

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_

підпис, дата

**Кваліфікаційна робота магістра**  
зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів"  
Тема роботи: Установка осушення вуглеводневого  
газу. Розробити та модернізувати теплообмінник  
для охолодження регенерованого розчину  
діетиленгліколю.

Виконав:  
студент групи ХМ.м-11  
Криводуб Дмитро Геннадійович

\_\_\_\_\_

підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота магістра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник:

канд.техн.наук, доцент

Михайловський Я. Е.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

\_\_\_\_\_

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 4  |
| 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                      | 4  |
| 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....  | 12 |
| 2.1. Опис технологічної схеми установки .....                           | 11 |
| 2.2. Основний принцип роботи апарата.....                               | 14 |
| 1.1 Матеріальні баланси і технологічні розрахунки.....                  | 18 |
| 2.3. Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки.....                    | 20 |
| 2.4. Визначення габаритних розмірів апарата.....                        | 24 |
| 2.5 Гідравлічний опір апарата.....                                      | 25 |
| 2.6 Вибір допоміжного обладнання.....                                   | 26 |
| 3. Розрахунки апарата на міцність та герметичність.....                 | 30 |
| 3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу .....                             | 30 |
| 3.2 Розрахунок товщини стінки днища.....                                | 33 |
| 3.3 Розрахунок зміцнення отворів циліндричної обичайки .....            | 36 |
| 3.4 Зміцнення отворів еліптичної кришки корпусу .....                   | 37 |
| 3.5. Розрахунок фланцевого з'єднання.....                               | 38 |
| 3.6 Вибір і розрахунок опори.....                                       | 49 |
| 4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА.....                                      | 50 |
| 5 АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНО-ПРОЦЕСУ.....                        | 54 |
| 5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення техн-процесу..... | 54 |
| 5.2 Розроблення системи авто-керування роботою обладнання.....          | 56 |
| 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....  | 63 |
| Список літератури .....   | 81 |

|           |              |         |        |      |                                       |        |       |         |
|-----------|--------------|---------|--------|------|---------------------------------------|--------|-------|---------|
|           |              |         |        |      | <i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i>               |        |       |         |
| Зм..      | Арк.         | № докум | Підпис | Дата |                                       |        |       |         |
| Розроб    | Криводуб     |         |        |      | <i>Теплообмінник кожухотрубчастий</i> | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Перев.    | Михайловский |         |        |      |                                       | у      | 4     | 82      |
| Н. Контр. |              |         |        |      |                                       |        |       |         |
| Затв.     |              |         |        |      |                                       |        |       |         |

## Вступ

Теплообмінними апаратами, або теплообмінниками, називають апарати для передачі теплоти від більш нагрітого теплоносія для менш нагрітого. У харчовій промисловості теплообмінники використовують для нагрівання й охолодження робочих середовищ під час виконання різних технологічних процесів.

Теплообмінні апарати класифікують за різними ознаками. Так, за конфігурацією поверхні теплообміну їх поділяють на: трубчасті (кожухотрубні, типу «Труба в трубі», зрошувальні, занурені), пластинчасті, спіральні, ребристі, оболонкові.

Вибираючи тип теплообмінника, враховують такі фактори: забезпечення найвищого коефіцієнта теплопередачі за якомога меншого гідравлічного опору; компактність і найменшу витрату матеріалу; надійність і герметичність у поєднанні з розбірністю і доступністю поверхні теплообміну для механічного очищення її від забруднення; уніфікацію вузлів і деталей; термодинамічні параметри робочих середовищ та їхні фізико-хімічні властивості; температурні напруження, які виникають у разі різного теплового подовження конструктивних елементів теплообмінника.

Кожухотрубчастий теплообмінник – це спеціальний пристрій, що складається з пучка трубок, поміщених в циліндричний корпус (кожух) таким чином, щоб внутрішня камера кожуха при цьому грала роль між трубного простору. До корпусу теплообмінника приварено нижні трубні дошки, в яких і вальцьовані теплообмінні труби. Для гарантії герметичності з'єднань кромки трубок можуть додатково обварюватися. До трубних дощок прикріплені камери з патрубками, які відповідають за відведення поточного всередині контуру теплообмінника середовища. Для забезпечення поперечного струму рідини і підтримки трубок є проміжні трубні решітки.

Мета роботи – розробити теплообмінник для охолодження регенерованого розчину діетиленгліколю установки осушення вуглеводневого газу

### 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

|     |      |         |        |      |  |  |  |  |  |       |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|--|-------|
|     |      |         |        |      |  |  |  |  |  | Аркуш |
|     |      |         |        |      |  |  |  |  |  | 4     |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |  |  |  |  |  |       |

## 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Теплообмін - незворотний мимовільний процес перенесення теплоти від більш нагрітих тіл (ділянок тіл) до менш нагрітих. Явище теплопровідності полягає в перенесенні теплоти мікрочастинками (молекулами, атомами, електронами і т.п.). Такий теплообмін може відбуватися в будь-яких тілах з неоднорідним розподілом температур.

Теплопередача - процес передачі теплоти від більш нагрітого середовища до менш нагрітого середовища через стінку.

Механізм теплопередачі складається з трьох стадій:

конвекції від першого середовища до плоскої стінки:

$$Q = \alpha_1 F(t_1 - t_{ct1})$$

Теплопровідності

$$Q = \lambda \delta F(t_{ct1} - t_{ct2})$$

конвекції від плоскої стінки до другого середовища:

$$Q = \alpha_2 F(t_{ct2} - t_2)$$

В результаті сумісного рішення рівнянь одержимо

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} F(t_1 - t_2) = KF(t_1 - t_2)$$

Де  $\delta$  - товщина стінки;  $\lambda$  - теплопровідність матеріалу стінки;  $t_{ct1}$ ,  $t_{ct2}$  - температури на межах плоскої стінки;  $Q$  - кількість теплоти, що проходить через стінку;  $\alpha_1$ ,  $t_1$  і  $\alpha_2$ ,  $t_2$  - коефіцієнти тепловіддачі і температури першого і другого середовищ

Коефіцієнт теплопередачі  $K$ , (Дж/(м<sup>2</sup>К)) показує, яка кількість теплоти переходить в одиницю часу від більш нагрітого до менш нагрітого теплоносія через розділяючу їх стінку з площею поверхні 1 м<sup>2</sup> при різниці температур між теплоносіями один градус.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Рушійною силою процесу теплопередачі є різниця температур між гарячим і холодним теплоносієм. Проте температури теплоносіїв в процесі

|     |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|-------|
|     |      |         |        |      |  |  |  |  | Аркуш |
|     |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|     |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |  |  |  |  | 5     |





### ***За типом передачі тепла***

#### ***Рекуперативні***

В даному виді пристроїв теплопередача відбувається безперервно через контактну поверхню.

#### ***Регенеративні***

Відрізняються від рекуператорів тим, що рух теплоносія і теплоспоживача має періодичний характер. Основна область застосування таких установок - охолодження і нагрів повітряних мас. Установки з подібним типом дії потрібні в багатоповерхових офісних будівлях, коли тепле відпрацьоване повітря виходить з будівлі, але його енергію передають свіжому вхідному потоку.

### ***За типом конструкції***

Варіацій конструкцій теплообмінних апаратів дуже багато. Їх вибір і підбір конкретної моделі залежить від великої кількості умов експлуатації і технічних характеристик:

- потужність теплообмінника;
- тиск в системі;
- тип середовищ (агресивні чи ні);
- робочі температури;
- інші вимоги.

### ***За напрямком руху середовищ***

#### ***Одноходові теплообмінники***

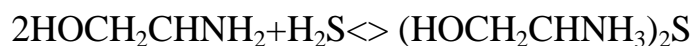
В даному виді агрегатів теплоносія і теплоспоживач перетинають внутрішній обсяг теплообмінника одноразово по найкоротшому шляху. Подібна схема руху використовується в простих випадках, коли не потрібно підвищувати тепловіддачу від теплоносія холодоагенту. Крім того, одноходові теплообмінники вимагають більш рідкого обслуговування і промивання, так як на внутрішніх поверхнях накопичується менше відкладень і забруднень.

