

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра «Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв»

**Кваліфікаційна робота бакалавра
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

Тема роботи: Ректифікаційна установка виробництва оцтової кислоти.
Розробити кожухотрубчастий теплообмінник для підігріву вихідної суміші
вода-оцтова кислота

Виконав:
студент групи ХМ61/НГ
Островерх А.М

Залікова книжка
№18510239
Захищений з оцінкою:

Керівник:
докт. техн. наук, професор Склабінський В.І

підпис

СУМИ 2020

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв»
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
Курс 4 Група ХМ61/НГ Семестр 4

ЗАВДАННЯ
до кваліфікаційної роботи бакалавра

Студенту Острроверху Артему Миколайовичу

1 Тема роботи Ректифікаційна установка виробництва оцтової кислоти.
Розробити кожухотрубчастий теплообмінник для підігріву вихідної суміші вода-оцтова кислота

2 Вихідні дані: Продуктивність по суміші 18000 кг/час При абсолютному тиску суміші вода-оцтова кислота $p_1 = 1 \text{ атм}$ а також її складу 30% води та 70% оцтової кислоти

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

- 1) Складальне креслення
 - 2) Технологічна схема
 - 3) Креслення вузлів або деталей апарату
- 4 Рекомендована література** 4480 Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» усіх форм навчання

| Етапи та розділи проектування | Тижні | | | | |
|-------------------------------|---------|---------------------|-----------------|------------------------|------|
| | 1-й,2-й | 3-й,4-й, 5-й,6-й | 7-й,8-й, 9-й | 10-й,11-й 12-й,13-й | 14-й |
| 1.Вступ | | | | | |
| 2.Технологічна частина | | | | | |
| 3.Розрахункова частина | | | | | |
| 4.Розробка креслень | | | | | |
| 5.Оформлення записки | | | | | |
| 6.Захист роботи | | | | | |

Дата видачі завдання:

Керівник

докт. техн. наук, професор
Склабінський В.І

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 58 с., 16 рис., 5таб.,2додатки,12джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки ,складальне креслення апарату,креслення деталей усього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра” Ректифікаційна установка виробництва оцтової кислоти. Розробити кожухотрубчастий теплообмінник для підігріву вихідної суміші вода-оцтова кислота”.

Наведені теоретичні основи та особливості процесу теплообміну ,виконані розрахунки матеріального та теплового балансів процесу,технологічні розрахунки апарату визначені його розміри, гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарату,підібране допоміжне обладнання.

На ПЕОМ проведений розрахунок на міцність та герметичність фланцевого з'єднання

Розрахунками на міцність та герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата.

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА,ОЦТОВА КИСЛОТА,ПІДГРІВАЧ КОЖУХОТРУБЧАТИЙ , РОЗРАХУНОК,МОНТАЖ,РЕМОНТ,ОХОРОНА ПРАЦІ.

Зміст

| | С. |
|---|-------|
| Вступ..... | 4 |
| 1. Технологічна частина..... | 6 |
| 1.1 Опис технологічної схеми виробництва..... | 6 |
| 1.2 Теоретичні основи процесу..... | 7 |
| 1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів..... | 8 |
| 2. Технологічні розрахунки процесу та апарату..... | 15 |
| 2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу..... | 15 |
| 2.2 Технологічні розрахунки..... | 16 |
| 2.3 Конструктивні розрахунки..... | 21 |
| 2.4 Гідравлічний опір апарату..... | 22 |
| 2.5 Вибір допоміжного обладнання..... | 23 |
| 3. Розрахунки апарата на міцності та герметичність..... | 30 |
| 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки..... | 30 |
| 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання..... | 34 |
| 3.3 Розрахунок опори апарату..... | 34 |
| 4. Монтаж та ремонт апарата..... | 41 |
| 4.1 Монтаж розробленого апарата..... | 41 |
| 4.2 Ремонт апарата..... | 43 |
| 5. Охорона праці..... | 53 |
| Список літератури..... | 58 |
| Додаток А..... | |
| Додаток Б..... | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------------|--|--|----------------|-------------|---------------|----|--|
| | | | | | ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ | | | | | | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | Підігрівач кожухотрубчатий | | | <i>Лит.</i> | <i>Лист</i> | <i>Листів</i> | | |
| Разраб. | | Островерх | | | | | | | | 3 | 54 | |
| Провер. | | Склабінський | | | | | | ХМ61/НГ | | | | |
| Реценз. | | | | | | | | | | | | |
| Н. Контр. | | | | | | | | | | | | |
| Утверд. | | | | | | | | | | | | |

Вступ

Розвиток хімічної промисловості є основою хімізації народного господарства. У зв'язку з цим, першорядного значення набувають розробки сучасних конструкцій машин і апаратів хімічних виробництв, інтенсифікації виробничих процесів, зниження вартості устаткування, розробка природоохоронних заходів, чому сприяє його правильний розрахунок і конструювання [1].

У хімічній промисловості здійснюються різноманітні процеси, в яких початкові матеріали в результаті хімічної взаємодії зазнають глибокі перетворення, що супроводжуються зміною агрегатного стану, внутрішньої структури і складу речовин. Разом з хімічними реакціями, що є основою хіміко-технологічних процесів останні зазвичай включають численні фізичні (у тому числі і механічні) і, хімічні процеси. До таких процесів відносяться: переміщення рідин і твердих матеріалів, подрібнення і класифікація останніх, стиснення і транспортування газів, нагрівання і охолодження речовин, їх перемішування, розділення рідких і газових неоднорідних сумішей випаровування розчинів, сушка матеріалів. При цьому спосіб проведення вказаних процесів часто визначає можливість здійснення, ефективність і рентабельність виробничого процесу в цілому. Таким чином, технологія виробництва найрізноманітніших хімічних продуктів і матеріалів (кислот і лугів, солей, мінеральних добрив фарбників, полімерних і синтетичних матеріалів, пластичних мас) включає ряд однотипних фізичних і хімічних процесів, що характеризуються загальними закономірностями. Ці процеси в різних виробництвах проводяться в аналогічних за принципом дії машинах і апаратах.

