);

λ_x - коефіцієнт теплопровідності холодного теплоносія;

d_6 - внутрішній діаметр труб теплообмінника.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Швидкість перенесення тепла в апараті характеризується коефіцієнтом теплопередачі, який показує, скільки тепла передається за одиницю часу від гарячого теплоносія до холодного через 1 м² площі теплообміну при середній різниці температур між теплоносіями в 1 градус.

Залежність коефіцієнта теплопередачі від окремих коефіцієнтів тепловіддачі при перенесенні тепла через одношарову (без забруднень) стінку виражається рівнянням [8]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_x} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де δ_{cm} – товщина стінки теплообмінних труб, $\delta_{cm} = 0,002$ м; λ_{cm} – теплопровідність матеріалу теплообмінних труб, для нержавіючої сталі $\lambda_{cm} = 17,5$ Вт/(м·К).

1.3 Описання об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

1.3.1 Описання об'єкта розроблення

За своєю конструкцією кожухотрубчастий теплообмінник являє собою апарат, що складається з двох окремих камер (трубної і міжтрубної частини). Розділені стінкою внутрішніх труб за наявності різниці в температурах дві течії обмінюються між собою тепловою енергією без взаємного змішування робочих середовищ. [2]

Кожухотрубний теплообмінник вважається найпоширенішим видом з тих, що існують в даний час. Вперше такі пристрої були розроблені на початку 20 століття. Їхня поява була обумовлена тим, що тепловим станціям були потрібні теплообмінники з високими показниками теплообміну та можливістю функціонувати при високому тиску. Надалі таке обладнання почали застосовувати при створенні випарників та нагрівачів та у нафтовій промисловості.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Отже, теплообмінний апарат складається з кожуху 1, в якому розміщена трубчатка 2, яка в свою чергу складається з двох трубних решіток 3 та пучка труб 4, які з'єднуються з трубними решітками за допомогою розвальцювання чи зварювання.

Для підведення та відведення теплоносіїв (насичена пара, конденсат, водний розчин) апарат оснащено патрубками чи штуцерами 5, 6, 7. З торців апарат обмежено кришками 8.

З метою підтримання потрібної швидкості теплоносіїв (для забезпечення високих коефіцієнтів тепловіддачі) та для зменшення вібрації трубного пучка в теплообмінному апараті встановлено перегородки 11 і 12, які розділяють трубний та міжтрубний простори на секції, при цьому забезпечується певна послідовність проходження теплоносіїв, як у трубному, так і у міжтрубному просторах. Для приєднання частин трубопроводів, арматури до патрубків вводу виводу теплоносіїв та для з'єднання окремих вузлів апарата використовують фланці 9, 10. Крім того, для надійної та безпечної роботи при з'єднанні вузлів апарата застосовують ущільнювальні прокладки 13. Теплообмінний апарат на місці експлуатації встановлюють на опори 14.

Ще одним важливим елементом конструкції апарата є температурні компенсатори (не зображено на рисунку), які призначені для зменшення додаткових напружень, які виникають в місцях з'єднання частин апарата, що мають різні температури (особливо важливим є з'єднання труб з трубною решіткою). Тому, теплообмінні апарати в яких, різниця температур кожуха та труб буде більшою 50-60 °С, потребують наявності температурних компенсаторів, а апарати, в яких, температурний перепад менше вищезгаданого, мають жорстку конструкцію з нерухомою трубною решіткою. В подальшому будемо розглядати лише теплообмінники з нерухомою трубною решіткою. Вони, як правило, використовуються в тих випадках, коли нема необхідності в механічному очищенні міжтрубного простору. Тому, у трубний простір завжди подають рідину, яка при нагріванні може виділяти нерозчинний осад на стінках труб, а в міжтрубний простір подають чисту рідину або пару.

Кожухотрубні теплообмінники через простоту конструкції та надійність є на сьогоднішній день найпоширенішими апаратами серед рекуперативних теплообмінників, що використовуються у промисловості.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

У промисловості теплообмінні апарати застосовують для нагрівання „ гарячим ” теплоносієм „ холодного ” та охолодження або нагрівання різних речовин до заданих параметрів. Гарячим теплоносієм прийнято називати робоче тіло, яке віддає теплоту, а холодним теплоносієм – речовину, що сприймає цю теплоту. В якості гарячого теплоносія (у відповідності до умови завдання) було обрано пари бензолу, а в якості холодного - технічна вода.

Принцип роботи теплообмінника дуже простий і зрозумілий: у апараті один із теплоносіїв рухається трубами (трубним простором), інший - у міжтрубному просторі. При цьому теплота від нагрітого теплоносія через поверхню стінок труб передається менш нагрітому теплоносію. Найчастіше передбачено протилежний напрямок руху теплоносіїв, що сприяє найбільш ефективному теплообміну.

1.3.2 Вибір конструкційного матеріалу

Вибір конструкційного матеріалу, що визначається умовою експлуатації проєктованого елемента, вузла або апарату (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості продукту, що переробляється і т. д.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (виробу).

Так як в апараті здійснюється застосування матеріалів, які мають схильність до корозії металів, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12Х18Н10Т ДСТУ ISO 1127:2013 [4].

Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256° С до + 525° С для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному та гарячому стані, добре обробляється усіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.1

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12X18H10T

C,%	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S,%	P,%	E·10 ⁵ МПа	σ, МПа	σ, МПа	δ, %
0,12	2	0,8	17- 18	2- 11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	216	530	40

Сталь 12X18H10T добре зварюється усіма видами ручного і автоматичного зварювання. Для звичайного автоматичного зварювання під флюсами АН-26, АН-18 і аргонодугового зварювання використовують дріт Св-08X19H10Б, Св-04X22H10БТ, Св-05X20H9ФБС і Св-06X21H7БТ, а для ручної – електроди типу ЕА-1Ф2 марок ГЛ-2

Для захисту зовнішніх поверхонь апарату від впливу навколишнього середовища використовуємо покриття - Емаль ПФ8 жаростійка, яка наноситься розпиленням по ґрунту для жаростійких і атмосферостійких покриттів. Дане покриття стійке при тривалому впливі температури до 150° С.

Сталь 20 ДСТУ 7809-2015.Замінники Сталь 15, Сталь 25.

Сталь 20 – нелегована якісна сталь, яка застосовується для виготовлення металоконструкцій і виробів, що функціонують при температурі від -40 до 450°С. Гарячекатаний і кований сортовий прокат зі сталі 20 випускається відповідно до вимог стандарту ДСТУ 7809 і ГОСТ 1050. Спираючись на ДСТУ 7809 в таблиці 1.2 вказано хімічний склад сталі 20.[5]

Таблиця 1.2 Хімічний склад сталі 20

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
0,17- 0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	≤0,035	≤0,040	≤0,25	≤0,30	≤0,30

Сталь 20 застосовується в будівництві, машинобудуванні, виробництві котлів та судів, виготовленні нагрівальних елементів різного призначення. Нелегована конструкційна якісна сталь 20 у вигляді листового та сортового прокату використовується для виготовлення елементів зварних конструкцій, трубопроводів, колекторів, вкладишів підшипників, строп і іншої продукції.

Вали, шестерні, черв'яки, фрикційні диски, осі, шпинделі, пальці, зірочки, шпильки та інші вироби зі сталі 20 після хіміко-термічної обробки (цементация, азотування, нітроцементация та ін.) набувають високої поверхневої твердості та зносостійкості при невисокій міцності серцевини.

В міжнародній практиці також мають аналоги сталі 20 та її заміників. Всі вони вказані в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 Міжнародні аналоги сталі 20

США	1020, 1023, 1024, G10200, G10230, H10200, M1020, M1023
Японія	S20C, S20CK, S22C, STB410, STKM12A, STKM12A-S, STKM13B, STKM13B-W
Євросоюз	1.1151, 2C22, C20E2C, C22, C22E
Китай	20, 20G, 20R, 20Z
Швеція	1450
Австралія	1020, M1020
Швейцарія	Ck22
Південна Корея	SM20C, SM20CK, SM22C

Зварювання відбувається без обмежень, крім деталей після хіміко-термічної обробки. Способи зварювання стандартні: РДЗ, АДЗ, зварювання під флюсом і газовим захистом, КТЗ.

Основні фізико-механічні властивості:

- модуль пружності $E = 200000$ МПа
- модуль зсуву $G = 74000$ МПа
- щільність $\rho = 7850$ Кг / м³
- межа міцності σ_B - не менше 420 МПа
- межа плинності σ_T - не менше 250 МПа
- відносне звуження $\psi = 40$ %
- відносне подовження $\delta = 16$ %
- твердість по Брінеллю - 156 НВ
- твердість по Роквеллу (поверхнева) - 60 HRC

1.4 Порівняння конструкції проектного апарату з аналогами

Кожухотрубні теплообмінники відносяться до поверхневих теплообмінних апаратів рекуперативного типу. Широке поширення цих апаратів обумовлено насамперед надійністю конструкції та великим набором варіантів виконання для різних умов експлуатації:

- Однофазні потоки, кипіння та конденсація;
- Вертикальне та горизонтальне виконання;
- Широкий діапазон тиску теплоносіїв, від вакууму до 8,0 МПа;
- Площа поверхні теплообміну від малих (1 м²) до гранично великих (1000 м² і більше);

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

- Можливість застосування різних матеріалів відповідно до вимог до вартості апаратів, агресивності, температурних режимів та тиску теплоносіїв;
- Використання різних профілів поверхні теплообміну як усередині труб, так і зовні та різних турбулізаторів;
- Можливість вилучення пучка труб для очищення та ремонту.