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | XI.T.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 8     |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |





облалнання та мегативко впливає на якість продуктів газопереробки. Для очищення газів від Ноайчастіше використовується абсорбційне очищення етаноламінами (зокрема моноетаноламіном - МЕА). Моноетаноламін, що використовується у вигляді 15...20 і-го водного розчину, характеризується високою реакційною здатністю стабільністю та легкістю регенерації. Процес поглинання  $H_2S$  моноетаноламіном можна подати у вигляді рівняння:



Процес поглинання сірководню МЕА проходить при високому тиску і температурі 25...40 °С, а регенерацію поглинача проводять при низькому тиску та температурі 105...120 °С. Після необхідної підготовки нафтові газу направляють до споживача або подають на подальшу переробку [1].

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 10    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Опис технологічної схеми установки

Теплообмінник, що розробляється, встановлений в технологічній схемі осушення вуглеводневого газу [4].

Природні та попутні нафтові гази, які надходять па нафтопереробний завод, можуть містити механічні домішки (зважені частинки пилу, піску, продукти корозії газопроводів тощо), вологу, а також сірководень та діоксид вуглецю. Вони пере шкоджають нормальній роботі технологічного обладнання газопереробних заводів і негативно впливають на якість продукції. Тому для використання цих газів або їх подальшої переробки необхідно очистити гази від цих небажаних компонентів.

Очищення газів від механічних домішок здійснюється шляхом сухого або мокрого очищення. Для сухого очищення застосовуються циклони, осаджувальні апарати, слектрофільтри. Мокре газоочищення базується на тісному контакті запиленого газу з рідиною.

При цьому тверді частинки утримуються рідиною. Для мокрого очищення газу застосовують скрубери, мокрі циклони, пінні апарати тощо. Вода, що міститься в природних і попутних нафтових газах, можутворювати з вуглеводнями комплексні сполуки - гідрати ( $\text{CH}_4$ ;  $6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$   $18\text{H}_2\text{O}$ , тощо). Вони у вигляді накопичення кристалів, подібних до спресованого снігу, можуть закупорювати газопроводи, перешкоджаючи нормальному транспортуванні газу.

Особливо активно гідрати утворюються в холодну пору року. Знижуючи вміст вологи у газі можна запобігти утворюванню гідратів. Серед всіх відомих на сьогодні методів осушення газу найбільше

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 11    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |



абсорбент знизу. Відгонка води від обводненого абсорбенту відбувається у другій колоні десорбері 3.

Тут при підвищеній температурі 150...170С відбувається відділення води від абсорбенту. Обводнений гліколь, попередньо нагрівшись в теплообміннику 4, вводиться в середину десорбера 3. Зверху десорбера виходить водяна пара. Вони конденсуються в конденсаторі-холодильнику 6. Конденсат частково повертається на зрошення колони 3. Тепло до низу десорбера підводиться за допомогою підігріву частини гліколю в паровому підігрівачі 5. Регенований гліколь, який містить 1...5 % мас води, охолоджується в теплообміннику 4 і повертається в абсорбер 2 [15].

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 13    |



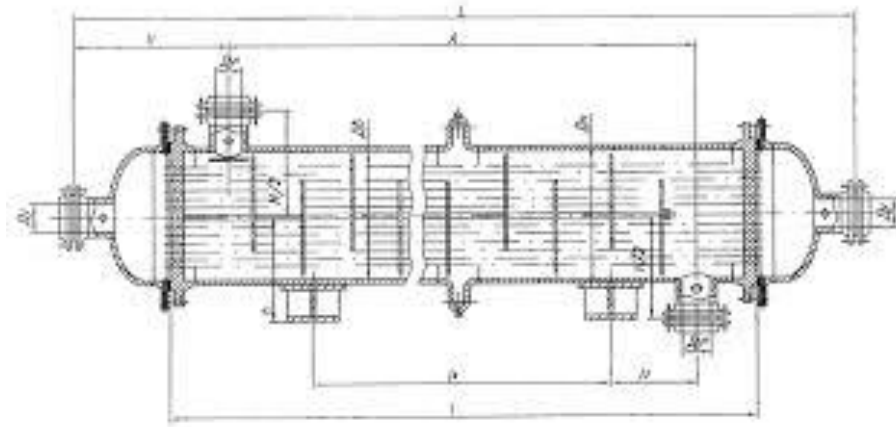


Рис. 1.4 - Конструкція теплообмінника з лінзовим компенсатором

1 – кожух; 2 – трубні решітки; 3 – труби; 4 – кришка;

5 – днище; 6 – болт; 7 – прокладка; 8 – лінзовий компенсатор;

I і II – теплоносії.

#### Конструкція:

Кожухотрубчастий теплообмінник з лінзовим компенсатором складається з нерухомих трубних решіток 2, в яких закріплюються труби 3. До кожуха 1 за допомогою болтів 6 і прокладок 7 кріпиться кришка 4 і днище 5.

Кожух 1 складається з двох частин з'єднаних за допомогою лінзового компенсатора 8, що визначає напівжорсткість його конструкції. В цьому апараті температурні деформації компенсуються осьовим стисненням або розтягненням компенсатора 8.

Теплообмінники з лінзовим компенсатором застосовуються при відносно невеликих деформаціях (10-12 мм) та невисоких тисках у міжтрубному просторі (небільш як 0,5 МПа).

#### Принцип дії:

Один з теплоносіїв I протікає по трубах, інший II – в міжтрубному просторі. Тепло від одного теплоносія другому передається через поверхні стінок труб.

|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
|     |      |         |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |

XI.T.00.00.00.ПЗ

Аркуш

15

### Переваги:

Можливість компенсації температурних деформацій, що виникають при значній різниці температур кожуха і труб.

### Недоліки:

Ускладнення конструкції теплообмінника; не надійність в експлуатації; невеликі допустимі значення надлишкового тиску в апараті.

Одним з відповідальних заходів при проектуванні теплообмінного апарату є вибір матеріалу для поверхні теплообміну, корпусу і деталей, арматури, патрубків, трубопроводів. При виборі матеріалу необхідно враховувати його стійкість до хімічного впливу теплоносіїв та інших видів корозії, термостійкість, зміна механічних і хімічних властивостей в заданих умовах експлуатації, теплопровідність.

Для корпусу теплообмінника нагрівання насиченого розчину моноетаноламіну пропонується використати вуглецеву сталь Ст3; для труб - сталь конструкційна низьколегована для зварних конструкцій 12Х8.

Сплав Ст3 представляє собою універсальний конструкційний матеріал, який за сукупністю позитивних якостей перевершує високолеговані сталі. Переваги марки стали Ст3сп складаються: в наявності гомогенної структури, що забезпечує захист металу від зовнішнього впливу; високої корозійної стійкості; підвищеної твердості і пружності; відсутності флокеночутливості і відпускнуї крихкості; стійкості до динамічних навантажень; доступною вартості в порівнянні з іншими сплавами. Недоліком сталей Ст3 є невисока стійкість до низьких температур.

Завдяки високому вмісту хрому (до 9%) метал марки 12Х8 відрізняється стійкістю до атмосферної та хімічної корозії, тому його допустимо використовувати в тісному контакті з агресивними середовищами. Пластичність-цінна властивість даного сплаву: відносне подовження при розриві досягає 22%, тоді як міцність обмежена межею 392 МПа. Багато в чому це обумовлено введенням в сплав невеликої кількості міді (до 0,25%). В

|      |      |         |        |      |                  |       |
|------|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|      |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм.. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 16    |

даному випадку це дозволило зберегти високу пластичність в холодному стані і збільшити межу плинності, тому отримання трубного прокату проводиться при мінімальному нагріванні і без нього.

Відомо, що на механічні властивості конструкційних сталей вирішальний вплив робить вміст легуючих компонентів: нікелю (до 0,4%) і кремнію (до 0,37%). Наявна концентрація кремнію дозволяє віднести сталь до спокійних, а збагачення складу марганцем (до 0,6%) посилює її корозійностійкість. Низькі концентрації шкідливих присадок сірки і фосфору (до 0,035%) визначають високу якість матеріалу [2].

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 17    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |



## 2.3 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### Матеріальні баланси і технологічні розрахунки

#### Вихідні дані

Гарячий теплоносіє – регенований розчин ДЕГ

Продуктивність  $G_r = 5000$  кг/год,

Початкова температура  $t_{гп} = 105$  °С

Кінцева температура  $t_{гп} = 30$  °С

Холодний теплоносіє – вода

Початкова температура  $t_{хп} = 15$  °С

Кінцева температура  $t_{хк} = 35$  °С

#### 1.1. Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки

1. Кількість тепла, сприйманого розчином:

$$Q_2 = \frac{G_2}{3600} (h_{t_2''} - h_{t_2'}) = \frac{5000}{3600} * 2400(105 - 30) = 250000 \text{ Вт}$$

де  $h_{t_2''}$  і  $h_{t_2'}$  - відповідно ентальпія насиченого розчину ДЕГ при температурах  $t_2'' = 105$  °С і  $t_2' = 30$  °С, кДж / кг.