Процеси і апарати, загальні для різних галузей хімічної технології отримали назву основних процесів і апаратів. Наприклад, одним з основних процесів є теплообмін. Цей процес застосовується при отриманні багатьох речовин і продуктів.

Процеси теплообміну грають важливу роль в сучасній техніці. Особливо широко процеси теплообміну використовуються в хімічній, енергетичній, металургійній і харчовій промисловості.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 4 |

Теплообмінними апаратами називаються пристрої, призначені для передачі тепла від одного теплоносія до іншого при здійсненні різних теплових процесів: нагріванні, охолодженні, кипінні, конденсації. У промисловості використовуються різноманітні типи теплообмінного устаткування, проте найбільш широке застосування знаходять кожухотрубні теплообмінники. Ці теплообмінники не володіють особливою компактністю, але мають високу механічну міцність і можуть бути використані в різних областях. За винятком повітроохолоджувача з оребреними трубами спеціального призначення, це фактично єдиний пристрій, який можна застосовувати при великих площах поверхні теплообміну, тиску вище 2 МПа і температурах більш 250°C.

Як випливає з назви, кожухотрубчатий теплообмінник має кожух (судини високого тиску), що містить пучок труб, який кріпиться до нерухомої і задньої головок. Труби, що кріпляться до трубних дощок, можуть бути гладкими або оребреними і розташовуються паралельно подовжній осі кожуха.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 5 |

спеціальну ємність. Паровий дистилят виходить з верху колони та потрапляє до дефлегматора де повністю конденсується та відводиться до розподільвача після якого частина дистиляту відводиться до верху колони задля забезпечення продуктивності процесу а інша частина дистиляту надходить до холодильника в якому під впливом води дистилят охолоджується та направляється в спеціально відведену ємність.

1.2 Теоретичні основи процесу

Теплообмін (теплопередача) — фізичний процес передавання енергії у вигляді певної кількості теплоти від тіла з вищою температурою до тіла з нижчою температурою до настання термодинамічної рівноваги. Не можливо зупинити передачу тепла між сусідніми об'єктами з різними температурами — її можна лише сповільнити.

Теплопровідність — це явище передачі внутрішньої енергії від однієї частини тіла до іншої або від одного тіла до іншого за їхнього безпосереднього контакту. Зауважимо, що за явища теплопровідності не відбувається перенесення речовини. Різні речовини мають різну теплопровідність. Так, метали краще проводять тепло, ніж дерево, тому ручки сковорідок виготовляють з дерева чи пластмас. Серед металів високу теплопровідність мають срібло і мідь.

Теплоносії, що мають більш високу початкову температуру та віддають тепло в процесі теплообміну, при цьому охолоджуючись, називаються гарячими (нагрівальними). У хімічних і нафтопереробних виробництвах використовують багато різних нагрівальних теплоносіїв.

Теплоносії бувають прямі та непрямі. **Прямими** є такі теплоносії, що утворюються безпосередньо в процесі теплообміну, до них належать димові гази та електричний струм. **Непрямими** є теплоносії, які спочатку отримують нагріванням від прямих теплоносіїв, а також їх використовують в технологічному процесі як нагрівальні теплоносії. До них відносяться гарячі гази, рідини, водяну пару, пару інших речовин, розчини солей, розплави солей і металів та багато інших.

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

Вибір та використання того чи іншого теплоносія визначають його теплофізичними властивостями, температурним діапазоном, у якому його можна застосовувати, умовами безпеки та з економічних міркувань, у яких враховують як ціну енергоносія, так і капітальні витрати на обладнання та теплообмінну установку в цілому.

Водяна пара є найбільш широко застосовуваним теплоносієм здебільшого у діапазоні температур 100-200°C, що відповідає тиску грючої пари 0,1-1,6 МПа. Застосування водяної пари як гарячого теплоносія обумовлено цілим рядом переваг, основними з яких є нетоксичні властивості, висока питома теплота конденсації ($2,26 \cdot 10^3$ кДж/кг при атмосферному тиску), легкість транспортування у трубопроводах на далекі відстані. Використання пари при теплообміні забезпечує високі коефіцієнти тепловіддачі, рівномірність обігрівання поверхні теплообміну, легкість регулювання температури за допомогою зміни тиску. Як відомо, певній температурі конденсації відповідає визначений тиск насиченої водяної пари. Застосування водяної пари в теплообмінних апаратах хімічних виробництв при температурах, вищих за 200°C, вимагає підвищення її тиску вище 1,6 МПа, при цьому потрібно збільшувати товщину стінок корпусів теплообмінників.

Технологічну водяну пару на підприємствах хімічної та нафтопереробної промисловості одержують переважно на ТЕЦ, наявних майже на кожному підприємстві. На деяких технологічних установках водяну пару одержують як побічний продукт, що утворюється в результаті утилізації тепла реакції екзотермічних процесів. Використовують також вторинну (сокову) пару тиском 0,1-0,5 МПа, одержувану у результаті випаровування водяних розчинів солей. За необхідності підвищити тиск сокової пари, а отже і її температури конденсації, використовують термокомпресійні установки ежекторного або компресорного типу.

Нагрівання парою висококиплячих рідин. За необхідності розширити температурний діапазон нагрівання середовища до температур 250-380°C застосовують пари висококиплячих органічних теплоносіїв (ВОТ), які в зазначеному діапазоні температур киплять і випаровуються при порівняно невисокому тиску (0,1- 0,8 МПа).

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 8 |

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкторських матеріалів.