Розрізняють такі типи кожухотрубних теплообмінних апаратів:

- Теплообмінні апарати з нерухомими трубними ґратами (жорструбні ТА);
- Теплообмінні апарати з нерухомими трубними решітками та з лінзовим компенсатором на кожусі;
- Теплообмінні апарати з плаваючою головкою;
- Теплообмінні апарати з U-подібними трубами.
- Кожухотрубні теплообмінні апарати з нерухомими трубними ґратами відрізняються простотою конструкції і, отже, меншою вартістю (рис. 1.3)

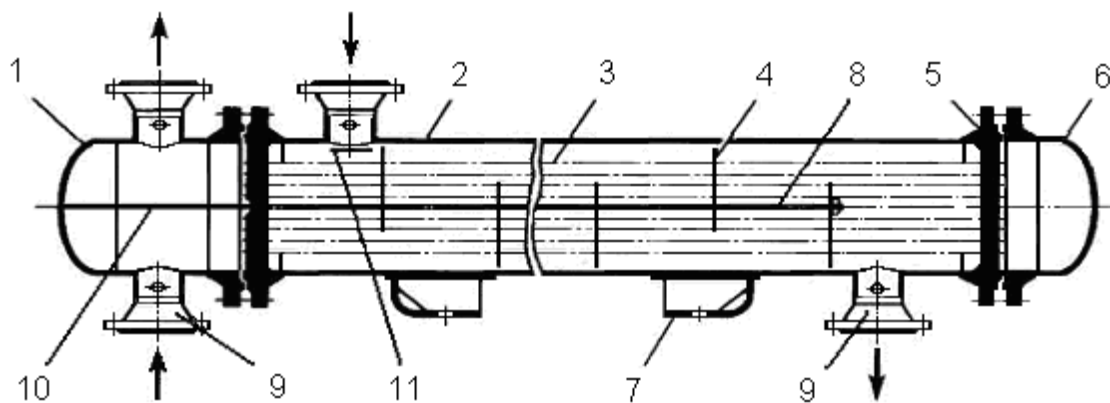


Рисунок 1.3 - Кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками:
 1-розподільна камера; 2-кожух; 3-теплообмінна труба; 4-поперечна перегородка; 5-
 трубні ґрати; 6 – задня кришка кожуха; 7-опора; 8-дистанційна трубка; 9-штуцери; 10-
 перегородка у розподільчій камері; 11 – відбійник

Кожухотрубний теплообмінний апарат являє собою пучок теплообмінних труб, що знаходяться в циліндричному корпусі (кожусі).

Один із теплоносіїв рухається всередині теплообмінних труб, а інший омиває зовнішню поверхню труб. Кінці труб закріплюються за допомогою вальцювання, зварювання чи паяння у трубних решітках. У кожусі теплообмінного апарату за допомогою дистанційних трубок встановлюються перегородки. Перегородки підтримують труби від провисання та організують потік теплоносія у міжтрубному просторі, інтенсифікуючи теплообмін. До кожуха теплообмінного апарату приварюються штуцери для входу та виходу теплоносія з міжтрубного простору. На вході теплоносія в міжтрубний простір у ряді випадків встановлюють відбійники, необхідні зменшення вібрації пучка труб, рівномірного розподілу потоку теплоносія в міжтрубному просторі і зниження ерозії найближчих до вхідного штуцера труб. До кожуха теплообмінного апарату за допомогою фланцевого з'єднання кріпляться розподільна камера та задня кришка зі штуцерами для входу та виходу продукту із трубного простору. [6]

Залежно від розташування теплообмінних труб розрізняють теплообмінні апарати горизонтального та вертикального типу.

Залежно від числа перегородок у розподільчій камері та задній кришці кожухотрубчасті теплообмінні апарати діляться на одноходові, двоходові та багатходові у трубному просторі.

Залежно від числа поздовжніх перегородок, встановлених у міжтрубному просторі, кожухотрубні теплообмінники поділяються на одне – та багатходові у міжтрубному просторі.

Теплообмінники з нерухомими трубними решітками застосовуються, якщо максимальна різниця температур теплоносіїв не перевищує 800С, і при порівняно невеликій довжині апарату. Ці обмеження пояснюються температурними напругами, що виникають у кожусі і в теплообмінних трубах, здатними порушити герметичність конструкції апарату.

Для часткової компенсації температурних напруг у кожусі та теплообмінних трубах використовуються спеціальні гнучкі елементи (розширювачі, компенсатори), встановлені на кожусі апарату.

					<i>XI. T. 00. 00. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

Такі теплообмінники називають теплообмінними апаратами з температурним компенсатором на кожусі (рис. 1.4).

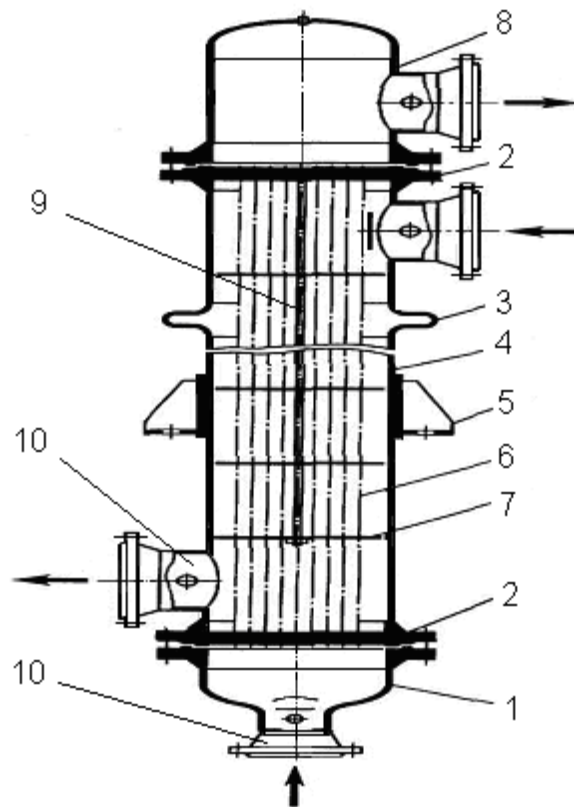


Рисунок 1. 4 - Вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі:

1-розподільна камера; 2 – трубні решітки; 3 – компенсатор; 4 – кожух; 5 – опора; 6 – теплообмінна труба; 7-поперечна перегородка; 8 – задня кришка кожуха; 9 – дистанційна трубка; 10 – штуцери

В апаратах подібного типу використовують одно - та багатоеlementні лінзові компенсатори.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з плаваючою головою (з рухомими трубними ґратами) є найбільш поширеним типом кожухотрубних теплообмінників (рис. 1.5). Рухливі трубні ґрати дозволяють трубному пучку вільно переміщатися незалежно від корпусу, що значно знижує температурну напругу як у кожусі, так і в теплообмінних трубах. [6]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

XI.T.00.00.00.ПЗ

Лист

19

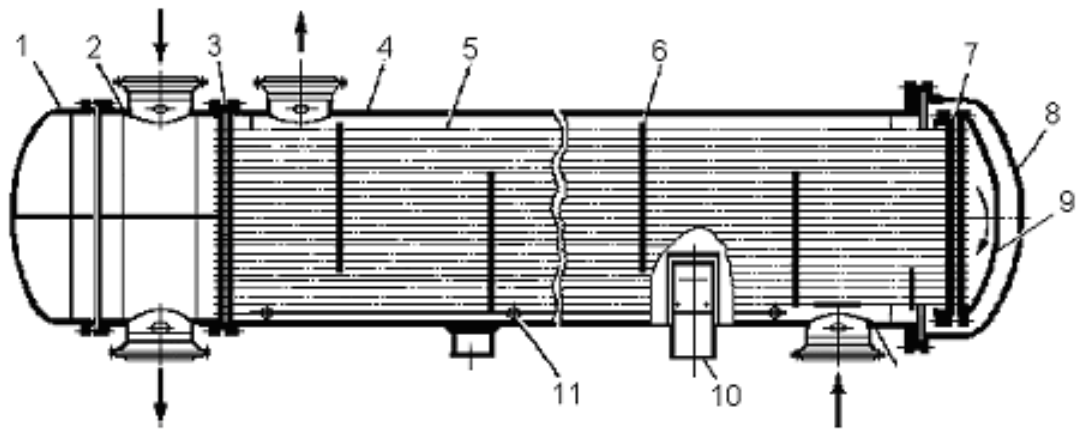


Рисунок 1.5 - Кожухотрубчастий теплообмінник з плаваючою головкою:

1 - кришка розподільчої камери; 2-розподільна камера; 3-нерухомі трубні ґрати; 4-кожух; 5-теплообмінна труба; 6 – поперечна перегородка; 7 - рухомі трубні ґрати; 8-задня кришка кожуха; 9 - кришка плаваючої головки; 10 – опора; 11 - коткова опора трубного пучка

Теплообмінні апарати даного типу виконуються з двома або з чотирма ходами по трубному простору.

Апарати з плаваючою головкою найчастіше виконуються одноходовими міжтрубним простором. В апаратах з двома ходами міжтрубного простору встановлюється поздовжня перегородка.