Витрата води розраховуємо за формулою:

$$G_b = 250000 / (4190 * ((35 - 15))) = 2,9832 \text{ кг/с.}$$

Враховуючи продуктивність за ДЕГ, а також

2. Вибір типорозміру теплообмінного апарату. Типорозмір кожухотрубчастого теплообмінного апарату з лінзовим компенсатором слід вибирати по швидкості руху теплоносіїв в трубному та міжтрубному просторі.

Середня швидкість руху (в м/с) розчину в трубному просторі і розчину в міжтрубному просторі розраховується за формулами:

$$w_2 = \frac{G_2}{3600 \rho_2 f_{тр}}, w_1 = \frac{G_1}{3600 \rho_1 f_{мтр}}$$

розраховуємо  $w_1 = 0,05256$  м/с,  $w_2 = 0,1763$  м/с.

|     |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|-------|
|     |      |         |        |      |  |  |  |  | Аркуш |
|     |      |         |        |      |  |  |  |  | 18    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |  |  |  |  |       |



4. Коефіцієнт тепловіддачі. Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від розчину ДЕГ до зовнішньої поверхні трубного пучка необхідно визначити режим руху теплоносія по числовому значенню критерію Рейнольдса:

$$Re_{1cp} = \frac{w_{1cp} d_l}{v_{1cp}} = \frac{0,05256 \cdot 0,025}{2,03 \cdot 10^{-6}} = 647$$

де  $d_l = d_y = 0,025$  м - лінійний визначає розмір, в якості якого при розрахунку міжтрубного простору кожухотрубчастих теплообмінних апаратів приймається зовнішній діаметр труби.

При числовому значенні  $Re_{1cp} = 647 < 1000$  режим руху теплоносія є ламінарним і коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  можна розрахувати за формулою

$$\alpha_1 = Nu * \lambda * /d$$

де  $Pr_{1cp}$  - критерій Прандтля, рівний

$$Pr_{1cp} = \frac{v_{1cp} \cdot c_{1cp} \cdot \rho_{1cp}}{\lambda_{1cp}} = \frac{2,03 \cdot 10^{-6} \cdot 2400 \cdot 1057}{0,263} = 19,58$$

Попередній розрахунок показує, що ставлення

$$\left( \frac{Pr_{1cp}}{Pr_{1ст}} \right)^{0,25} \approx 1$$

Критерій Нуссельта для гарячого теплоносія розраховується за формулою;  $Re < 1000$ ,  $Nu = 0,34 Re^{0,5} * Pr^{0,36}$ ;

$$Nu = 0,34 * 647^{0,5} * 19,58^{0,36} = 25,23$$

Тоді

$$\alpha_1 = 25,23 * 0,263 / 0,025 = 265,522 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від внутрішньої поверхні трубного пучка до води розрахуємо критерій Рейнольдса

$$Re_{2cp} = \frac{w_{2cp} d_l}{v_{2cp}} = \frac{0,1763 \cdot 0,021}{1,06 \cdot 10^{-6}} = 3494,12$$

де  $d_l = d_y = 0,021$  м - лінійний визначає розмір, в якості якого при розрахунку трубного простору кожухотрубчастих теплообмінників приймається внутрішній діаметр труби.

|      |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|------|------|---------|--------|------|--|--|--|--|-------|
|      |      |         |        |      |  |  |  |  | Аркуш |
|      |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|      |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
| Зм.. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |  |  |  |  | 20    |





7. Поверхня теплообміну. Поверхня теплообміну розраховується за рівнянням:

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{cp}} = \frac{250000}{190 \cdot 35,7} = 36,85 \text{ м}^2$$

де Q - теплове навантаження теплообмінників, Вт.

Обираємо за ГОСТ 15118-79 стандартний теплообмінник з поверхнею теплообміну  $F = 47 \text{ м}^2$ .

Основні параметри теплообмінника наведені в табл. 1.2 [12].

Таблиця 1.2

Основні параметри теплообмінника

| Внутрішній діаметр корпусу теплообмінника, мм | Поверхня теплообміну, м <sup>2</sup> | Число ходів теплоносія в трубному просторі | Площа перерізу, м <sup>2</sup> |                  | Довжина труб, мм |
|---|--------------------------------------|--|--------------------------------|------------------|------------------|
|   |                                      |  | f <sub>тр</sub>                | f <sub>мтр</sub> |                  |
| 400   | 47,0                                 | 2  | 0,017                          | 0,025            | 6000             |



## 2.5 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний опір кожухотрубчастого теплообмінника складається з витрат напору на тертя в трубах і місцевих опорів.

1) у трубному просторі :

$$\Delta P_{\text{мп}} = \left( \varphi \cdot \frac{L \cdot z}{d_B} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{w_B^2 \cdot \rho_B}{2}$$

Де  $\varphi$ - коефіцієнт тертя;

$$\varphi = \frac{0,316}{Re_B^{0,25}} = \frac{0,316}{3494^{0,25}} = 0,04$$

| Характер місцевих опорів  | $\zeta$                        |
|---|--------------------------------|
| Трубний простір   |                                |
| Вхідна або вихідна камера   | 1,5                            |
| Поворот на 180° між ходами або секціями   | 2,5                            |
| Вхід у труби або вихід із них   | 1,0                            |
| Міжтрубний простір  | $\zeta$                        |
| Вхід або вихід  | 1,5                            |
| Поворот на 180° через сегментну перегородку   | 1,5                            |
| Опір трубного пучка при поперечного русі теплоносія ( $m = 11$ – число рядів труб у напрямку руху потоку) | $\frac{3 \cdot m}{Re_r^{0,2}}$ |



$\Sigma \zeta$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів

Розрахункові формули для визначення гідравлічного опору кожухотрубчастого теплообмінника остаточно набувають вигляду (4)

-у трубному просторі  $\Delta P_{mp} = \left( \varphi \cdot \frac{L \cdot z}{d_b} + 4.5 \cdot z + 0.5 \right) \cdot \frac{w_B^2 \cdot \rho_B}{2}$

$$\Delta P_{mp} = \left( 0,04 \cdot \frac{6 \cdot 2}{0,025} + 4,5 \cdot 2 + 0,5 \right) \frac{0,05256^2 \cdot 1057}{2} = 41 \text{ Па}$$

-у міжтрубному просторі  $\Delta P_{mmp} = \left( \frac{3 \cdot m \cdot (s+1)}{Re_r^{0,2}} + 1.5 \cdot s + 3 \right) \cdot \frac{w_r^2 \cdot \rho_r}{2}$

$$\Delta P_{mmp} = \left( \frac{3 \cdot 11 \cdot (22 + 1)}{3494^{0,2}} + 1,5 \cdot 22 + 3 \right) \cdot \frac{0,1763^2 \cdot 995}{2} = 2852 \text{ Па}$$

Де  $s = 22$  - кількість сегментних перегородок в апараті .

$m = 11$  – число рядів труб у напрямку руху потоку.

## 2.6 Вибір допоміжного обладнання

Виконаємо розрахунок відцентрового насоса для подачі поглинача в напірну ємність

$$\text{Витрата поглинача} \quad V = \frac{G_w}{\rho} \quad (2.48)$$

де  $\rho$  - щільність розчинуДЕГ, кг / м<sup>3</sup>

$$V=22,4/1120=0,02 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Геометрична висота підйому 6 м. Довжина трубопроводу на лінії всмоктування 3 м, на лінії нагнітання 10 м. На лінії всмоктування встановлений один вентиль, на лінії нагнітання - один вентиль і дросельна заслінка, мається також два коліна під кутом 90°. Прийmemo швидкість води у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однаковою, рівною 2 м/с. Тоді діаметр трубопроводу

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}}, \quad d=0,11 \text{ м}.$$

Приймаємо трубопровід зі сталі марки 08Х18Н10Т, діаметром 50 × 2 мм.

Визначаємо величину критерію Re

$$Re=w \cdot d \cdot \rho / \mu = 2 \cdot 0,025 \cdot 1120 / 0,395 \cdot 10^{-3} = 141772.$$

режим руху турбулентний.