Апарат призначений для підігріву суміші вода – оцтова кислота

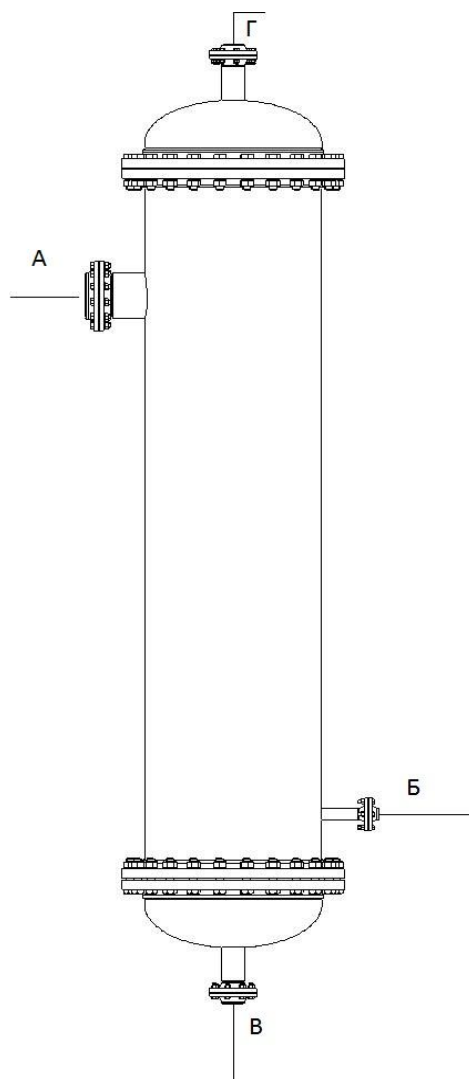


Рисунок 2 – Теплообмінник с нерухомою трубною решіткою.

Принцип дії

У корпусі розміщений трубний пучок, теплообмінні труби якого розвальцьовані в трубній решітці. Трубні грати жорстко сполучені з кожухом. З торців кожух апарату закритий днищами. Кожух і днища сполучені фланцями. Для підведення і відведення робочих середовищ

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 9 |

(теплоносіїв) апарат забезпечений штуцерами. По трубах рухається оцтова кислота, водяна пара — йде по міжтрубному простору.

По штуцеру А в міжтрубний простір поступає водяна пара яка поступово охолоджується і переходить в конденсат після чого виходить через штуцер Б.

Через штуцер В суміш води та оцтової кислоти поступає в трубний простір кожухотрубчатого теплообмінного апарату. Проходячи, по трубному простору, суміш нагрівають до температури кипіння, а потім вона виходить з апарату через штуцер Г.

Характеристика основних матеріалів

При виборі матеріалу повинні враховуватися наступні властивості: міцність, теплостійкість, середовище, фізичні властивості, технологічні характеристики, склад і структура матеріалу, вартість. Тому вибір матеріалу починається з уточнення робочих умов: температури, тиску, концентрації, оброблюваних речовин і інших чинників, що визначають можливість застосування того або іншого матеріалу.

Конструкційний матеріал повинен володіти високою хімічною стійкістю не тільки, щоб забезпечити необхідну довговічність апарату, матеріал може виявитися каталізатором, сприяючим перебігу побічних реакцій, що приводять до зменшення виходу основного продукту. Іншим критерієм є розрахункова температура стінок апарату, а також якщо ця

температура є позитивною, для апаратів встановлюваних на відкритому майданчику. Необхідно враховувати мінімальну температуру, при якій апарат зможе працювати [3].

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 10 |

Призначення сталі 08X13

Вид постачання – сортовий прокат, зокрема фасонний: ГОСТ 5949-75, ГОСТ 2590-71, ГОСТ 2591-71, ГОСТ 2879-69, ГОСТ 18968-73, ГОСТ 19442-74. Прутик, що калібрується, ГОСТ 7417-75, ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78. Шліфованій пруттик і сріблянка ГОСТ 14955-77, ГОСТ 18907-73. Лист товстий ГОСТ 7350-77. Лист тонкий ГОСТ 5582-75. Смуга ГОСТ 4405-75, ГОСТ 103-75, ГОСТ 18968-73. Поковки і ковані заготовки ГОСТ 1133-71, ГОСТ 18968-73, ГОСТ 25054-81. Сурми ГОСТ 9941-81, ГОСТ 9940-81.

Призначення – деталі з підвищеною пластичністю, що піддаються ударним загрузкам (клапани гідравлічних пресів, предмети домашнього ужитку), а також вироби, що піддаються дії слабо агрегатних середовищ (атмосферні осідання, водні розчини солей органічних кислот при кімнатній температурі та інші), лопатки парових турбін, клапани, болти і сурми. Сталь корозійностійка і жаростійка.

Таблиця 1 – Хімічний склад сталі в %.

| Si | Cu | Mn | Ni | Ti | P | S | Cr |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----------|
| не більше | | | | | | | |
| 0,8 | 0,3 | 0,8 | 0,6 | 0,2 | 0,03 | 0,025 | 12,0-14,0 |

Таблиця 2 – Механічні властивості.

| Термообробка, стан постачання | Перетин, м | $\sigma_{0,2}$ МПа | σ_B МПа | δ_5 , % | Ψ , % | КСУ, Дж/м ² | НВ |
|--|------------|--------------------|----------------|----------------|------------|------------------------|---------|
| Прутики. Гарт 1000-1050 °С, масло. Відпустка 700-800 °С, масло. | 60 | 410 | 590 | 20 | 60 | 98 | |
| Лісті гарячекатані або холоднокатані. Закалка 960-1020 °С, вода або повітря. Відпустка 680-780 °С, повітря або пекти. (Зразки поперечні) | >4 | 294 | 422 | 23 | | | |
| Поковки. Гарт 1000-1050 °С, масло. Відпустка 700-780 °С, масло. | <1000 | 392 | 539 | 14 | 35 | 49 | 187-229 |
| Лист. Гарт 1000-1002 °С. Без теплової витримки. | | 314-353 | 500-510 | 29-31 | 73-75 | 2352-2842 | |
| Відпустка 680-700 °С, 12ч. Теплова витримка 450 °С, 5000 ч. | | 310 | 490 | 35 | 74 | 227 | |

Технологічні властивості

Температура кування – качан 1220 °С, кінця 850 °С. Перетини до 300 мм охолоджуються в штабелях на повітрі.