Кожухотрубчасті теплообмінники з U-подібними трубами (рис. 1.6) мають одну трубну решітку, в яку завальцьовані обидва кінці U-подібних теплообмінних труб. Відсутність інших жорстких зв'язків теплообмінних U-подібних труб з кожухом забезпечує вільне подовження труб при зміні їх температури. Крім того, перевага теплообмінників з U-подібними трубами полягає у відсутності роз'ємного з'єднання всередині кожуха (на відміну від ТА з плаваючою голівкою, що дозволяє успішно застосовувати їх при підвищених тисках теплоносіїв, що рухаються в трубному просторі. Недоліком таких апаратів є труднощі чищення внутрішньої та зовнішньої поверхні труб, внаслідок чого вони використовуються переважно для чистих продуктів.

[6]

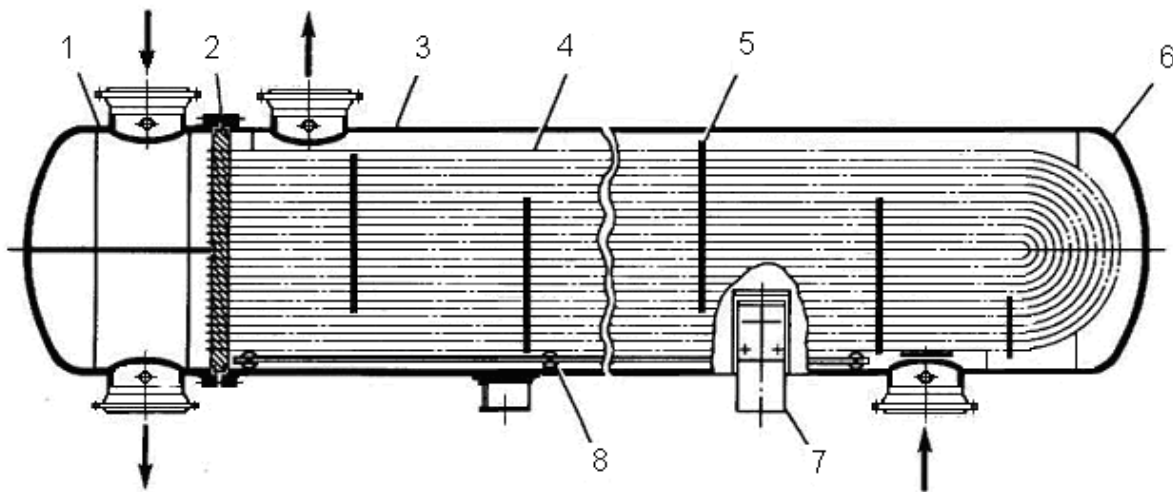


Рисунок 1.6 - Кожухотрубчастий теплообмінник з U-подібними теплообмінними трубами:

1-розподільна камера; 2-трубні грати; 3-кожух; 4-теплообмінна труба; 5-поперечна перегородка; 6 - кришка кожуха; 7-опора; 8-коткова опора трубного пучка

Ефективність кожухотрубчастих теплообмінних апаратів підвищується зі збільшенням швидкості руху потоків теплоносіїв та ступеня їхньої турбулізації. Для збільшення швидкості руху потоків у міжтрубному просторі та їх турбулізації, підвищення якості омивання поверхні теплообміну міжтрубний простір кожухотрубчастих теплообмінних апаратів встановлюються спеціальні поперечні перегородки. Вони також виконують роль опор трубчастого пучка, фіксуючи труби в заданому положенні і зменшують вібрацію труб. [6]

2. Технологічні розрахунки процесу та апарата

Як і розрахунок будь – якого подібного апарату, ми починаємо з визначення головних теплофізичних параметрів теплоносіїв, таких як: значення теплоємності та теплопровідності теплоносіїв, їх щільність та динамічна в'язкість. [8]

Головним параметром теплообміну є середня рушійна сила процесу. Він залежить від початкових і кінцевих температур кожного теплоносія, а також від схеми взаємного руху теплоносіїв. Розрахункова площа теплообміну визначається з основного рівняння теплопередачі.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Розрахункове число труб в одному ході знаходиться з рівняння об'ємної витрати потоку в трубному просторі. Фактичні швидкості холодного теплоносія в трубах і гарячого теплоносія в міжтрубному просторі визначаються за формулами [8]

2.1 Конструктивні розрахунки

Отримавши вхідні дані, які вказані у завданні до кваліфікаційної роботи бакалавра, дізнаємося наступні дані - витрата парів бензолу 18000 кг/год під атмосферним тиском. Холодний теплоносій – вода технічна з початковою температурою 20 °С. Починаємо розрахунок.

Як і розрахунок будь-якого теплообмінника ми починаємо з визначення температурного режиму в апараті. Температурна схема процесу в разі протитечії:

гарячий теплоносій (бензол) 80 → 80;

холодний теплоносій (вода технічна) 20 → 35

Середню різницю температур обчислюють як середньо-логарифмічну за залежністю [8]:

$$\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)} = \frac{60 - 45}{\ln(60/45)} = 52^\circ\text{C}$$

Середні температури теплоносіїв розраховують за формулами :

$$t_{сер_1} = (t_{хп} + t_{хк})/2 = (20 + 35)/2 = 27,5^\circ\text{C} \quad t_{сер_2} = 80^\circ\text{C}$$

Теплофізичні властивості теплоносіїв. Подальше технологічне розрахунок теплообмінника неможливе без визначення основних теплофізичних властивостей теплоносіїв, а саме: теплоємності, динамічної в'язкості, густини і теплопровідності.

Тоді для бензолу за середньої температури 80 °С визначають [8]:

- густину $\rho_2 = 815 \text{ кг/м}^3$
- динамічну в'язкість $\mu_2 = 0,316 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_2 = 0,13 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
- питома теплоємність $c_2 = 2024 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
- критерій Прандля

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{2024 \cdot 0,316 \cdot 10^{-3}}{0,13} = 4,9$$

Значення густини, динамічної в'язкості, теплопровідності і теплоємності для деяких рідин залежно від температури наведені в таблицях [8]:

Тоді для води за середньої температури визначають:

- густину $\rho_x = 995 \text{ кг/м}^3$
- динамічну в'язкість $\mu_x = 0,828 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_x = 0,617 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
- питома теплоємність $c_x = 4184 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
- критерій Прандля

$$Pr_x = \frac{c_x \cdot \mu_x}{\lambda_x} = \frac{4184 \cdot 0,828 \cdot 10^{-3}}{0,617} = 5,61$$

Для визначення теплофізичних властивостей газів, парів та рідин можна також скористатися номограмами.

Теплове навантаження апарата обчислюють за рівнянням[7]:

$$Q = G \cdot r = \frac{18000}{3600} \cdot 394,5 \cdot 10^3 = 1972500 \text{ Вт}$$

де r – питома теплота конденсації для бензолу ($r = 394,5 \text{ кДж/кг}$)

Дізнаємося витрату холодного теплоносія[1]:

$$G_x = \frac{Q}{c_x(t_{\text{хк}} - t_{\text{хп}})} = \frac{1972500}{4184(35 - 20)} = 31,5 \text{ кг/с}$$

За таблицю з довідника обираємо орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі: $K_{op} = 500 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

Тепер можемо визначити орієнтовну площу теплообміну апарата [8]:

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = \frac{1972500}{500 \cdot 52} \approx 75,8 \text{ м}^2$$

Згідно з орієнтовної площі за таблицями з довідника обираємо теплообмінник з найближчим більшим значенням [8]:

Обираємо 1 – ходовий теплообмінник, з площею теплообміну

$F = 81 \text{ м}^2$, діаметром $D = 600 \text{ мм}$, кількістю труб $N = 257 \text{ шт.}$, довжиною труб $L = 4 \text{ м}$, та прохідним перерізом одного ходу по трубах $f_{\text{тр}} = 0,089 \text{ м}^2$

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

Тепер можемо провести більш уточнений розрахунок.

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі гарячого теплоносія[7]:

$$\alpha_r = 0,728 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot g}{\mu \cdot \Delta t \cdot d_H}}$$

де ε – усереднений коефіцієнт для пучка труб $\varepsilon = 0,6$;

Δt – різниця температур між стінкою та теплоносієм $\Delta t = 5^\circ - 10^\circ\text{C}$;

$d_H = 0,025$ м (зовнішній діаметр труб в апараті) ;

$g = 9,81$ м/с² (прискорення вільного падіння).

$$\alpha_r = 0,728 \cdot 0,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,13^3 \cdot 815^2 \cdot 394,5 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{0,316 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 0,025}} = 1389 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі холодного теплоносія нам потрібно розрахувати швидкість холодного теплоносія в трубах[7]:

$$\omega_x = \frac{G_x}{\rho_x \cdot f_{\text{тр}}} = \frac{31,5}{995 \cdot 0,017} = 3 \text{ м/с}$$

Визначаємо критерій Re:

$$Re_x = \frac{\omega_x \cdot d_B \cdot \rho_x}{\mu_x} = \frac{3 \cdot 0,021 \cdot 995}{0,828 \cdot 10^{-3}} = 75710$$

Дізнаємося значення критерію Nu :

$$Nu_x = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} = 0,021 \cdot 75710^{0,8} \cdot 5,61^{0,43} = 353$$

Тепер можемо дізнатися значення коефіцієнта тепловіддачі холодного теплоносія[7]:

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \cdot \lambda_x}{d_B} = \frac{353 \cdot 0,617}{0,021} = 10370 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Залежність коефіцієнта теплопередачі від окремих коефіцієнтів тепловіддачі при перенесенні тепла через одношарову (без забруднень) стінку виражається рівнянням[7]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_x} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_r}}$$

де $\delta_{\text{ст}}$ – товщина стінки теплообмінних труб, $\delta_{\text{ст}} = 0,002$ м; $\lambda_{\text{ст}}$ – теплопровідність матеріалу теплообмінних труб, для нержавіючої сталі

$\lambda_{\text{ст}} = 17,5$ Вт/(м·К).