Приймаємо абсолютну шорсткість стінок труб,  $e = 0,2$  мм [2], ступінь шорсткості

$$\frac{d}{e} = \frac{50}{0,2} = 250.$$

За рис 1.5 [2, с. 22] знаходимо значення коефіцієнта тертя

|      |      |         |        |      |                  |       |
|------|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|      |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|      |      |         |        |      |                  | 27    |
| Зм.. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |

$$\lambda = 0,0305$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів [4, с.26]:

для всмоктуючої лінії

- вхід в трубу  $\varepsilon = 0,5;$

- вентиль для  $d = 0,017$  мм  $\varepsilon = 6,7.$

$$\Sigma\varepsilon_{\text{вс}} = 0,5 + 6,7 = 7,2;$$

для нагнітальної лінії

- вихід з труби  $\varepsilon = 1,0;$

- нормальний вентиль  $\varepsilon = 6,7;$

- дросельна заслонка  $\varepsilon = 0,9;$

- коліно під кутом  $90^\circ$   $\varepsilon = 1,6.$

отже,

$$\Sigma\varepsilon_{\text{н}} = 1 + 6,7 + 0,9 + 2 \cdot 1,6 = 11,8.$$

Визначаємо втрати напору:

у всмоктувальній лінії

$$h_{\text{вс}} = \left( 0,0305 \cdot \frac{3}{0,01} + 11,8 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 1,18 \text{ м.}$$

нагнітальної лінії

$$h_{\text{н}} = \left( 0,0305 \cdot \frac{10}{0,01} + 11,8 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 2,53 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 28    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |

$$h_{\Pi} = 1,18 + 2,53 = 3,71 \text{ м.}$$

Визначаємо повний напір

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{\Pi}$$

де  $\Delta p$  – надлишковий тиск, Па;  $H_{\Gamma}$  - геометричний напір;

$$H = \frac{0,025 \cdot 10^6}{1001 \cdot 9,81} + 6 + 3,71 = 12,66 \text{ м.}$$

Корисна потужність насоса

$$N_{\Pi} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot V}{1000}$$

$$N_{\Pi} = (1120 \cdot 9,81 \cdot 16 \cdot 0,022) / 1000 = 3,86 \text{ кВт.}$$

Потужність на валу двигуна

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{п}}}$$

де  $\eta_{\text{н}}$  – к.п.д. насоса;  $\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачі;

$$N_{\text{дв}} = 3,86 / 0,7 \cdot 1,0 = 5,51 \text{ кВт.}$$

Установча потужність двигуна з урахуванням пускових моментів

$$N_{\text{уст}} = 1,2 \cdot N_{\text{дв}} / \eta_{\text{дв}} = 1,2 \cdot 5,51 / 0,85 = 7,77 \text{ кВт.}$$

Встановлюємо при  $V = 22 \text{ м}^3/\text{ч}$  відцентровий насос марки ХМ 25/25 з наступною характеристикою: продуктивність  $25 \text{ м}^3/\text{год}$ , напір 25 м [12].

|      |      |         |        |      |                  |       |
|------|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|      |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|      |      |         |        |      |                  | 29    |
| Зм.. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |

## 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

### 3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу

Циліндрові обичайки є одним з основних елементів хімічних апаратів. З однієї або декількох обичайок утворюється циліндровий корпус апарату.

Вихідні дані: Робоча температура в корпусі  $t = 70$  °С. Розрахунковий тиск  $P_p = 1,2$  Па; Матеріал сталь 09Г2С. Термін служби апарату 15 років. Корозія  $\Pi = 0,15$  мм/рік.

Визначення розрахункового тиску та тиску гідравлічних випробувань.

Розрахунковий тиск приймаємо як 1 МПа, так як висота апарату є незначна.

Тиск гідравлічних випробувань для корпусу апарата визначимо за формулою [6]:

$$P_{np} = 1,25 \cdot P_p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}$$

де  $P_p$  – розрахунковий тиск, МПа.

$[\sigma]_{20}$  – допустима напруга, сталі 09Г2С при температурі 20С°;

$[\sigma]_{20} = 196$  МПа [1];

$[\sigma]_t$  - допустима напруга, сталі 09Г2С при робочій температурі;  $t_p = 40$  °С  $[\sigma] = 191,3$  МПа [6]

$$P_{np} = 1,25 \cdot 1,2 \cdot \frac{196}{191,3} = 1,53 \text{ МПа}$$

Розрахункова товщина стінки обичайки, навантаженої внутрішнім надмірним тиском визначається по формулі [1]:

$$S_p = \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P_p}$$

|     |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|-------|
|     |      |         |        |      |  |  |  |  | Аркуш |
|     |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|     |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |  |  |  |  | 30    |











Визначаємо пробний тиск.

$$P_{\text{пр}} = 1,25 P_p \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma]}$$

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 1,2 \cdot 196 / 191,3 = 1,53 \text{ мПа.}$$

Порівнюємо в режимі роботи:

$$P_p \leq [P]$$

$$1,2 \leq 2,05$$

В режимі випробування

$$P_{\text{пр}} \leq [P]_{\text{пр}}$$

$$1,53 \leq 2,92$$

Висновок. Забезпечується міцність обичайки як в робочому стані, так і при гідравлічних випробуваннях [4].

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 35    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |

### 3.3 Розрахунок зміцнення отворів циліндричної обичайки

Корпус апарату, днище, кришка забезпечуються необхідною кількістю штуцерів для підключення його до технологічних ліній, огляду і ремонту апарату і тому подібне. Отвори не тільки зменшують площу матеріалу корпусу або днища, що несе, кришки, але і викликають високу концентрацію напруги поблизу краю отвору.

Як показують експерименти, максимальні напруження швидко зменшуються у міру від краю отвору, тобто приріст напружень носить локальний характер. Таким чином, під час проектування апаратури необхідно вирішувати задачу про зниження підвищеного напруження в області отворів до допустимих значень за рахунок компенсації ослаблення, викликаного наявністю вирізу [7].

Компенсація ослаблення може проводитися двома способами:

1. Збільшення товщини стінки всієї оболонки виходячи з максимальних напружень у зоні краю отвору.
2. Зміцненням краю отвору додатковим матеріалом, що вводиться по можливості ближче до місця розподілу максимальних напружень.

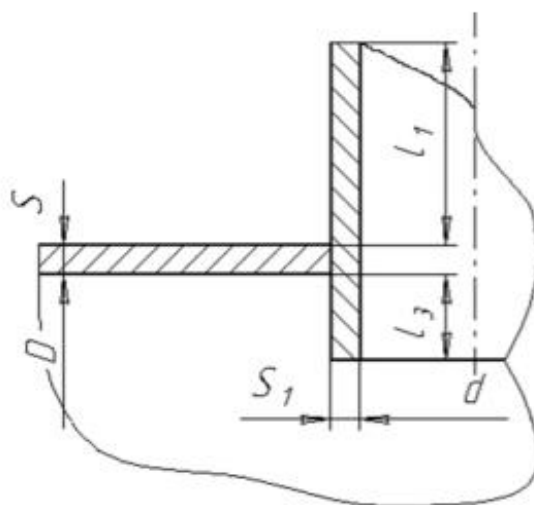


Рисунок 1.7 – Ескіз зміцнення отвору





Приймаємо  $D_6 = 495$  мм

Зовнішній діаметр фланця визначуваний по формулі і відповідно до табл. 13.7 [9]:

$$D_\phi \geq D_6 + a$$

де:  $a$  – конструктивна добавка для розміщення гайок по діаметру фланця, приймаємо  $a = 40$  мм [9, табл. 13.27].

$$D_\phi = 495 + 40 = 535 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $D_\phi = 535$  мм.