Зварюваність – обмежено зварювана. Способі зварки: РДС, АДС під флюсом, АРДС і КТС. Підігрівши і термообробка застосовуються в залежності від методу зварки, вигляду і призначення конструкції.

Оброблюваність різанням – у загартованому і відпущеному стані при НВ 149-159 і $\sigma_B = 590$ МПа $K_{u12ep.cпл.} = 0,7$, $K_{u6.cт.} = 1,4$.

Схильність до відпускнуї здатності – схильна при температурах 400-500 °С.[11]

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 12 |

Призначення сталі сталь Вст3пс

Опора лапа, недотична з робочим середовищем виготовляється із сталі Вст3пс.

Вид постачання – лист тонкий ГОСТ 19903-74.

Призначення – елементи зварних і незварних конструкцій і деталей, що працюють при позитивних температурах, що несуть і не несуть. Фасонний і листовий прокат (5-ї категорії) завтовшки до 10 мм для елементів зварних конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях в інтервалі від, що несуть -40°C до $+425^{\circ}\text{C}$. Прокат від 10 до 25 мм – для елементів зварних конструкцій, що працюють при температурі від, що несуть -40°C до $+425^{\circ}\text{C}$ за умови постачання із зварюваністю, що гарантується.

Таблиця 3 – Хімічний склад % (ГОСТ 380-94).

| C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Cu | As |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|------|------|
| | | | не більше | | | | | |
| 0,14-0,22 | 0,40-0,65 | 0,05-0,17 | 0,04 | 0,05 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,08 |

Таблиця 4 – Механічні властивості.

| ГОСТ | Стан постачання | Перетин, мм | $\sigma_{0,2}$, МПа | σ_b , МПа | δ , % |
|--------|----------------------|-------------|----------------------|------------------|--------------|
| 380-94 | Прокат гарячекатаний | До 20 | 245 | 370-480 | 26 |

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

13

Таблиця 5 – Ударна в'язкість КСУ, Дж/см² (ГОСТ 380-94).

| Вид прокату | Напрямок вирізки зразку | Перетин, мм | +20 ⁰ С | -20 ⁰ С | Після механічного старіння |
|-------------|-------------------------|-------------|--------------------|--------------------|----------------------------|
| Лист | Поперечне | 5-9 | 78 | 39 | 39 |

Технологічні властивості

Температура кування °С: почала 1300, кінця 750. Охолодження на повітрі.

Зварюваність – зварюються без обмежень; способи зварки: ручна дугова зварка, автоматична дугова зварка під флюсом і газовим захистом, електрошлакова зварка і контактна зварка. Для товщини понад 36 мм рекомендується підігрів і подальша термообробка.

Оброблюваність різанням – в гарячекатаному стані при НВ 124 і $\sigma_B = 400$ МПа.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.[11]

Характеристика робочих речовин

Водяна пара — газоподібний стан води. Не має кольору, смаку і запаху. Міститься в тропосфері. Утворюється молекулами води при її випаровуванні. При надходженні водяної пари в повітря він, як і всі інші гази, створює певний тиск, що називається парціальним. Він виражається в одиницях тиску — паскалях. Водяна пара може переходити безпосередньо в тверду фазу — на кристали льоду. Кількість водяної пари, що міститься в 1 кубічному метрі, називають абсолютною вологістю повітря.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 14 |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпись | Дата | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Оцтова кислота – це концентрований оцет, знайомий людству з давніх часів. Його виготовляли шляхом бродіння вина, тобто вуглеводів та спиртів. За фізичними властивостями оцтова кислота-безбарвна рідина з кислим смаком і різким запахом. Попадання рідини на слизові оболонки викликає хімічний опік. Оцтова кислота має гідроскопічність, тобто здатна поглинати водяні пари. Добре розчинна у воді.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 15 |

2. Технологічні розрахунки процесу та апарата.

2.1 Визначення основних температур процесу та теплове навантаження апарату.

Прийmemo як підігрівач виносний вертикальний кожухотрубчатий теплообмінник. Суміш подамо в трубний простір, а в між трубне – насичена водяна пара. Продуктивність по суміші 18000 кг/час

При абсолютному тиску суміші вода-оцтова кислота $p_1 = 1 \text{ атм}$ а також її складу 30% води та 70% оцтової кислоти приймаемо температуру кипіння розчину $t_{\text{кип}} = 107,5^\circ\text{C}$ [1]

Тиск конденсуючої пари відповідно $p_2 = 2,1 \text{ атм}$.

Температура конденсуючої пари буде:

$$t_{\text{кон}} = 122,5^\circ\text{C}.$$

$\rho_{\text{пар}} = 0,943 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина водяного пару при температурі

$$t_{\text{кон}} = 122,5^\circ\text{C} \text{ [1]}$$

$$G = 18000 \text{ кг/ч} = 5 \text{ кг/с} = (5/1000) = 0,005 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q = G \times c(t_{\text{кип}} - t_{\text{нач}}) = 5 \cdot 2723,5 \cdot (107,5 - 20) = 1191531 \text{ Вт} \quad (1)$$