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1389} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{10370}} = 991 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Після розрахунку фактичного коефіцієнта теплопередачі знову визначається розрахункова поверхня теплообміну із основного рівняння теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = \frac{1972500}{991 \cdot 52} \approx 38,3 \text{ м}^2$$

Згідно з орієнтовної площі за таблицями з довідника обираємо теплообмінник з найближчим більшим значенням[7]:

Обираємо 2 – ходовий теплообмінник, з площею теплообміну

$F = 47 \text{ м}^2$, діаметром $D = 400 \text{ мм}$, довжиною труб $L = 6 \text{ м}$, та прохідним перерізом одного ходу по трубах $f_{\text{тр}} = 0,017 \text{ м}^2$

Визначення числа труб в апараті

$$n_1 = \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_n^2 \cdot \rho_2^{cp} \cdot \omega_{\text{тр}}};$$

де: G_2 – витрати води, $G_2 = 31,5 \text{ кг/с}$;

d_n - внутрішній діаметр трубок, $d_n = 21 \text{ мм} = 0,021 \text{ м}$;

ρ - щільність води, $\rho = 988$ [5, табл. IV, с. 495].

$\omega_{\text{тр}}$ – швидкість води в трубах, м/с.

$$\omega_{\text{тр}} = 3 \text{ м/с}$$

$$n_1 = \frac{4 \cdot 31,5}{3,14 \cdot 0,021^2 \cdot 998 \cdot 3} = 31,9$$

Приймаємо 40 шт.

Тепер визначаємо запас поверхні за формулою [7]:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} = \frac{47 - 38,3}{47} = 0,18$$

Запас поверхні вибраного теплообмінника повинен бути у межах $0,1 \leq \Delta \leq 0,2$, при цьому можна варіювати тільки довжиною трубчатки апарата.

Оскільки лімітуючим значенням є коефіцієнт тепловіддачі гарячого теплоносія, то зміна прохідного перерізу одного ходу по трубах суттєво не вплинуть на кінцеве значення коефіцієнта теплопередачі, а отже перерахунок проводити не потрібно.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

2.2 Розрахунок діаметра штуцерів

Розрахунок штуцерів [9]:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \cdot \omega \cdot \rho}}$$

де G – масова витрата теплоносія, кг/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

ω – швидкість руху теплоносія, м/с.

Для визначення діаметру штуцера спочатку розрахуємо густину бензолу в пароподібному стані:

$$\rho = \frac{78}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 80} = 2,69 \text{ кг/м}^3$$

Тоді діаметр вхідного штуцера для бензолу

$$d = \sqrt{\frac{5}{0,785 \cdot 20 \cdot 2,69}} = 0,24 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 250 мм.[9]

Діаметр вихідного штуцера для бензолу:

$$d = \sqrt{\frac{5}{0,785 \cdot 5 \cdot 815}} = 0,04 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 50 мм.[9]

Діаметр штуцера для води:

$$d = \sqrt{\frac{31,5}{0,785 \cdot 5 \cdot 995}} = 0,09 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 100 мм.[9]

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

2.3 Гідрравлічний опір апарату

Повний гідрравлічний опір ΔP , Па, по трубному простору теплообмінного апарату:

$$\Delta P = \Delta P_{mp} + \Delta P_M = \left(\lambda \frac{L}{d - 2s} + \sum \xi_M \right) \frac{w_g^2 \cdot \rho_g}{2}$$

де λ - коефіцієнт гідрравлічного тертя;

ξ_M - коефіцієнт місцевого опору.

Для ізотермічного турбулентного потоку в гідрравлічно шорсткуватих трубах (згідно [12]):

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d - 2s} + \frac{68}{Re_2} \right)^{0,25}$$

де Δ - абсолютна шорсткість поверхні труб

для сталевих нових труб $\Delta = 0,06 \dots 0,1$ мм.

для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією

$\Delta = 0,1 \dots 0,2$ мм згідно [10].

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,1}{0,02 - 2 \cdot 0,002} + \frac{68}{75710} \right)^{0,25} = 0,174$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів ξ_M в апараті:

$$\sum \xi_M = 2\xi_1 + 2\xi_2 + 2(z - 1)$$

де ξ_M - коефіцієнти місцевих опорів

$\xi_1 = 1,5$ вхідний і вихідний камери;

$\xi_2 = 1$ вхід в труби і вихід з них;

$\xi_3 = 2,5$ поворот на 180° між ходами згідно [10].

z - число ходів; $z = 2$;

$$\sum \xi_M = 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1 + 2,5(2 - 1) = 7,5$$

Тоді

$$\Delta P = \left(0,174 \cdot \frac{4}{0,02 - 2 \cdot 0,002} + 7,5 \right) \cdot \frac{3^2 \cdot 995}{2} = 228352,5 \text{ Па}$$

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір холодильника 7 (див. схему – рис 1.1). Опіраючись на технологічну схему, розуміємо, що одна частина бензолу, який сконденсувався у вигляді флегми потрапляє у колону, а інша частина надходить у холодильник для додаткового охолодження.

Приймаємо те, що бензол охолоджуватиметься від температури 80°C до температури 20°C.

Отже, рівняння теплового навантаження холодильника буде мати наступний вигляд:

$$Q_x = G_x \cdot c_x \cdot (t_1 - t_2)$$

де c_x – питома теплоємність бензолу, $c_x = 1,73$ кДж/(кг·К) [14]

Для розрахунку приймаємо наступне – 2/3 дистилляту повертається в ректифікаційну колону для зрошення її верхньої частини і відповідно, що на охолодження в холодильник надходить $1/3 \cdot 18000 = 6000$ кг/год.

$$Q_x = \frac{6000}{3600} \cdot 1,73 \cdot (80 - 20) = 173 \text{ кВт}$$

Розрахункова поверхня теплопередачі холодильника:

$$F_p = \frac{Q_x}{K \cdot \Delta t}$$

де K – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі холодильників, Вт/(м²·К) [8];

Δt – різниця між температурами конденсації бензолу (80°C) і охолоджуючої води із градирні (7°C).

$$F_p = \frac{173 \cdot 10^3}{60 \cdot (80 - 7)} = 39,5 \text{ м}^2$$

За довідковою літературою обираємо кожухотрубний теплообмінник з наступними характеристиками: поверхня теплообміну $F = 49 \text{ м}^2$, внутрішній діаметр кожуха $D = 600$ мм, довжина труб $L = 3000$ мм, сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2$ мм, число ходів по трубах 4.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Розуміючи те, що охолодженому бензолу потрібно десь зберігатися проведемо розрахунок збірника рідкого бензолу δ (див. схему – рис 1.1).

Одразу запишемо для розрахунку наступні вхідні дані: розрахунок буде проводитись виходячи з годинного резерву робочого часу, що дорівнюватиме $\tau = 6 - 8$ год, а коефіцієнт заповнення будемо приймати в межах $\psi = 0,8 - 0,85$.

В першу чергу визначаємо розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{\epsilon} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}$$

де G – загальна витрата конденсата, $G = 6000$ кг/год.;

τ – резерв робочого часу, $\tau = 8$ год.;

ρ – густина бензолу при температурі 20°C , $\rho = 879$ кг/м³.

ψ – коефіцієнт заповнення, приймаємо $\psi = 0,8$

$$V_{\epsilon} = \frac{6000 \cdot 8}{0,8 \cdot 879} = 68,3 \text{ м}^2$$

Для подальшого розрахунку приймаємо діаметр ємності рівним $D = 3$ м. Тепер можемо розрахувати висоту цієї ємності:

$$H = \frac{V_{\epsilon}}{0,785 \cdot D^2}$$

$$H = \frac{68,3}{0,785 \cdot 3^2} = 9,7 \text{ м}$$

3. Розрахунки апарату на міцність.