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{\text{НП}} = D_B - e$$

де:  $e$  – нормативний параметр, залежний від товщини прокладки,  $e = 30$  мм [9, табл. 13.27, с.264].

$$D_{\text{НП}} = 495 - 30 = 465 \text{ мм;}$$

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

Середній діаметр прокладки визначається по формулі:

$$D_{\text{СП}} = D_{\text{НП}} - b$$

де:  $b$  – ширина прокладки, що приймається згідно [9. табл. 13.25, с. 262],  $b = 12$  мм.

$$D_{\text{СП}} = 465 - 12 = 453 \text{ мм.}$$

Ефективна ширина прокладки при  $b \leq 15$  мм ,  $b = 12$  мм.

$$b_E = 0,5 \cdot b$$

$$b_E = 0,5 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,006 \text{ м.}$$

Конструктивний коефіцієнт для фланця:

|            |             |                |               |             |                         |              |
|------------|-------------|----------------|---------------|-------------|-------------------------|--------------|
|            |             |                |               |             | <i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i> | <i>Аркуш</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                         | 39           |







Лінійна податливість болтів:

$$y_b = \frac{L_b}{E_b \cdot f_b \cdot n_b}$$

де:  $E_b$  – модуль подовжньої пружності матеріалу болта ;

$$E_b = 1,96 \cdot 10^5 \text{ Мпа.}$$

$f_b$  – розрахункова площа поперечного перетину болта по внутрішньому діаметру, згідно табл. 13.27 [9],  $f_b = 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot \text{м}^2$ ;

$n$  – кількість болтів,  $n = 40$  шт.

$$y_b = \frac{0,076}{1,96 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 40} = 4,125 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання визначуваний по формулі:

$$A_\phi = \frac{1}{y_l + y_b + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_b - D_{\text{сп}})^2}$$

$A_\phi$

$$= \frac{1}{11,711 \cdot 10^{-5} + 4,125 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,0181 + 0,0181) \cdot (0,495 - 0,453)^2}$$

$$= 5736$$

Параметр жорсткості фланців:

$$B_{\phi 1} = B_{\phi 2} = y_\phi \cdot (D_b - D - S_0)$$

$$B_{\phi 1} = B_{\phi 2} = 0,0181 \cdot (0,495 - 0,4 - 0,008) = 1,574 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{МН}}$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_\phi \cdot y_b$$

$$\gamma = 5736 \cdot 4125 \cdot 10^5 = 0,00236.$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_\phi = A_\phi \cdot [y_b + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 1}) \cdot (D_b - D_{\text{сп}})]$$

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 42    |



де:  $q$  – тиск віджимання прокладки, для параніту  $q = 20$  МПа.

$$P'_{B1} = 3,14 \cdot 0,453 \cdot 0,006 \cdot 20 = 0,170 \text{ МН.}$$

$$P''_{B1} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_{\Delta} \pm P) + R_n + \frac{4 \cdot M}{D_{cn}}$$

$$P''_{B1} = 0,426 \cdot (0,193 \pm 0) + 0,068 + \frac{4 \cdot 0}{0,453} = 0,150 \text{ МН.}$$

$$P'''_{B2} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot n_{\sigma} \cdot f_{\sigma};$$

де:  $[\sigma_B]^{20}$  – допустиме напруження для матеріалу болтів при температурі  $20$  °С  $[\sigma_B]^{20} = 130$  МПа;

$$P'''_{B2} = 0,4 \cdot 130 \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,489 \text{ МН.}$$

Болтове навантаження визначаємо по формулі:

$$F_{B1} = \max\{P'_{B1}; P''_{B1}; P'''_{B1}\};$$

$$F_{B1} = \max\{0,170; 0,150; 0,489\} = 0,489 \text{ МН.}$$

Умова міцності неметалічної прокладки (з пароніту) визначається по формулі:

$$\frac{F_{B1}}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b} \leq [q];$$

де:  $[q]$  – тиск, що допускається, на прокладку по табл. 13.28 [9]

$$[q] = 130 \text{ МПа.}$$

$$\frac{0,489}{3,14 \cdot 0,453 \cdot 0,012} = 28,64 \text{ МПа} \leq [q] = 130 \text{ МПа} - \text{ умова міцності прокладки}$$

виконана.

Болтове навантаження в робочих умовах визначаємо по формулі:

$$F_{B2} = F_{B1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_{\Delta} \pm P) + Q_{t\phi} + \frac{4 \cdot M}{D_{cn}};$$

|      |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|------|------|---------|--------|------|--|--|--|--|-------|
|      |      |         |        |      |  |  |  |  | Аркуш |
|      |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
|      |      |         |        |      |  |  |  |  |       |
| Зм.. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |  |  |  |  | 44    |









### 3.6 Вибір і розрахунок опори.

Для установки апарату вибираємо опори стійка для горизонтальних апаратів з ОСТ 26-665-79 [9]. Опори виготовляються зі сталі СтЗпс5.

Конструктивні розміри елементів опори встановлюються в залежності від навантаження на одну опору  $Q$ , кН. Розрахуємо вага апарату, для того, щоб дізнатися навантаження на одну опору.

$$G = 2G_{\text{дн}} + G_{\text{об}} + G_{\text{ср}} + G_{\text{фл}}, \text{ Н}$$

$$2G_{\text{дн}} = m \cdot g = 2 \cdot 9,81 \cdot 13,4 = 263 \text{ Н}$$

$$G_{\text{об}} = \pi(D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \cdot g = 3,14 (0,4+0,008) \cdot 0,008 \cdot 6 \cdot 4190 \cdot 9,81 = 2527 \text{ Н}$$

$$G_{\text{ср}} = V \cdot \rho \cdot g = (\pi \cdot R^2 \cdot H) + V_{\text{днищ}} \cdot \rho \cdot g = (3,14 \cdot 0,2^2 \cdot 6) + 0,0113 \cdot 980 \cdot 9,81 = 109 \text{ Н}$$

$$G_{\text{фл}} = 1100 \text{ Н (вага відома)}$$

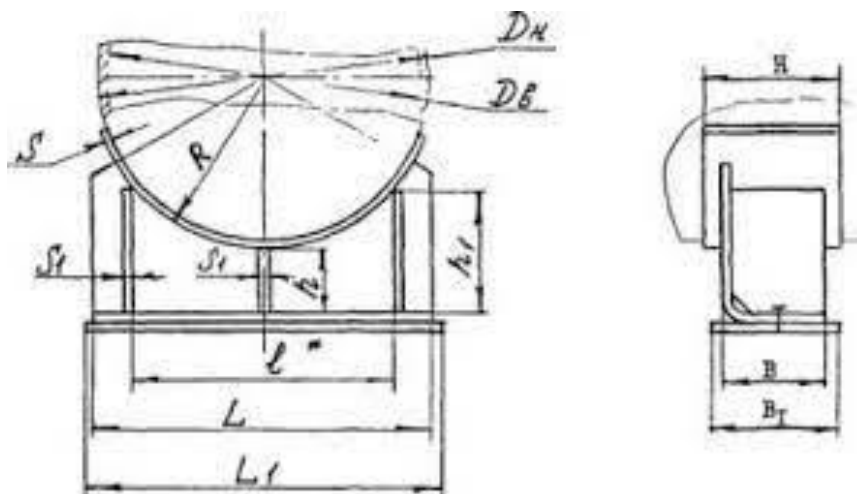
$$G = 263 + 2527 + 109 + 1100 = 3999 \text{ Н}$$

Остаточно приймаємо стандартну седлову опору з товщиною ребра  $S_p = 8$  мм. Конструктивні розміри, згідно ОСТ 26-1265-75:

$D = 800$  мм;  $R = 414$  мм;  $S_1 = 8$  мм;  $S_2 = 14$  мм;  $L = 720$ ;  $A = 500$  мм;  $A_1 = 400$  мм;  $A_2 = 250$  мм;  $l = 760$  мм;  $B = 250$  мм;  $L_1 = 760$  мм; втулка для опори М48;  $B_2 = 360$  мм;

Опора 80-414-2-ІІ ОСТ 26-1265-75, Лист опорний 8-414-ОСТ 26-1267-75.

Рис 1.9 Опора горизонтальна.



|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
|     |      |         |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |



## 4 Організація монтажних та ремонтних робіт

У процесі тривалої роботи теплообмінні апарати піддаються забрудненню й зношуванню. Поверхня їх обкипає маслом, відкладеннями солей і смол, окиснюється й т. п. Зі збільшенням відкладень зростає термічний опір стінки й погіршується теплообмін. Зношування теплообмінного апарата виражається в такому: 1) зменшенні товщини стінки корпусу, днища, трубних ґрат; 2) опуклостях і вмятинах на корпусі й днищах; 3) свищах, тріщинах, прогарах на корпусі, трубках і фланцях; 4) збільшенні діаметра отворів для труб у трубних ґратах; 5) прогинах трубних ґрат і деформації трубок; 6) заклинюванні плаваючих головок й uszkodженні їхніх струбцин; 7) uszkodженні лінзових компенсаторів; 8) uszkodженні чепцевих пристроїв, каткових і пружинних опор; 9) порушенні гідро- і термоізоляції.