Де c – питома теплоємність розчину

$$c = x_1 \cdot c_1 + x_2 \cdot c_2 = 0,3 \cdot 4190 + 0,7 \cdot 2095 = 2723,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad (2)$$

c_1, c_2 – відповідно питомі теплоємності води та оцтової кислоти

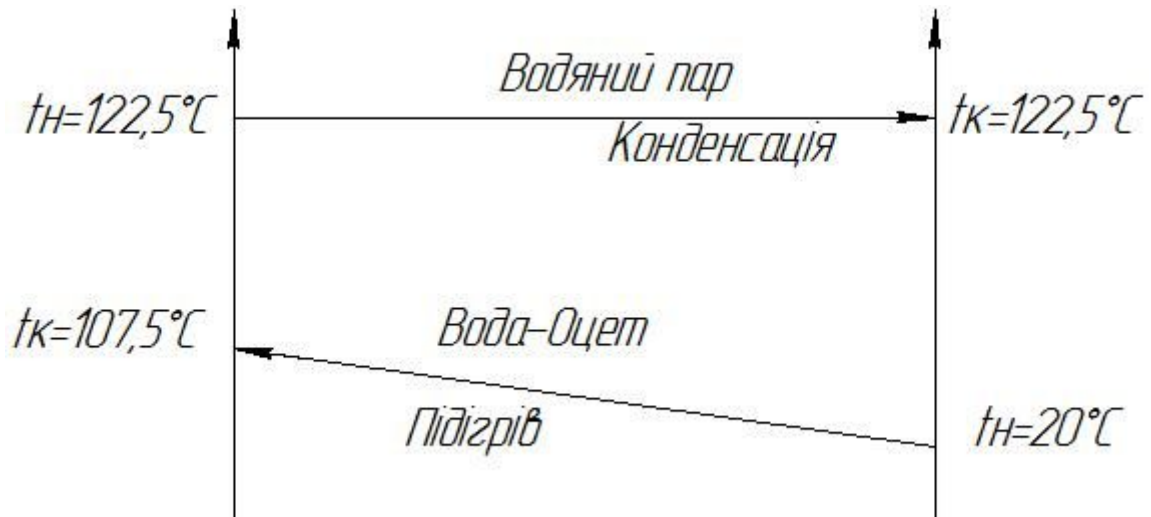
Витрата водяної пари визначається з рівняння теплового балансу кип'ятильника без урахування втрат тепла в навколишнє середовище

$$G_{\text{п}} = \frac{Q}{r_{\text{вод}}}; \quad (3)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 16 |

де: $r_{\text{пар}}$ – питома теплота паротворення водяної пари ($t_{\text{кон}} = 122,5^{\circ}\text{C}$) $r_{\text{вод}} = 2181 \text{ кДж/кг}$ [1]

$$G_{\text{II}} = \frac{1191531}{2181 \cdot 10^3} = 0,54 \text{ кг/с}$$



Визначаємо середню різницю температур

$$\Delta t_1 = t_{\text{кон}} - t_{\text{кип}} = 122,5 - 107,5 = 15^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_2 = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}} = 122,5 - 20 = 102,5^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{107,5}{15} = 6,8^{\circ}\text{C} > 2 \text{ тоді } \Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \lg \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{102,5 - 15}{2,3 \times \lg \frac{102,5}{15}} = 45,8^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

2.2 Технологічні розрахунки

Густина визначаємо з [1]

$\rho_1 = 977,4 \text{ кг/м}^3$ - густина води;

$\rho_2 = 1010 \text{ кг/м}^3$ - густина оцтової кислоти

$$\frac{1}{\rho_{\text{см}}} = \frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} = \frac{0,3}{977,4} + \frac{0,7}{1010} = 0,001 \quad (6)$$

$$\rho_{\text{см}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

17

Коефіцієнт тепло провідності виписуємо з [1]

$\lambda_1 = 0,66 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ - коефіцієнт теплопровідності води

$\lambda_2 = 0,16 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ - коефіцієнт теплопровідності оцтової кислоти

$$\lambda_{\text{см}} = x_1\lambda_1 + x_2\lambda_2 = 0,7 \cdot 0,66 + 0,3 \cdot 0,16 = 0,51 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \quad (7)$$

Теплоємність була визначена при розрахунку теплового навантаження

Визначаємо динамічний коефіцієнт в'язкості з [1]

$\mu_1 = 0,23 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ - динамічний коефіцієнт в'язкості води

$\mu_2 = 0,42 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ - динамічний коефіцієнт в'язкості оцтової кислоти

$$\mu_{\text{см}} = \mu_1^{0,7} \cdot \mu_2^{0,3} = 0,23^{0,7} \cdot 0,42^{0,3} = 0,27 \text{ мПа}\cdot\text{с} \quad (8)$$

Орієнтований вибір теплообмінника

Задаємося коефіцієнтом теплопередачі K з ряду $K=120-340 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$K=120$ по[1]

Орієнтована площа теплообміну

$$F' = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{1191531}{120 \cdot 45,8} = 217 \text{ м}^2 \quad (9)$$

Тоді по [12] обираю орієнтований апарат з такими характеристиками

$D_{\text{вн}} = 800 \text{ мм}$

$l = 6000 \text{ мм}$

$F = 219 \text{ м}^2$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 18 |

$$n = 465$$

$$Z=1$$

$$f_{\text{ТР}} = 0,161\text{м}^2$$

$$f_{\text{МТР}} = 0,079\text{м}^2$$

Визначаємо фактичну швидкість холодного теплоносія в трубах $w_x =$

$$\frac{V_x}{f_{\text{ТР}}} = \frac{0,005}{0,161} = 0,031\text{м/с} \quad (10)$$

Визначаємо режим течії рідини в трубному просторі за допомогою критерія Рельнольдса

$$Re_x = \frac{w_x \cdot d_b \cdot \rho_x}{\mu_x} = \frac{0,031 \cdot 0,021 \cdot 1000}{0,00027} = 2411 \quad (11)$$

$Re = 2300 < 2411 < 10000$ – режим руху перехідний

Визначаємо критерій Нуссельта

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \quad (12)$$

де Pr – критерій Прандтля

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} \quad (13)$$

$$Pr_x = \frac{\mu_x \cdot c_x}{\lambda_x} = \frac{0,00027 \cdot 2723,5}{0,51} = 1,44$$

$$Nu_x = 0,008 \cdot Re_x^{0,9} \cdot Pr_x^{0,43} = 0,008 \cdot 2411^{0,9} \cdot 1,44^{0,43} = 10,3 \quad (14)$$