3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки апарата

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів $\phi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі 12Х18Н10Т при $t = 80^{\circ}\text{C}$

$$\phi = 176 \text{ МПа.}$$

Тиск бензолу в між трубному просторі

$$p = 1 \text{ атм} = 0,1 \text{ МПа.}$$

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 176 = 176 \text{ МПа.}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при дозволяється за напрузі:

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_m}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа,}$$

$$p_n = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_n}{[\sigma]}$$

$$p_n = 1,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{218}{176} = 0,16 \text{ МПа.}$$

Розрахункова схема обичайки приведена на рисунку 3.1

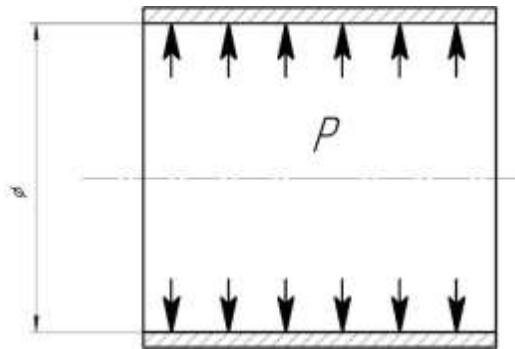


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема обичайки

Розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - p}$$

$$s_p = \frac{0,1 \cdot 400}{2 \cdot 0,9 \cdot 176 - 0,1} = 0,12 \text{ мм.}$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха для умов гідравлічних випробувань:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_n - p}$$

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

$$s_p = \frac{0,16 \cdot 400}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,16} = 0,16 \text{ мм.}$$

Прийmemo надбавку до розрахункової товщини за весь термін служби (10 років) апарату $c = 2,0$ мм, тоді виконавча товщина стінки кожуха

$$s = s_p + c = 0,16 + 2 = 2,16 \text{ мм.}$$

З запасом приймаемо стандартне значення товщини стінки кожуха $s = 4,0$ мм.

Розрахунок товщини стінки еліптичної кришки

Розрахункова схема днища приведена на рисунку 3.2

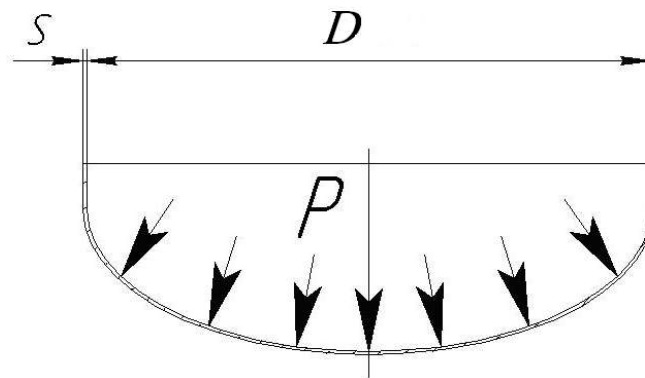


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема днища еліптичного

Тиск пара під кришкою

$$p_{\text{п}} = 1 \text{ ата} = 0,1 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_{\text{п}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{\text{п}} - 0,5 \cdot p_{\text{п}}}$$

$$s_p = \frac{0,16 \cdot 400}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,5 \cdot 0,16} = 0,16 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{\text{кр}} = s_p + c = 0,16 + 2,0 = 2,16 \text{ мм.}$$

Приймаемо $s_{\text{кр}} = 4,0$ мм.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

3.2 Розрахунок і вибір опори

Маса обичайки кожуха

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho$$

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (4 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} \right] \cdot 4 \cdot 7860 = 328 \text{ кг},$$

де $\rho = 7860 \text{ кг/м}^3$ - щільність сталі.

Маса кришки і днища

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 0,4^2 \cdot 0,004 \cdot 7860 = 6,4 \text{ кг}.$$

маса труб

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho$$

$$m_{тр} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,02^2 - 0,016^2) \cdot 4 \cdot 53 \cdot 7860 = 188 \text{ кг},$$

Маса фланця з ґратами

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho$$

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,56^2}{4} \cdot 0,03 \cdot 7860 = 58 \text{ кг},$$

де D_{ϕ} - зовнішній діаметр фланця, h_{ϕ} - висота фланця.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Обсяг між трубного простору

$$V_M = f_{\text{МТР}} \cdot l$$

$$V_M = 0,17 \cdot 4 = 0,32 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення $\phi = 0,9$

$$m_T = V_M \cdot \rho_T \cdot \phi$$

$$m_{\phi} = 0,32 \cdot 815 \cdot 0,9 = 234,2 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані

$$G = g \cdot (m_K + 2 \cdot m_{\text{кр}} + m_{\text{ТР}} + 2 \cdot m_{\phi} + m_T)$$

$$G = 9,81 \cdot (328 + 2 \cdot 6,4 + 188 + 2 \cdot 5,8 + 234,2) = 9321,8 \text{ Н} = 9,3 \text{ кН.}$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n}$$

$$Q = \frac{9,3}{2} = 4,65 \text{ кН.}$$

Вибираємо опору з допустимим навантаженням $Q = 5 \text{ кН.}$

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>33</i>

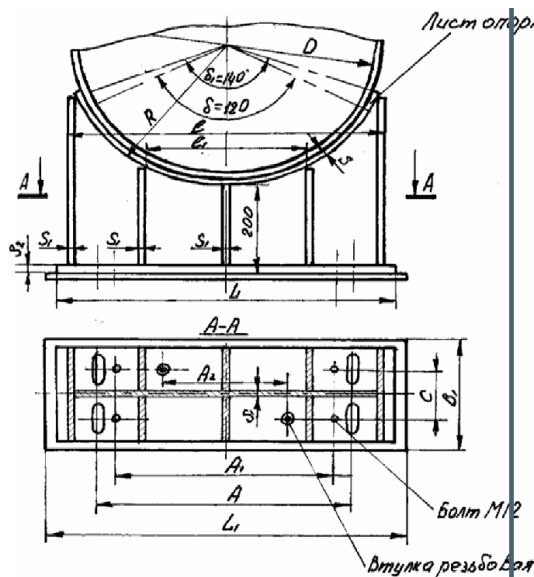


Рисунок 3.3 - Опора сідлова

Вибираємо сідлову опору типу 1 з допустимим навантаженням

$Q = 5 \text{ кН}$. Позначення опори: Опора 5 - 400 - 1 ОСТ 26 - 1265 - 75. (рис 3.3)

3.3 Розрахунок фланцевого з'єднання

Товщину втулки фланця приймаємо $s_0 = 4 \text{ мм}$.

Діаметр болтового кола визначуваний по формулі або відповідно до табл. [11, табл.13,7, с. 234]:

$$D_6 \geq D + 2 \cdot (2 \cdot s + d_6 + u);$$

де: d_6 – зовнішній діаметр болта, при $D = 400 \text{ мм}$ і $p_R = 0,1 \text{ МПа}$

$d_6 = 23 \text{ мм}$;

u – нормативний зазор між гайкою і втулкою, $u = 4 \div 6 \text{ мм}$.

$$D_6 = 400 + 2 \cdot (2 \cdot 4 + 23 + 6) = 474 \text{ мм};$$

Приймаємо $D_6 = 480 \text{ мм}$.

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

XI.T.00.00.00.ПЗ

Лист

34

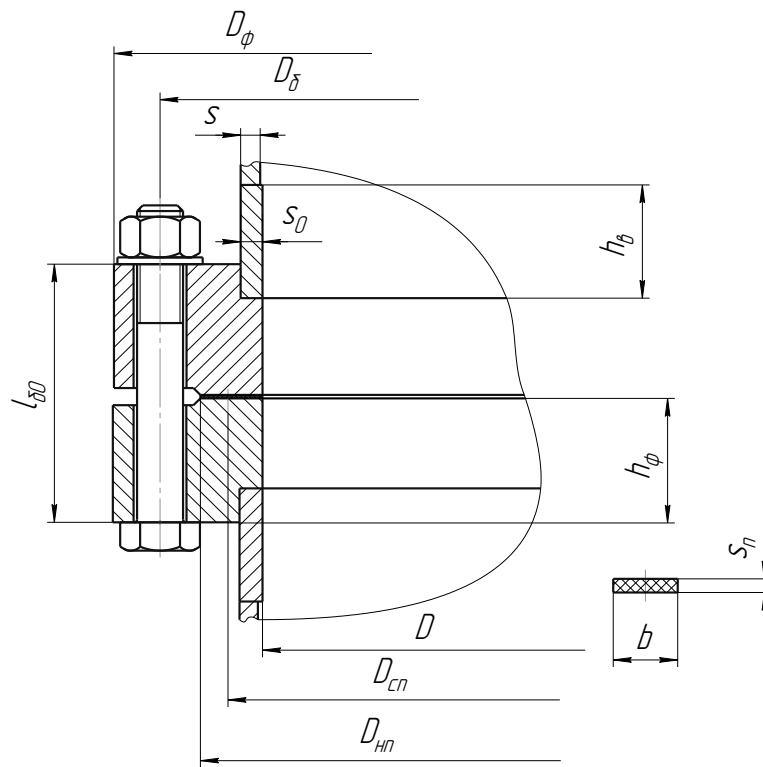


Рисунок 3.4 - Фланцеве з'єднання.

Зовнішній діаметр фланця визначується по формулі і відповідно до табл. 13.7 [11, табл. 13.7, с.233]:

$$D_{\phi} \geq D_{\text{б}} + a;$$

де: a – конструктивна добавка для розміщення гайок по діаметру фланця, приймаємо $a = 40$ мм [11, табл. 13.27, с.264].

$$D_{\phi} = 480 + 40 = 520 \text{ мм};$$

Приймаємо $D_{\phi} = 520$ мм.

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{\text{нп}} = D_{\text{б}} - e;$$

де: e – нормативний параметр, залежний від товщини прокладки, $e = 30$ мм [11, табл. 13.27, с.264].

$$D_{\text{нп}} = 480 - 30 = 450 \text{ мм};$$

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Середній діаметр прокладки визначається по формулі:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{нп}} - b;$$

де: b – ширина прокладки, що приймається згідно таблиці [11, табл. 13.25, с. 262],
 $b = 20$ мм.

$$D_{\text{сп}} = 450 - 20 = 430 \text{ мм};$$

Приймаємо матеріал прокладки параніт по ГОСТ 481 – 80 з товщиною $s_{\text{п}} = 2$ мм.