Підготовка до ремонту передбачає виконання таких заходів:

- 1) знижується надлишковий тиск до атмосферного і апарат звільняється від продукту;
- 2) відключається арматура і ставляться заглушки на всіх підвідних та відвідних трубопроводах;
- 3) проводиться продувка азотом або водяною парою із наступним промиванням водою і продувкою повітрям;
- 4) виконується аналіз на наявність отруйних і вибухонебезпечних продуктів;
- 5) складається план і отримується дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту; складається акт здачі в ремонт. Далі виконуються такі роботи:
  - 1) зняття кришок апарата, люків, демонтаж обв'язки й арматури;
  - 2) виявлення дефектів вальцювання й зварювання, а також цілісності трубок гідравлічним і пневматичним випробуваннями на робочий тиск;

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 50    |

3) часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення труб вальцюванням або зварюванням;

4) ремонт футерівки і антикорозійних покриттів деталей із частковою заміною;

5) ремонт або заміна арматури, що зносилася, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів;

6) зміна ущільнень розбірних з'єднань;

7) витягування трубок, чищення внутрішньої поверхні корпусу апарата й теплообмінних трубок, зачищення отворів у трубних решітках, зачищення кінців трубок;

8) заміна частини корпусу, днищ (кришок) і зношених деталей;

9) виготовлення нових трубок;

10) монтаж трубного пучка й вальцювання труб у решітках;

11) ремонт плаваючих голівок;

12) монтаж нарізних з'єднань;

13) гідравлічне випробування міжтрубною і трубною частин апарата пробним тиском;

14) пневматичне випробування апарата.

Основними конструктивними недоліками теплообмінних апаратів є такі:

1) велика трудомісткість розбирання-складання апарата при чищенні й заміні трубного пучка;

2) мала надійність вальцювальних з'єднань трубок із трубною дошкою;

3) складність ущільнення кришкою трубної дошки плаваючої голівки.

Відмови теплообмінників відбуваються в основному через пропускання продукту через вальцювальні з'єднання, через ущільнення кришки плаваючої голівки і через корозію труб трубного пучка. Найбільш трудомісткими операціями при ремонті теплообмінної апаратури є:

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 51    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |



її на причіп для транспортування на місце очищення й ремонту [13].

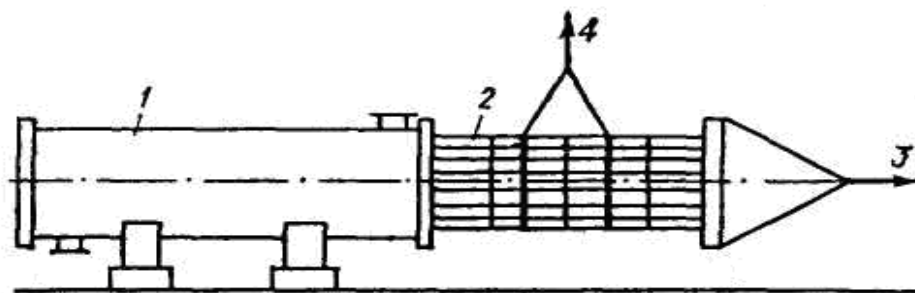


Рисунок 3.12 — Добування трубного пучка за допомогою лебідки й автомобільного крана:

1 – корпус теплообмінника; 2 – трубний пучок; 3 – строп до лебідки; 4 – строп до автомобільного крана

|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
|     |      |         |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |

XI.T.00.00.00.ПЗ

Аркуш

53















нагріву металевих заготовок, які знаходяться в горні, корпусу двигуна і ін. Інфрачервоні термометри здатні показати температури відкритого полум'я. Подібні пристрої застосовуються ще в десятках різних сфер.

### Прилади для вимірювання витрат

Для ефективного управління будь-яким процесом важливо вимірювати, приводити в дію, записувати і контролювати.

Основою вимірювань за допомогою електромагнітного витратоміра є закон індукції Фарадея, відповідно до якого при переміщенні провідника через магнітне поле в ньому наводиться напруга.

Цей принцип вимірювань застосовується до поданої по трубі провідної рідини, поперек напрямку руху - якій створюється магнітне поле (дивіться схему).

Наводима в рідині напруга вимірюється двома розташованими один навпроти одного електродами. Напруга сигналу  $U$  пропорційна магнітній індукції  $B$ , відстані між електродами  $D$  і середньої швидкості потоку рідини  $v$ .

Так як магнітна індукція  $B$  і відстань між електродами  $D$  є постійними величинами, напруга сигналу  $U$  пропорційна середньої швидкості потоку  $v$ . Рівняння визначення об'ємної витрати  $Q$  показує, що напруга сигналу  $U$  змінюється лінійно і пропорційна об'ємній витраті.

### Вихровий витратомір



Робота витратоміра заснована на використанні явища, що отримало у

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 60    |

фізиці назву "ефект Кармана". Під дією потоку біля кромки, поміщеної в потік перешкоди (тіла обтікання) виникають по обидва боки чергуючися вихори певної частоти пульсацій, так звана вихрова доріжка Кармана. У лінійному діапазоні частота появи вихорів за тілом обтікання залежить тільки від швидкості потоку, тобто від об'ємної витрати, і не залежить від щільності і в'язкості середовища. Частота пульсацій потоку вимірюється за допомогою п'єзодатчика, що перетворює імпульси тиску в електричні імпульси тієї ж частоти.

Пропорційний витраті частотний сигнал первинного перетворювача надходить у вторинний перетворювач для подальшої обробки та перетворення.

**ПРИКЛАДИ ПОБУДОВИ УМОВНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИБЛІДІВ І ЗАСОБІВ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ [16]**

| Ч.ч. | Зображення  | Найменування   |
|------|---|--|
| 1    |  | Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання температури, встановлений за місцем.<br><br>Наприклад, перетворювач термоелектричний (термопара), термперетворювач опору, термобалон манометричного термометра, датчики пірометра тощо |
| 2    |  | Прилад для вимірювання і показу температури, встановлений за місцем.<br><br>Наприклад, термометр рідинний, термометр манометричний тощо  |
| 3    |  | Прилад для вимірювання і показу температури, встановлений на щиті.<br><br>Наприклад, логометр, потенціометр, мілівольтметр тощо  |
| 4    |  | Прилад для вимірювання температури безшкальний із дистанційною передачею показань, встановлений за місцем.<br><br>Наприклад, термометр манометричний (або будь-який інший датчик температури), безшкальний із пневмо- або електропередачею                     |
| 5    |  | Прилад для вимірювання температури однокотковий, реєструючий, встановлений на щиті.<br><br>Наприклад, логометр, потенціометр тощо  |
| 6    |  | Прилад для вимірювання температури з автоматичним оббігаючим пристроєм, реєструючий, встановлений на щиті.<br><br>Наприклад, багатоточковий самописний потенціометр, міст автоматичний тощо  |



## **6 Охорона праці**

### **Служба охорони праці.**

Згідно зі ст. 15 Закону «Про охорону праці» така служба обов'язково повинна бути створена на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб у відповідності з Типовим положенням про службу охорони праці. Також має бути розроблено Положення про службу охорони праці цього підприємства, визначено структуру такої служби, її чисельність, основні завдання, функції та права її працівників.

На підприємствах з кількістю працівників менше 50 чоловік функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва (суміщення) особи, які мають відповідну підготовку. А на підприємствах з кількістю працівників менше 20 для виконання функцій служби охорони праці можуть на договірних засадах залучатися сторонні фахівці, які мають не менше трьох років виробничого стажу і пройшли навчання з охорони праці.

### **Положення, інструкції та інші акти з охорони праці.**

Обов'язок роботодавця – затвердити документи, які передбачені ст. 13 Закону «Про охорону праці». Вони повинні встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках і робочих місцях. Інструкції та інша документація з охорони праці розробляються на підставі положень законодавства з охорони праці, типових інструкцій та технологічної документації підприємства з урахуванням виду діяльності підприємства і конкретних умов праці на ньому, керівниками структурних підрозділів.

### **Інструктажі з питань охорони праці.**

Перед початком роботи нового працівника роботодавець згідно зі ст. 29 КЗпП зобов'язаний проінформувати його під розписку про умови праці, наявні на його робочому місці. У тому числі, про всі небезпечні чи шкідливі

|            |             |                |               |             |                         |              |
|------------|-------------|----------------|---------------|-------------|-------------------------|--------------|
|            |             |                |               |             | <i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i> | <i>Аркуш</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                         | 63           |

виробничі фактори, які ще не усунуто, та про можливі наслідки їх впливу на здоров'я працівника, а також про можливі пільги та компенсації за роботу в таких умовах.