Розраховуємо коефіцієнт тепловіддачі для холодного теплоносія

$$\alpha_x = Nu_x \cdot \frac{\lambda_x}{d_b} = 10,3 \cdot \frac{0,51}{0,021} = 250 \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (15)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 19 |

Оскільки водяний пар конденсується для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі застосовуємо формулу [5.с.161]

$$a_r = 1,15 \sqrt[4]{\frac{\lambda_r \cdot \rho^2 \cdot g \cdot r_{\text{пар}}}{\mu_r \cdot \Delta t \cdot H}} = \sqrt[4]{\frac{0,69^3 \cdot 0,943^2 \cdot 9,81 \cdot 2181 \cdot 10^3}{0,000232 \cdot 2 \cdot 4}} = 290 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (16)$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі (без забруднень)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_r} + \frac{\sigma_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{a_x}} = \frac{1}{\frac{1}{290} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{250}} = 133,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (17)$$

Де $\lambda_{\text{ст}}$ - коефіцієнт теплопровідності стали $\lambda_{\text{ст}} = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C})$

[1].

Після розрахунку фактичного коефіцієнта теплопередачі знову визначаємо розрахункову поверхню теплообміну з основного рівняння теплопередачі

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{1191531}{133,5 \cdot 45,8} = 195 \text{ м}^2 \quad (18)$$

За розрахунковою поверхнею остаточно обираємо теплообмінник з [12]

Коротка технічна характеристика апарату:

| | |
|------------------------------------|--------|
| Діаметр кожуха внутрішній, мм | – 800 |
| Тиск в кожусі, умовний, МПа | – 0,1 |
| Діаметр гладких труб зовнішній, мм | – 25 |
| Товщина стінки труби, мм | – 2 |
| Довжина труби, мм | – 6000 |
| Число ходів теплоносія по трубах | – 1 |

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 20 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ | | | | |

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Площа перетину труб для одного ходу | |
| по трубах м ² | - 0,161 |
| між трубами м ² | - 0,079 |
| Загальна кількість труб ,21ер. | - 465 |
| Поверхня теплообміну, м ² | - 219 |

2.3 Конструктивні розрахунки

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв :

для рідин 0,1 ... 0,5 м/с при протіканні

для пара 20 ... 40 м/с;

Визначення діаметрів штуцерів

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}}; \quad (19)$$

ω – швидкість руху пари і рідини, м/с.

Діаметр введення суміші вода-оцтова кислота

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 0,05}} = 0,112 \text{ м};$$

Приймаємо діаметр штуцера введення та виведення суміші

$$d_1 = d_2 = 100 \text{ мм.}$$

Діаметр штуцера для входу водяного пару в апарат

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 21 |

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,57}{3,14 \cdot 20}} = 0,190 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера для входу $d_3 = 200$ мм

Діаметр штуцера для виходу водяного пару з апарату

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0005}{3,14 \cdot 20}} = 0,056 \text{ м}$$

Приймемо діаметр штуцера для виходу водяного конденсату $d_4 = 50$ мм

2.4 Гідравлічний опір апарату

$$w_x = \frac{V_x}{f_{\text{тр}}} = \frac{0,005}{0,161} = 0,031 \text{ м/с} \quad (20)$$

Величина критерію Re

$$Re_x = \frac{w_x \cdot d_v \cdot \rho_x}{\mu_x} = \frac{0,031 \cdot 0,021 \cdot 1000}{0,00027} = 2411$$

$Re = 2300 < 2411 < 10000$ – режим руху перехідний

Для перехідного руху пара в круглих трубах коефіцієнт тертя

$$\varphi = \frac{0,316}{Re^{0,25}} = \frac{0,316}{2411^{0,25}} = 0,04 \quad (21)$$

Коефіцієнти лінійних опорів:

Вхідна і вихідна камера $\xi_1 = 1,5$,

Вхід в труби або вихід з них $\xi_2 = 1,0$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 22 |

Втрата тиску на тертя в прямих трубах

$$\Delta P_{\text{тр}} = \left(\varphi \cdot \frac{L \cdot z}{d_{\text{вн}}} + 2,5 \cdot z + 0,5 \right) \cdot \frac{w_x^2 \cdot \rho_x}{2} \quad (22)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \left(0,04 \cdot \frac{6 \cdot 1}{0,021} + 2,5 \cdot 1 + 0,5 \right) \cdot \frac{0,031^2 \cdot 1000}{2} = 7,89 \text{ Па}$$

2.5 Вибір допоміжного обладнання.

Виходячи з технологічної схеми для роботи та забезпечення процесу теплообміну апарат забезпечений допоміжним обладнанням.

Насоси. Основним параметром будь-якого насоса є продуктивність, напір, та потужність.

В хімічній промисловості важливе значення має транспортування рідких або газових продуктів по трубопроводах як в апараті так між апаратами та установками. При переміщенні по горизонтальним трубопроводам ті з нижчого рівня на вищій застосовують насоси.

Насоси – гідравлічні машини які перетворюють механічну енергію двигуна в енергію пересувної рідини ,підвищуючи її тиск. Різниця тисків рідини в насосі та в трубопроводі забезпечує рух рідини.[3]

Відцентрові насоси .В відцентрових насосах всмоктування та нагнітання відбувається рівномірно та без перервно за рахунок відцентрової сили, виникаючої при крученні робочого колеса з лопатками, заключного в спіралеподібному корпусі.