Кількість болтів, необхідна для забезпечення герметичності з'єднання визначується по формулі:

$$n_{\text{б}} \geq \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{ш}}};$$

де: $t_{\text{ш}}$ – крок розташування болтів, що рекомендується, рекомендується для болтів М20 і $P_y = 0,1$ МПа,

$$t_{\text{ш}} = (3,8 \div 4,8) \cdot d_{\text{б}} = 87 \div 94, [11, \text{табл. 13,29, с. 266}].$$

$$n_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 480}{87 \div 94} = 16 \div 20 \text{ шт};.$$

Приймаємо кількість болтів $n_{\text{б}} = 16$, кратне чотирьом.

Висоту фланця $h_{\text{ф}}$ визначаємо по формулі:

$$h_{\text{ф}} \geq \lambda_{\text{ф}} \cdot \sqrt{D \cdot S_3};$$

де: $\lambda_{\text{ф}}$ – коефіцієнт, визначується по графіку [11, мал. 13,14]

$$\lambda_{\text{ф}} = 0,40;$$

S_3 – еквівалентна товщина втулки фланця, оскільки фланець плоский, то $\beta_1 = S_1/S_0 = 1$, приймаємо $S_3 = S_0 = 4$ мм.

$$h_{\text{ф}} = 0,4 \cdot \sqrt{400 \cdot 4} = 16 \text{ мм};$$

Приймаємо висоту фланця $h_{\text{ф}} = 20$ мм.

Розрахункова довжина болта визначається по формулі:

$$l_{\text{б}} = l_{\text{б0}} + 0,28 \cdot d_{\text{б}};$$

де: $l_{\text{б0}}$ – відстань між опорними поверхнями головки болта і гайки при товщині прокладки $S_{\text{п}} = 2$ мм;

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

ψ_2 – коефіцієнт, визначуваний по формулі:

$$\psi_2 = \frac{D_\phi + D}{D_\phi - D};$$

$$\psi_2 = \frac{520 + 400}{520 - 400} = 7.66;$$

E_ϕ – модуль подовжньої пружності для матеріалу фланця

$$E_\phi = 2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

$$y_\phi = \frac{[1 - 0,09 \times (1 + 0,9 \times 0,433)] \times 7.66}{0,03^3 \times 2,0 \times 10^5} = 2.17 \frac{\text{м}}{\text{МН}};$$

$$F_t = \frac{4,748 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot (12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 84,5 - 12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 83,6)}{1,52 \cdot 10^{-5} + 4,748 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 2.17 \cdot (0.48 - 0.45)^2}$$

$$F_t = 0,0004 \text{ МН};$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання визначуваний по формулі:

$$K_{\text{ж}} = \frac{y_\phi + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_\phi - D - s_{\text{ЭК}}) \cdot (D_\phi - D_{\text{СП}})}{y_{\text{П}} + y_\phi + y_\phi \cdot (D_\phi - D_{\text{СП}})^2};$$

$$K_{\text{ж}} = \frac{4,748 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 2.17 \cdot (0.48 - 0.4 - 0,004) \cdot (0.48 - 0.45)}{1,53 \cdot 10^{-5} + 4,748 \cdot 10^{-5} + 2.17 \cdot (0.48 - 0.45)^2} = 0,84.$$

Болтове навантаження в умовах монтажу (до подачі внутрішнього тиску) визначаємо по формулі:

$$F_{\phi 1} = \max \left\{ \frac{K_{\text{ж}} \cdot F_{\text{Д}} + R_{\text{П}}}{0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_0 \cdot P_{\text{П,Р}}} \right\};$$

де: $P_{\text{П,Р}}$ – тиск віджимання прокладки, для параніта $P_{\text{П,Р}} = 20 \text{ МПа}$.

$$F_{\phi 1} = \max \left\{ \frac{0,84 \cdot 0,09 + 0,16}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,45 \cdot 0,085 \cdot 20} \right\} = \max \left\{ \frac{0,29}{1,2} \right\} = 1.2 \text{ МН};$$

Болтове навантаження в робочих умовах визначаємо по формулі:

$$F_{\phi 2} = F_{\phi 1} + (1 - K_{\text{ж}}) \cdot F_{\text{Д}} + F_t;$$

$$F_{\phi 2} = 1.2 + (1 - 0,84) \cdot 0,09 + 0,0004 = 1.215 \text{ МН};$$

Приведений момент, що вигинає, обчислюваний за формулою:

$$M_0 = \max \left\{ \frac{0,5 \cdot (D_\phi - D_{\text{СП}}) \cdot F_{\phi 1}}{0,5 \cdot [(D_\phi - D_{\text{СП}}) \cdot F_{\phi 2} + (D_{\text{СП}} - D - s_\phi) \cdot F_{\text{Д}}] \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}} \right\};$$

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (0,48 - 0,45) \cdot 1,2 \\ 0,5 \cdot [(0,48 - 0,45) \cdot 1,215 + (0,48 - 0,4 - 0,004) \cdot 0,266] \cdot \frac{194}{170} \end{array} \right\}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,18 \\ 0,066 \end{array} \right\} = 0,18 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

4. Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж розробленого апарата [13]

Серед обладнання, що застосовується на хімічних і нафтопереробних заводах, теплообмінники складають найбільш численну групу. Вони розрізняються за конструкцією, матеріальним оформленням, просторовим розташуванням, зумовленим вимогами технологічного процесу. Найбільше застосування знайшли стандартизовані кожухотрубчасті теплообмінники (ОСТ 26-291-79). Поширені також теплообмінники типу труба в трубі різного конструктивного оформлення, у тому числі стандартизовані (ОСТ 26-2033-80). Останнім часом широко впроваджуються високоефективні пластинчасті теплообмінники, а для агресивних середовищ - графітові теплообмінники.

Способи монтажу та ремонту перерахованих теплообмінників різні та визначаються їх конструкцією, розташуванням у просторі та по відношенню до інших апаратів технологічної установки, а також умовами експлуатації.

Кожухотрубчасті теплообмінники. Ці апарати складаються з циліндричного кожуха і вміщеного в ньому пучка труб, тому, незважаючи на конструктивну різноманітність, монтаж таких теплообмінників залежить лише від їхньої маси, розмірів та просторового розташування.

Маса і розміри кожухотрубчастих теплообмінників, що випускаються в даний час, дозволяють транспортувати їх до місця монтажу в зібраному повністю на заводі - виробнику вигляді. Для транспортування використовують залізничні платформи, трейлери, автомашини, сани та ін.

Теплообмінники встановлюють горизонтально або вертикально на різних відмітках відповідно до проекту. Опорною конструкцією для них можуть служити фундаменти у вигляді двох бетонних або залізобетонних стовпів з анкерними

					ХІ.Т.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

болтами (при низькому горизонтальному розташуванні) і балки висотних металоконструкцій (при вертикальному розташуванні та горизонтальному розташуванні на великих висотах).

До корпусу апарату приварюють дві опори (рис. 4.1 а), відстань між якими відповідає нормаліям. Для встановлення теплообмінника на вже існуючий фундамент відстань між опорами можна змінювати в невеликих межах. Між корпусом і опорами апарату повинні поміщатися підкладки з листової сталі, що запобігають вм'ятинам на корпусі. До корпусу вертикально розташованих теплообмінників замість опор приварюють лапи з ребрами жорсткості (рис. 4.1, б).

В більшій кількості випадків теплообмінники встановлюють в проектне положення за допомогою самохідних кранів.

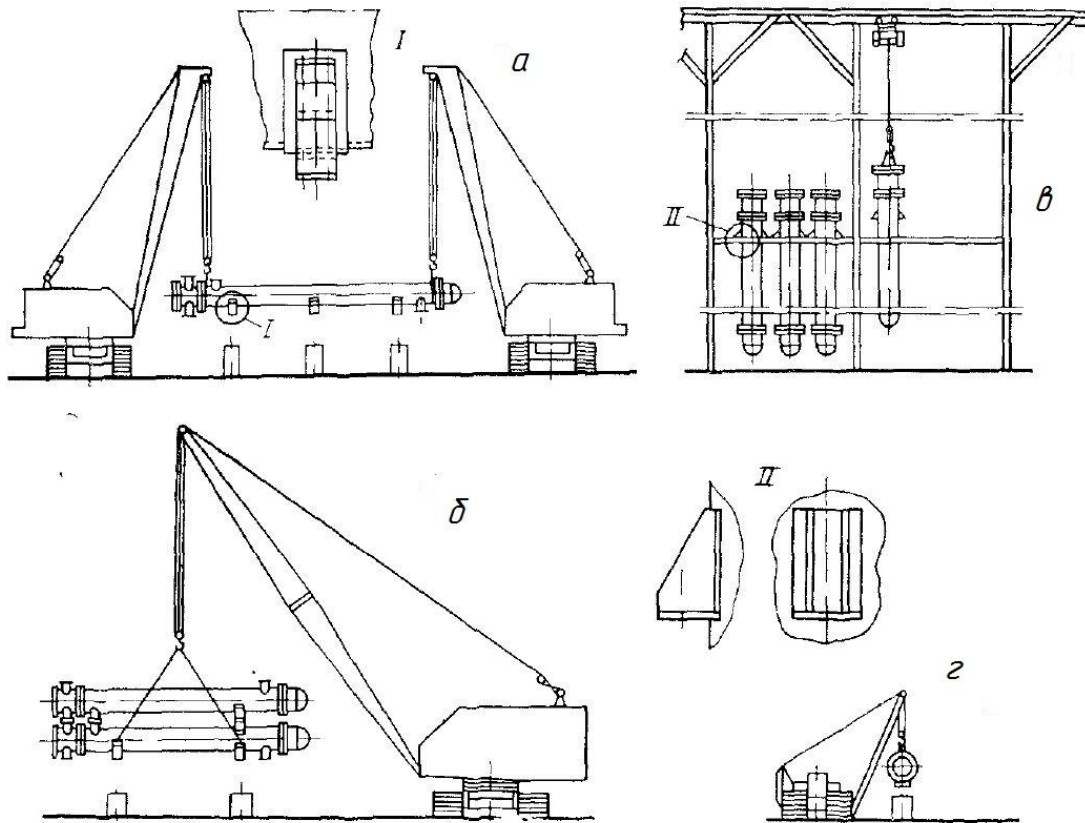


Рисунок 4.1 Способи монтажу теплообмінних апаратів

а – за допомогою двох кранів; б – блока теплообмінників одним краном;