Крім того, при прийнятті на роботу всі працівники повинні за рахунок роботодавця пройти вступний інструктаж, навчання, перевірку знань, первинний інструктаж на робочому місці, стажування і набуття навичок безпечних методів праці. Тільки після цього працівники допускаються до самостійної роботи. Вступний інструктаж проводить спеціаліст з охорони праці, а первинний – безпосередній керівник працівника. Надалі з працівниками повинні проводитися повторні інструктажі (раз на квартал при виконанні робіт підвищеної небезпеки або раз на півріччя), решту позапланові (при зміні правил охорони праці, зміни в обладнанні або при порушенні працівником правил охорони праці) та цільові інструктажі (зокрема, при разових роботах, не пов'язаних зі спеціальністю). Інформація про проведення інструктажів має вноситися до відповідного журналу, завірені підписом як того, кого інструктували, так і того, хто інструктував.

### **Навчання і перевірку знань з питань охорони праці.**

Згідно зі ст. 18 Закону «Про охорону праці» працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні щороку проходити навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Навчання з питань охорони праці таких працівників може проводитися як безпосередньо на підприємстві, так і іншим суб'єктом господарювання, що займаються таким навчанням. Перевірка знань працівників з питань охорони праці повинна здійснюватися відповідною комісією підприємства, склад якої затверджується керівником підприємства.

### **Проведення медичних оглядів.**

Згідно зі ст. 169 КЗпП роботодавець зобов'язаний за свої кошти організувати проведення попереднього (при прийнятті на роботу) та періодичних (протягом трудової діяльності) медоглядів працівників,

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 64    |





## Нещасні випадки.

Згідно зі ст. 22 Закону «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний організувати розслідування та вести облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій у порядку, встановленому постановою КМУ від 30.11.2011 р. № 1232. За результатами такого розслідування роботодавець повинен затвердити акт за формою Н-5 та Н-1 (якщо він визнаний пов'язаним з виробництвом).

Для кращого розуміння умов утворення горючого середовища, джерел запалювання, оцінки та попередження вибухопожежонебезпеки, а також вибору ефективних заходів і засобів систем пожежної безпеки, потрібно мати уявлення про природу процесу горіння, його форми та види.

### 1. Горіння й умови його виникнення

Горіння – екзотермічний процес, який охоплює окисно-відновні перетворення речовин і (або) матеріалів і характеризується наявністю летких продуктів і (або) світлового випромінювання. Для виникнення горіння необхідна одночасна наявність трьох чинників: горючої речовини, окисника та джерела запалювання. При цьому горюча речовина й окисник мають перебувати в необхідному співвідношенні один до одного й утворювати таким чином горючу суміш, а джерело запалювання мусить мати певну енергію та температуру, яка достатня для початку реакції. Горючу суміш визначають терміном "горюче середовище". Це – середовище, здатне самостійно горіти після видалення джерела запалювання. Для повного згоряння необхідна присутність достатньої кількості кисню, щоб забезпечити повне перетворення речовини на насичені оксиди. За недостатньої кількості повітря окислюється тільки частина горючої речовини. Залишок розкладається з виділенням великої кількості диму. У цих умовах також утворюються токсичні речовини, серед яких найбільш розповсюджений продукт неповного згоряння – оксид вуглецю

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 66    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |

(CO), який може призвести до отруєння людей. Слід зазначити, що горіння деяких речовин (ацетилену, оксиду етилену), які здатні при розкладанні виділяти велику кількість тепла, можливе й за відсутності окисника.

## 2. Види горіння

Горіння може бути гомогенним та гетерогенним. При гомогенному горінні речовини, що вступають у реакцію окислення, мають однаковий агрегатний стан – газо чи пароподібний. Якщо початкові речовини перебувають у різних агрегатних станах і наявна межа поділу фаз у горючій системі, то таке горіння називають гетерогенним. Пожежі переважно характеризуються гетерогенним горінням. У всіх випадках для горіння характерні три стадії: виникнення, поширення та згасання полум'я. Найбільш загальними властивостями горіння є здатність осередку полум'я пересуватися всією горючою сумішшю шляхом передачі тепла або дифузії активних часток із зони горіння у свіжу суміш. Звідси виникає й механізм поширення полум'я, відповідно – тепловий та дифузійний.

Горіння здебільшого проходить за комбінованим теплодифузійним механізмом. За швидкістю поширення полум'я горіння поділяють на: кінетичне (вибухове) – надзвичайно швидке хімічне перетворення, що супроводжується виділенням енергії й утворенням стиснених газів, здатних виконувати механічну роботу. Ця робота може призводити до руйнувань, які виникають під час вибуху у зв'язку з утворенням ударної хвилі – раптового стрибкоподібного зростання тиску.

При цьому швидкість полум'я досягає сотень метрів за секунду; дефлаграційне – кінетичне горіння, за якого швидкість поширення горіння не перевищує швидкості звуку (у межах декількох метрів за секунду); детонаційне – це горіння, яке поширюється із надзвуковою швидкістю, що сягає кількох тисяч метрів за секунду. Виникнення детонацій пояснюється

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 67    |

стисненням, нагріванням та переміщенням незгорілої суміші перед фронтом полум'я, що призводить до прискорення поширення полум'я та виникнення в суміші ударної хвилі, завдяки якій і здійснюється передача теплоти в суміші.

За походженням та деякими зовнішніми особливостями розрізняють такі форми горіння: спалах – короткочасне полуменеве горіння, яке не супроводжується виникненням ударної хвилі;

- загоряння – горіння, яке виникає під впливом джерела запалювання;
- займання – займання, що супроводжується появою полум'я;
- самозагоряння – загоряння внаслідок самонагрівання;
- самозаймання – займання внаслідок самонагрівання;
- тління – горіння без видимого світлового випромінювання, що зазвичай розпізнається за появою диму.

### **3. Етапи розвитку пожежі та зони горіння**

Етапи розвитку пожежі розглянемо на прикладах пожежі у звичайному приміщенні:

I етап пожежі – перетворення загоряння на пожежу, тривалість – 1–3 хв.

II етап пожежі – зростання зони горіння – 5–6 хв.

III етап пожежі – бурхливий процес горіння; температура всередині приміщення досягає 250–300 °С, починається об'ємний розвиток пожежі, коли полум'я заповнює весь об'єм приміщення і поширення полум'я проходить вже не поверхнею, а дистанційно – через розриви. Руйнування засклення. Тривалість – 6–9 хв. IV етап – як наслідок руйнування засклення,

|            |             |                |               |             |                         |              |
|------------|-------------|----------------|---------------|-------------|-------------------------|--------------|
|            |             |                |               |             | <i>XI.T.00.00.00.ПЗ</i> | <i>Аркуш</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                         | 68           |



небезпечні для життя та здоров'я людей. Під час пожежі зони перебувають у стані постійного динамічного переміщення та перекривають одна одну.

## **ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПОЖЕЖНУ НЕБЕЗПЕКУ І ПОЖЕЖУ. ПРИЧИНИ, КЛАСИ І НЕБЕЗПЕЧНІ ЧИННИКИ ПОЖЕЖІ**

### 1. Загальні відомості про пожежну безпеку і пожежу

Пожежна безпека об'єкта – сукупність чинників, які зумовлюють можливість виникнення та (або) розвитку пожежі (збільшення зони горіння та (або) ймовірності впливу небезпечних чинників пожежі) на об'єкті (ДСТУ 2272-2006 Пожежна безпека. Терміни і визначення основних понять).

Пожежа – позарегламентний процес знищення або пошкодження вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для живих істот і довкілля (ДСТУ 2272-2006 Пожежна безпека. Терміни і визначення основних понять).

Пожежі можна поділити на природні й антропогенні. До природних належать пожежі, що виникають унаслідок прямих ударів блискавки (розрядів атмосферної електрики), виверження вулканів, самозаймання торфу, вугілля тощо. Кількість таких пожеж незначна – менше 1%. Антропогенні пожежі безпосередньо або опосередковано пов'язані з людським чинником, тобто з пожежонебезпечною діяльністю людини або невтручанням людини для запобігання пожежонебезпечним ситуаціям. Такі пожежі виникають у 99 випадках із 100.

|      |      |         |        |      |                  |       |
|------|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|      |      |         |        |      | XI.T.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм.. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 70    |

## 2. Причини, класи та небезпечні чинники пожежі

Найпоширенішими причинами пожеж в Україні є необережне поводження з вогнем (понад 57 %); порушення правил монтажу та експлуатації електроприладів (20–25%); порушення правил монтажу та експлуатації приладів опалення (8–10%); пустощі дітей з вогнем (4–5%); підпали (2–4%); невстановлені та інші (1–3%). Із них 70–80% трапляється у житловому секторі, 3–4% – у промисловості, 1–2% на будівництві, 1–2% – у сільському господарстві, 2–3% на об'єктах торгівлі та складах, 1–3% – у місцях масового перебування людей. Хоча відсоток пожеж за кількістю у промисловості відносно невеликий, масштаб їхніх руйнівних наслідків є значно вищим.