В одноступеневому відцентровому насосі рідина з всмоктую чого трубопроводу 1 поступає вздовж осі робочого колеса 2 в корпус 3 насоса і, потрапляючи на лопатки 4, набуває обертальний рух. Відцентрова сила відкидує рідину в канал змінного розрізу між корпусом та робочим колесом в якому швидкість рідини зменшується до значення рівного швидкості в нагнітаючому трубопроводі 5. При цьому як слідує з рівнянь Бернуллі

,відбувається перетворення кінетичної енергії потоку рідини в статичний напір, що забезпечує підвищення тиску рідини. На вході в колесо утворюється понижений тиск, і рідина з є'мності безперервно поступає до насосу.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 23 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

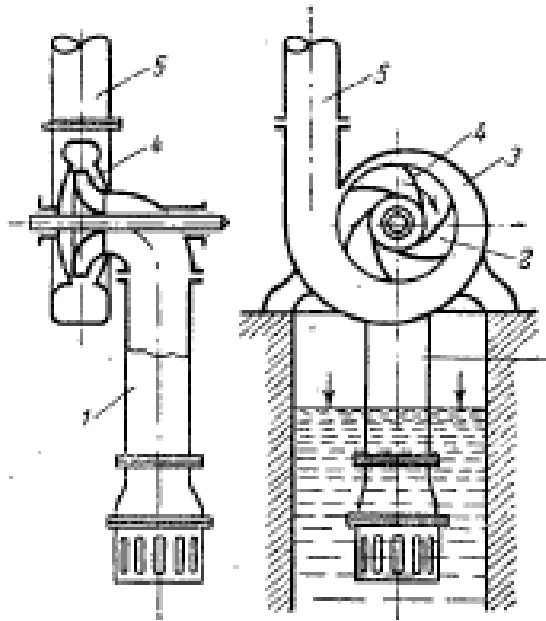


Рисунок 3 – Схема Відцентрового насосу

1-Всмоктувальний трубопровід, 2-робоче колесо,

3-корпус,4-лопатки,5-нагнітаючий трубопровід

Тиск ,в відцентровому насосі залежить від швидкості оборотів робочого колеса. Внаслідок значних зазорів між колесом та корпусом насосу розрідження, виникаюче при обертання колеса, недостатньо для підйому рідини по всмоктувальному трубопроводі, якщо він та корпус насосу не залиті рідиною. Тому перед запуском відцентровий насос заливають рідиною . Для того щоб рідина не виливалась з насосу та всмоктувального трубопроводу при заливі насосу або при короткочасних його зупинках,на кінці всмоктувальної труби,зануреної в рідину, встановлюють зворотний клапан, знаряджений сіткою .

Виконаємо розрахунок відцентрового насоса для подачі вихідної суміші в теплообмінник

Витрата суміші вода-оцтова кислота

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{5}{1040} = 0,0048 \text{ м}^3/\text{с}.$$

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

24

У підігрівачу під атмосферним тиском 0,1МПа. Температура вихідної суміші 20°C; геометрична висота підйому 6 м. Довжина трубопроводу на лінії всмоктування 3 м, на лінії нагнітання 10 м. На лінії всмоктування встановлений один нормальний вентиль, на лінії нагнітання - один нормальний вентиль і дрос-польова заслінка, є також два коліна під кутом 90°. Прийmemo швидкість суміші у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однаковою, рівною 1 м/с. Тоді діаметр трубопроводу

одинаковий, рівний 1 м/с. Тоді діаметр трубопроводу

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}}, \quad (23)$$

де ω – швидкість суміші, м/с;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0048}{3,14 \cdot 1}} = 0,078 \text{ м.}$$

Приймаємо трубопровід зі сталі марки 12Х13.

Визначаємо величину критерію Re

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}. \quad (24)$$

$$Re = \frac{1 \cdot 0,078 \cdot 1040}{1,19 \cdot 10^{-3}} = 68168,$$

отже - режим руху турбулентний.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 25 |

Приймаємо абсолютну шорсткість стінок труб, $e = 0,2$ мм , степінь шорсткості

$$\frac{d}{e} = \frac{78}{2} = 39.$$

По рис 1.5 [4] знаходимо значення коефіцієнта тертя.

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів [4]:

для всмоктуючої лінії

- вхід в трубу $\varepsilon = 0,5;$

- нормальний вентиль, для $d = 0,054$ мм, $\varepsilon = 5,4;$

$$\Sigma\varepsilon_{\text{вс}} = 0,5 + 5,4 = 5,9;$$

для нагнітальної лінії

- вихід з труби $\varepsilon = 1,0;$

- нормальний вентиль $\varepsilon = 5,4;$

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

- коліно під кутом 90^0 $\varepsilon = 1,6.$

Отже,

$$\Sigma\varepsilon_{\text{н}} = 1 + 5,4 + 0,9 + 2 \cdot 1,6 = 10,5$$

Визначаємо втрати напору:

у всмоктувальній лінії

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 26 |

$$h_{\text{вс}} = \left(0,031 \cdot \frac{3}{0,078} + 5,9\right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,36 \text{ м.}$$

нагнітальної лінії

$$h_{\text{наг}} = \left(0,031 \cdot \frac{20}{0,078} + 10,5\right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,59 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору

$$h_n = 0,36 + 0,59 = 0,95 \text{ м.}$$

Визначаємо повний напір [4]

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + H_r + h_n \quad (25)$$

где Δp – надлишковий тиск, Па; H_r - геометричний напір.

$$H = \frac{0,18 \cdot 10^6}{1040 \cdot 9,81} + 6 + 0,95 = 24,6 \text{ м.}$$

Корисна потужність насоса

$$N_n = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot V}{1000} \quad (26)$$

де V – витрата суміші, м³/с;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 27 |

$$N_{\text{п}} = \frac{1040 \cdot 9,81 \cdot 24,6 \cdot 0,0048}{1000} = 1,20 \text{ кВт.}$$

Потужність на валу двигуна

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

(2.33)

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

$$N_{\text{дв}} = \frac{1,2}{0,6 \cdot 1} = 2 \text{ кВт.}$$

Установча потужність двигуна з урахуванням пускових моментів

$$N_{\text{уст}} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,8} = 3 \text{ кВт.}$$

Встановлюємо при $V = 0,0048 \text{ м}^3/\text{с} = 17,28 \text{ м}^3/\text{г}$ відцентровий насос марки ХМ 50-32-125К-5 з наступною характеристикою: подача $18,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, напір 20 м. Насос забезпечений електродвигуном номінальною потужністю 4 кВт

Далі здійснюємо вибір проміжної ємності для суміші вода-оцтова кислота, пред-призначеної для забезпечення безперебійної подачі суміші в підігрівач.