в – вертикальних теплообмінників моно балкою; г – трубоукладальником; вузол I - опора горизонтальних теплообмінників; вузол II – опора вертикальних теплообмінників

Якщо в конкретних умовах підйому вантажопідйомність кранів недостатня, практикується встановлення теплообмінників за допомогою двох кранів, які працюють узгоджено. На рис. 4.1 наведено схеми підйому та встановлення теплообмінників при різному їх розташуванні.

Теплообмінники, розміщені в два яруси і більше, доцільно піднімати великими блоками з кількох апаратів після взаємної трубопровідної обв'язки, якщо це дозволяють підйомні засоби. Для стикування однотипних теплообмінників та уніфікації їх трубопровідної обв'язки суворо витримують при виготовленні настановні розміри штуцерів на корпусі та на розподільчій камері. При підйомі блок обв'язаних теплообмінників укладають у жорсткий решітчастий контейнер, за який і роблять стропування.

До трубопровідної обв'язки приступають після остаточної перевірки положення корпусу та закріплення болтів, що з'єднують його опори або лапи з постаментом. Положення теплообмінника вивіряють рівнем або схилом, підкладаючи, якщо це необхідно, під опорні площини сталеві планки.

При горизонтальному розташуванні теплообмінників температурні деформації корпусу між опорами можуть досягати кількох міліметрів, тому одна з опор має бути рухомою. Нерухливу опору, що зазвичай встановлюється з боку нерухомої трубної решітки, закріплюють намертво; гайки болтів рухомої опори, що має овальні вирізи, не затягують на 1-1,5 мм, але фіксують контргайками. Зазор між болтами та овальними вирізами має бути розташований у бік можливого подовження теплообмінника. Поверхні ковзання захищають так, щоб унеможливити затискання.

Теплообмінники, що монтуються, повинні бути опресовані на пробний тиск на заводі - виготовлювачі, тому на монтажному майданчику їх окремо не опресовують, обмежуючись перевіркою загальної системи теплообміну разом з трубопровідною обв'язкою після завершення монтажних робіт. У тих випадках, коли відсутній акт заводського випробування або апарат тривалий час знаходився на складі або монтажному майданчику, перед монтажем теплообмінник піддають ревізії і, якщо в цьому є необхідність, ремонту.

					<i>XI. T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

4.2 Ревізія та ремонт [13]

Послідовність операцій при ревізії та ремонті теплообмінників приблизно однакова.

Промивання апарату. З трубного та міжтрубного простору через штуцера або спеціальні спускні муфти на кришках та корпусі видаляють вміст. Далі протягом часу, що визначається фізико-хімічними властивостями робочого середовища, їх промивають водою, потім пропарюють, для чого в трубопровідній обв'язці теплообмінників передбачається можливість підключення парової лінії, що надійно відглушується при роботі апаратів у робочому режимі. Промиванням і пропаркою досягають дві мети: підготовку апарату до розтину шляхом видалення вибухо - та пожежонебезпечних чи токсичних речовин та очищення поверхонь від відкладень. Слід мати на увазі, що промивання - єдиний можливий спосіб видалення відкладень із зовнішніх поверхонь труб і внутрішніх поверхонь корпусу. Тому промиванні міжтрубного простору теплообмінника необхідно приділяти особливу увагу.

Бажано промивати апарати гарячою водою, що підігривається парою. На нафтопереробних установках практикують промивання апаратів сумішшю гарячої води та гасу. Гас розчиняє нафтопродукти, а кокс та інші механічні домішки відносяться потоком суміші. Ефективність такого промивання зростає, якщо одночасно трубний простір подавати пару. Для економії гасу та скорочення витрати тепла на підігрів відпрацьовану промивну суміш зливають у ємність, де вона відстоюється від бруду, а потім використовують знову (рис. 4.2). Як промивну рідину застосовують також підігріте до 100-120 °С солярове масло.

					<i>XI. T. 00. 00. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

Стан зварного кріплення кінців труб у трубних решітках перевіряють за рівномірністю та товщиною зварного шва. Шви під дією корозії та ерозії зношуються, часто на них з'являються тріщини.

Дуже часто внутрішні поверхні теплообмінних труб неможливо достатньо очистити від відкладень тільки промиванням. У таких випадках застосовують механічне чищення. Процес механічного чищення трудомісткий. У найпростішому випадку труби вручну пронизують шомполами - довгими дротиками з наконечником - йоршем. Після цього (а іноді й одночасно) труби продувають паром, що подається в кожен з них окремо. При необхідності ці операції чергують кілька разів, поступово збільшуючи діаметр наконечника-йоржа.

На заводах знайшли застосування різні пристрої для механізації чищення. В основу їх покладено принцип обертального буріння. Наконечник-бур, що обертається, повільно проштовхується в очищувану трубу під дією власної ваги (у разі вертикально встановлених теплообмінників) або зусиллям робітника (у випадку горизонтально встановлених теплообмінників). Бур на різьбленні з'єднаний з порожнистим (трубчастим) валом, довжина якого дорівнює довжині труби, що очищається. Вал приводиться у обертальний рух від пневмо - або електродвигуна через редуктор. Пристрій має золотниковий пристрій для подачі всередину труб промивної води, яка через наскрізні отвори на поверхні бура виходить назовні, змиваючи розпушений бруд. У деяких випадках замість води в труби подають водяну пару; при цьому слід особливо ретельно дотримуватися правил безпеки, щоб уникнути опіків.

На рисунку 4.3 наведено конструкцію пристосування та схеми його розташування при чищенні вертикальних та горизонтальних теплообмінників. За допомогою цих пристроїв чистять також труби інших теплообмінних апаратів, зокрема кожухотрубчастих з плаваючою головкою та теплообмінників типу «труба в трубі». Після механічного чищення труби промити гарячою водою.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

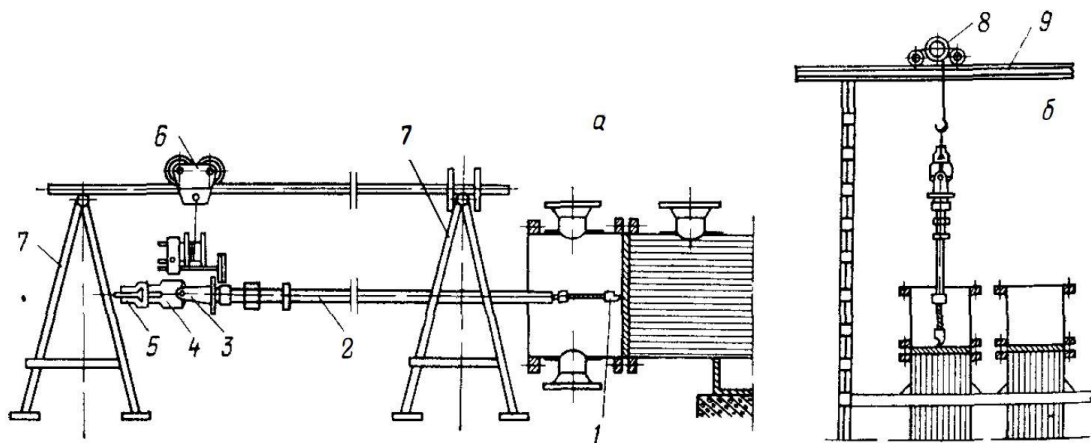


Рисунок 4.3 Пристосування для механічної чистки горизонтальних (а) та вертикальних (б) теплообмінників: 1 – бур; 2 – порожній вал; 3 – розподілювальний золотник; 4 – привід; 5 – упор; 6 – кошка; 7 – тринога; 8 – лебідка; 9 – підкранові шляхи

На практиці трубу, що вийшла з ладу, заглушають з двох кінців металевими конусними пробками. Число труб, що відглушуються, не повинно перевищувати 10% від загальної кількості труб в пучку, що припадають на один потік, інакше значно зросте гідравлічний опір і помітно зменшиться поверхня теплообміну. У загальному випадку виявлення кількох дефектних труб у пучках давно працюючих теплообмінників вказує на можливість виходу з ладу всіх труб, оскільки вони працюють в однакових умовах. Тому відлущивши зношені труби, можна підтримати експлуатаційну придатність теплообмінника до найближчого капітального або середнього ремонту, під час якого теплообмінник або трубний пучок повністю замінюють новим.