Саме вони, створюючи загрозу життю та здоров'ю робітникам і мешканцям прилеглих територій здебільшого призводять до величезних матеріальних збитків, завдають шкоди навколишньому середовищу та можуть бути причиною екологічних катастроф. До основних причин пожеж на виробництві слід віднести: порушення правил монтажу й експлуатації електроустановок (25–30 %); необережне поводження з вогнем (25–35 %); порушення технологічного процесу виробництва (до 10 %); порушення правил пожежної безпеки при електрогазозварюванні та різанні металів, паяльних роботах, розігріванні бітуму та проведенні інших видів вогневих робіт (10–12 %); порушення правил монтажу й експлуатації приладів опалення (4–6 %); іскри теплового та механічного походження (до 2 %); підпали (2–3 %); інші причини (до 2 %).

Якщо синтезувати на підставі аналізу наявні причини пожеж і виділити головну з них, то ми легко впевнимосся, що переважна більшість пожеж виникає безпосередньо з вини людини або через необізнаність із правилами й вимогами пожежної безпеки, або внаслідок несвідомого, поверхового чи просто недбалого ставлення до їхнього виконання.

|      |      |         |        |      |                  |       |
|------|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|      |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм.. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 71    |











вибухопопередженням, вибухозахистом і організаційно-технічними заходами.

Усі виробничі процеси мають відповідати вимогам ГОСТ 12.1.076-76 і діючим нормам технологічного проектування, затвердженим в установленому порядку, а також нормам і правилам безпеки, затвердженим відповідними органами державного нагляду.

Конкретні вимоги вибухобезпечності до окремих виробничих процесів мають бути встановлені нормативно-технічною документацією на ці процеси. Параметрами і властивостями, що характеризують вибухонебезпеку середовища, є:

- температура спалаху; – мінімальний вибухонебезпечний уміст кисню (окислювача);
- концентраційні й температурні межі займання;
- мінімальна енергія запалення;
- температура самозаймання;
- нормальна швидкість розповсюдження полум'я;
- чутливість до механічної дії (удару й тертя).

Основними чинниками, що характеризують небезпеку вибуху, є:

- максимальний тиск і температура вибуху;
- швидкість наростання тиску при вибуху;
- тиск у фронті ударної хвилі;
- дроблячі і фугасні властивості вибухонебезпечного середовища.

Для забезпечення вибухобезпечного ведення виробничого процесу нормативно-технічною документацією на нього мають бути встановлені коефіцієнти безпеки. Небезпечними і шкідливими чинниками вибуху, що впливають на робітників підприємств, є:

- ударна хвиля, у фронті якої тиск перевищує допустиме значення;
- полум'я;
- конструкції, що обвалюються, устаткування, комунікації, будівлі та споруди, а також їхні частини, що розлітаються;



– контролем складу повітряного середовища й відкладень вибухонебезпечного пилу.

Запобігання утворенню вибухонебезпечного середовища усередині технологічного устаткування забезпечується:

- герметизацією технологічного устаткування;
- підтримкою складу та параметрів середовища поза місцем їхнього займання;
- застосуванням хімічно активних і флегматизуючих (інертних) добавок;
- конструктивними й технологічними рішеннями, прийнятими при проектуванні виробничого устаткування і процесів.

Запобігання виникненню джерела ініціації вибуху забезпечується:

- регламентацією вогняних робіт;
  - запобіганням нагріву устаткування до температури самозаймання вибухонебезпечного середовища;
  - застосуванням засобів, що знижують тиск у фронті ударної хвилі;
  - застосуванням матеріалів, що не створюють при зіткненні іскор, здатних ініціювати вибух вибухонебезпечного середовища;
  - застосуванням засобів захисту від атмосферної та статичної електрики, блукаючих струмів, струмів замикання на землю і т. п.;
  - застосуванням вибухозахищеного устаткування;
  - застосуванням швидкодіючих засобів захисного відключення
- МОЖЛИВИХ
- електричних джерел ініціації вибуху;
  - обмеженням потужності електромагнітних та інших випромінювань;
  - усуненням небезпечних теплових проявів хімічних реакцій і механічних дій.

### 3. Вимоги до вибухозахисту

Вибухозахист – заходи, що запобігають впливу на людей

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 78    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |

небезпечних і шкідливих чинників вибуху й забезпечують збереження матеріальних цінностей.

Запобігання впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що виникають внаслідок вибуху, і збереження матеріальних цінностей забезпечуються:

- установленням мінімальних кількостей вибухонебезпечних речовин, уживаних у цих виробничих процесах;
- застосуванням вогневих перешкод, гідрозасувів, водних і пилових заслонів, інертних (що не підтримують горіння) газових або парових завіс;
- застосуванням устаткування, розрахованого на тиск вибуху;
- обвалуванням і бункеруванням вибухонебезпечних ділянок виробництва або розміщенням їх у захисних кабінах;
- захистом устаткування від руйнування при вибуху за допомогою пристроїв аварійного скидання тиску (запобіжні мембрани та клапани);
- застосуванням швидкодіючих відсічних і зворотних клапанів;
- застосуванням систем активного придушення вибуху;
- застосуванням засобів попереджувальної сигналізації.

#### **4. Контроль за дотриманням вимог вибухобезпеки**

У виробничих процесах з метою забезпечення вибухобезпеки слід контролювати:

- виконання вимог забезпечення вибухобезпеки, перерахованих вище;
- параметри вибухонебезпеки початкових речовин;
- технологічний режим;
- склад атмосфери виробничих приміщень;
- технологічне устаткування;
- електроустаткування.

Параметри контролю вибухонебезпеки вибирати виходячи з умов

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 79    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |

проведення цього виробничого процесу відповідно до ГОСТ 12.1.044-89.

Зокрема слід визначити:

- концентраційні межі займання для газів і пари за ГОСТ 12.1.044-89;
- нижню концентраційну межу займання пилоповітряних сумішей за ГОСТ 12.1.044-89;
- температурну межу займання для рідин і легкоплавких речовин за ГОСТ 12.1.044-89;
- температуру спалаху в закритому тиглі й у відкритому тиглі за ГОСТ 12.1.044-89;
- температуру самозаймання для рідин і легкоплавких речовин за ГОСТ 12.1.044-89;
- чутливість до удару – за ГОСТ 4545-88.

У виробничих приміщеннях, гірських виробленнях і тому подібне контроль умісту вибухонебезпечних речовин у повітрі необхідно виконувати:

- у приміщеннях – періодично;
- у приміщеннях, де можливе скупчення викидів, проток газоподібних і рідких вибухонебезпечних речовин, – безперервно.

Технічний огляд і випробування технологічного устаткування з метою виконання вимог вибухобезпечності (міцність, герметичність і т. д.) слід здійснювати відповідно до діючих норм і правил, а також нормативно-технічної документації на цей процес.

Вибухозахищене електроустаткування слід вибирати й контролювати відповідно до Правил улаштування електроустановок, НАПБ Б.03.002-2007, а також норм і правил безпеки для цієї галузі народного господарства [14].

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  | 80    |





13. Яхненко С.М., Литвиненко А.В., Є.М. Піддубний Конспект лекцій по курсу: "Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв" для студентів спеціальності 7(8).090220 "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів" денної та заочної форм навчання.

14. Г. В. Фесенко КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ З ДИСЦИПЛІНИ ОСНОВИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ (для студентів 4 курсу денної форми навчання за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» спеціалізації «Охорона праці в будівництві»)

15. Братичак М.М., Гринишин О.Б. Технологія нафти та газу: навчальний посібник. Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2002. - 180 с.

16. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовних приладів і засобів. Автоматизація в схемах ДСТУ Б А.2.4-16:2008.

|     |      |         |        |      |                  |       |
|-----|------|---------|--------|------|------------------|-------|
|     |      |         |        |      | ХІ.Т.00.00.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |         |        |      |                  | 82    |
| Зм. | Арк. | № докум | Підпис | Дата |                  |       |