Залежно від конструктивного рішення нещільні з'єднання кінців труб із трубними ґратами підвальцьовують або підварюють. Слід уникати надмірного підвальцьовування: воно не тільки не усуне нещільність, але може призвести до втрати міцності з'єднання. Зварювання кінців одних труб може послабити розвальцьовування поруч розташованих труб, тому останні профілактично підвальцьовують.

Необхідність ремонту корпусів кожухотрубчастих теплообмінників встановлюють за результатами вимірювань товщин та перевірки зварних швів. Враховуючи значно більшу товщину корпусів у порівнянні з товщиною теплообмінних труб,

ремонтні роботи зазвичай обмежують підварюванням нещільних швів, виявлених під час опресування.

Перед повним складанням апарата слід провести опресування міжтрубного простору. При цьому виявляться нещільності в корпусі, у місцях з'єднання труб з трубними решітками, а також зношені теплообмінні труби (за появою опресувальної води). Апарат остаточно опресовують після збирання кришок. З апарата, що витримав випробування, зливають воду, а потім знімають заглушки.

5. Охорона праці

При виконанні кваліфікаційної роботи бакалавра було запропоновано в даному розділі написати про - безпеку експлуатації герметичних систем, що працюють під тиском. [15]

Отже, *герметичність* – це непроникність рідинами та газами стінок та з'єднань, що обмежують внутрішні обсяги пристроїв та установок.

Принцип герметичності, тобто непроникності тією чи іншою мірою, використовують практично у всіх пристроях та установках, в яких як робоче тіло застосовують рідину або газ. Цей принцип також є обов'язковим для вакуумних установок. Пристрої та установки, в яких використовується в процесі роботи принцип герметичності, можна назвати герметичними.

Внутрішні обсяги герметичних пристроїв та установок обмежують середовище, яке може бути або робочим тілом, або виконувати роль того середовища, в якому протікають основні робочі процеси. Тому параметри її стану (як і саме середовище) різні. Так, середовище може бути сильно нагрітим (мати температуру кілька тисяч градусів) або бути сильно охолодженим (мати температуру, близьку до абсолютного нуля); тиск усередині пристрою може вимірюватися тисячами мегапаскалів або мати значення, характерні для глибокого вакууму.

У ряді випадків порушення герметичності, тобто розгерметизація пристроїв і установок, не тільки небажана з технічної точки зору, але й небезпечна для персоналу, що обслуговує, і виробництва в цілому.

					<i>XI. T.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

По-перше, порушення герметичності може бути пов'язане із вибухом. Тут слід розрізняти дві причини. З одного боку, вибух може бути наслідком порушення герметичності, наприклад, займання вибухової суміші всередині установки. З іншого, порушення герметичності може стати причиною вибуху, наприклад, при порушенні герметичності ацетиленового трубопроводу поблизу ділянок порушення утворюється ацетиленоповітряна суміш, яка може спалахнути найслабшими імпульсами. Непомічене тривале горіння призводить до такого сильного розігріву трубопроводу, що ацетилен у ньому самозаймається.

По-друге, при розгерметизації створюються небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що залежать від фізико-хімічних властивостей робочого середовища, тобто виникає небезпека:

- одержання опіків під впливом високих, або, навпаки, низьких температур (термічні опіки) та через агресивність середовища (хімічні опіки);
- травматизму, пов'язаного з високим тиском газу в системі, наприклад, порушення герметичності балона з газом при тиску 20 МПа з утворенням отвору діаметром 15 мм призведе до появи початкової реактивної тяги близько 3,5 кН; при масі балона 70 кг він може придбати прискорення 5g і перемістити на деяку відстань;
- радіаційна, що виникає, наприклад, при використанні в установках як теплоносій рідких радіоактивних металів, що мають високий рівень іонізуючого випромінювання;
- отруєння, пов'язані із застосуванням інертних та токсичних газів та ін. Таким чином, принцип герметичності, який використовується при організації робочого процесу ряду пристроїв і установок, є важливим з точки зору безпеки їх експлуатації.

Також дуже важливо розуміти побічні процеси в машинах, апаратах, їх вузлах та в інших установках, і найпопулярніші з них описані нижче.

Корозія – руйнування металу, що починається на поверхні під дією середовища, що омиває метал.

					<i>XI. T. 00. 00. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

Найбільш агресивним середовищем є кислоти. Азотна кислота викликає корозію чорних металів, сірчана за концентрації менше 55% - сильну корозію сталі та чавуну; при концентраціях більше 80% ці метали стають стійкими, так як при великих концентраціях сірчана кислота має здатність поглинати вологу. Дуже сильний корозійний вплив мають лужні метали (літій, натрій, калій).

Розрізняють такі основні види корозії: суцільну (загальну); місцеву (локальну), прикладом якої може бути виразкова корозія, що призводить до утворення наскрізного отвору; міжкристалітну, при якій руйнування відбувається за межами зерен (кристалів) металу; вибіркову, за якої роз'їдання піддаються лише окремі компоненти сплаву.

Виразкова корозія веде безпосередньо до порушення герметичності. Однак найбільш небезпечною є суцільна корозія, особливо в тих випадках, коли вона протікає рівномірно, тобто відбувається рівномірне потонання стінки, яке нелегко виявити. Витончення стінки може призвести до раптового вибуху.

Методи боротьби з корозією такі: зміна корозійного середовища у бік зменшення його агресивності; наприклад, якщо в якості робочого середовища використовується вода, то її знекислюють; збільшення корозійної стійкості конструктивного металу, що досягається ізоляцією металевих поверхонь від середовища шляхом нанесення відповідних покриттів або застосуванням корозійностійкого конструктивного матеріалу.

Поява накипу. У багатьох установках як теплоносія використовується вода. При нагріванні води може утворюватися накип. Це призводить до погіршення теплообміну і, зрештою, може призвести до аварії.

До найпоширеніших накипоутворних сполук відносяться: двовуглецеві кальцій і магній, сірчаноокислий кальцій гіпс і хлористий магній.

Двовуглецевий кальцій і магній мають позитивний термічний коефіцієнт розчинності і тому відкладаються у вигляді шламу на менш нагрітих поверхнях. На противагу їм розчинність, наприклад, гіпсу зменшується зі збільшенням температури, і тому сірчаноокислий кальцій - гіпс відкладається на гарячих поверхнях установки.

З метою зменшення утворення накипу в установках жорсткість води, що застосовується зазвичай обмежують. Так, вода системи охолодження компресорних установок повинна мати загальну жорсткість більше 7 мг-екв/л.

					<i>XI. T. 00. 00. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>50</i>

флюсу, що призводить до утворення парів води, при дисоціації яких виділяється водень, розчинний у рідкому металі, і т. д. Пори зменшують робочий переріз шва, знижують міцність конструкції.

Шлакові включення - невеликі обсяги в зварному шві, заповнені неметалевою речовиною (шлаками, окислами). Вони завжди є у наплавленому металі. Погано виконаний шов має 2-3% шлакових включень від маси наплавленого металу. Шлакові включення послаблюють робочий переріз шва.

Ці приклади показують, що дія технологічних факторів може призвести до порушення герметичності за рахунок послаблення міцності конструкції або безпосередньо (тріщини, прожоги). Тому з ціллю своєчасного виявлення дефектів застосовують різні технічні методи контролю за виготовленням та станом машин, апаратів, їх вузлів та інших установок.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

Список літератури

1. Врагов А. П. Оптимизационное проектирование ректификационных колонн с использованием ПЭВМ : учебное пособие / А. П. Врагов, Я. Э. Михайловский – Сумы : Изд-во СумГУ, 2000. – 65 с.
2. Юхименко Н. П. Методические указания к выполнению курсового и дипломного проектов по теме «Расчет и конструирование пневматических сушилок» курса «Процессы и аппараты химических производств» для студентов специальности 7.090220 дневной и заочной форм обучения / Н. П. Юхименко, Е. В. Донат – Сумы : Изд-во СумГУ, 2000. – 60 с.
3. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения типа ТН (с неподвижными решетками) : каталог – справочник. – Москва : ЦИНТИхимнефтемаш, 1965.
4. ДСТУ ISO 1127:2013
5. ДСТУ 7809-2015
6. Каталог «Стандартные кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения», ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, Москва, 1982, 32 с.
7. Соколов В. Н. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1982, 384 с.
8. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
9. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов /К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков. Под ред. П.Г.Романкова. — 9-е изд., перераб. и доп. — Л.: Химия, 1981. — 560 с., ил.
10. Кузнецов А.А. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов: Справочное пособие/А.А.Кузнецов, Е.Н. Судаков— М.: Химия, 1983. — 224 с.

XI.T.00.00.00.ПЗ

Лист

53

- 11.Корягин А.А. Рекомендации по выбору аппаратов для химической промышленности / А.А. Корягин, Н.Е. Щедрина // В сб. научн. трудов под ред. Е.В. Коровнина, А.А. Корягина – М.: НИИХИММАШ, 1981. – С. 65–67.
- 12.Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов. А. А. Лашинский,Справочник. Ленинград, Машиностроение, 1981, 382 с
- 13.Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
- 14.Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.
- 15.Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Юдина Е. Я., Белова С. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.

					<i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54