Приймаємо, що запас суміші в проміжній ємності повинен забезпечувати його подачу в перебігу години, тобто необхідна ємність судини

$$V = V_{\text{н}} \cdot 3600 = 0,0048 \cdot 3600 = 17,28 \text{ м}^3.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| | | | | | | 28 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Зазвичай співвідношення довжини L судини до його діаметру D

$$\frac{L}{D} = 2 \div 3,$$

тоді при прийнятому співвідношенні

$$L = 2,5 \cdot D$$

визначимо діаметр судини.

маємо

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2,5 \cdot D = 17,28 \text{ м}^3,$$

звідки діаметр судини

$$D = \sqrt[3]{\frac{17,28 \cdot 4}{3,14 \cdot 2,5}} = 2 \text{ м.} \quad (27)$$

Приймаємо стандартне значення внутрішнього діаметра посудини $D = 2000$ мм.

Тоді довжина обичайки судини

$$L = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 17,28}{3,14 \cdot 2^2} = 5,5 \text{ м,}$$

приймаємо $L = 6$ м.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| | | | | | | 29 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

3. Розрахунок апарату на міцність та герметичність .

3.1 Визначення товщини стінки апарату, кришки.

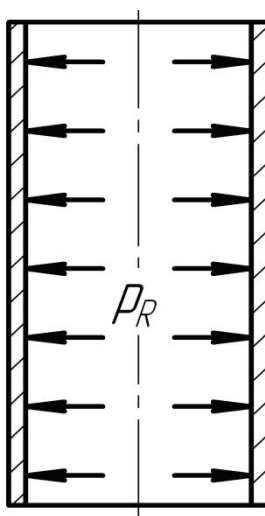


Рисунок 5 – Схема вантаження обичайки внутрішнім тиском.

Розрахункова товщина стінки циліндрової обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім надмірним тиском, згідно ГОСТ 14249 – 89, визначаємо по формулі:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_R \cdot D_s}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p_a} \\ \frac{p_{пр} \cdot D_s}{2 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi - p_{пр}} \end{array} \right\};$$

де: p_R – розрахунковий тиск в апараті, $P_p + \rho gh = 0,21 + 0,06 = 0,27$ МПа.

$[\sigma]$ – напруга, що допускається, сталі при розрахунковій температурі $122,5\text{C } [^\circ] = 171,3$ МПа [ГОСТ 14249-89];

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

30

D_B – внутрішній діаметр циліндрової обичайки, $D_B = 0,8$ м;

φ - коефіцієнт міцності зварного з'єднання, при стиковому шві доступному до зварки тільки з одного боку і що має в процесі зварки металеву підкладку, з боку кореня шва, прилеглу по всій довжині шва до основного металу $\varphi = 1$ (при 100% контролі шва).

$P_{пр}$ – випробувальний тиск при гідравлічних випробуваннях, що розраховується по формулі:

$$p_{пр} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot P_R \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ P_R + 0,3 \end{array} \right. \quad (28)$$

де: $[\sigma]_{20}$ – напруга, що допускається, сталі 08X13 при температурі 20С ° $[\sigma]_{20} = 276$ МПа [3. 31ере . 1.3, с. 11];

$$p_{пр} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,27 \cdot \frac{250,9}{171,3} \\ 0,27 + 0,3 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,49 \\ 0,57 \end{array} \right\} = 0,57 \text{ МПа};$$

Напруга, що допускається, при гідравлічних випробуваннях.

$$[\sigma]_{пр} = \frac{\sigma_{T20}}{1,1}; \quad (29)$$

де: $\sigma_{T20} = 276$ МПа - прибудова текучості для сталі 08X13 при $t = 20\text{С}^\circ$

[3. 31ере .3.8 с. 41].

$$[\sigma]_{пр} = \frac{276}{1,1} = 250 \text{ МПа}.$$

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,27 \cdot 800}{2 \cdot 171,3 \cdot 1 - 0,27} \\ \frac{0,57 \cdot 800}{2 \cdot 250,9 \cdot 1 - 0,57} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,63 \\ 0,9 \end{array} \right\} = 0,90 \text{ мм}. \quad (30)$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 31 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ | | | | |

Виконавча товщина стінки циліндрової обичайки корпусу в першому наближенні визначається по формулі:

$$s = s_p + c; \quad (31)$$

де: c – надбавка до розрахункової товщини стінки циліндрової обичайки визначається по формулі:

$$c = c_1 + c_2 + c_3; \quad (32)$$

де: c_1 – надбавка для компенсації корозії і ерозії:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau_e + c_3; \quad (33)$$

де: c_3 – надбавка для компенсації ерозії, $c_3 = 0$, оскільки згідно рекомендаціям враховувати дію середовища на деталі в хімічних апаратах рекомендується тільки при $\omega > 20$ м/с;

Π – проникність середовища в матеріал (швидкість корозії)

$\Pi = 0,1$ мм/рік [4. С.292];

τ_e – термін служби апарату, $\tau_e = 20$ років.

$$c_1 = 0,1 \cdot 20 + 0 = 2 \text{ мм};$$

c_2 – надбавка для компенсації мінусового допуску, $c_2 = 0$;

c_3 – технологічна надбавка для компенсації стоншування стінки, $c_3 = 0$.

Таким чином $c = c_1 = 2$ мм.

$$s > 0,9 + 2 = 2,9 \text{ мм}.$$

Конструктивно приймаємо більше стандартне значення, із стандартного ряду при $D_b = 800$ мм по ГОСТ 9929-82 $S = 6$ мм.

Тиск, що допускається, для обичайки

Внутрішній тиск, що допускається, для обичайки:

$$[p]_o = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - c)}{D_g + (s - c)}; \quad (34)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| | | | | | | 32 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$[\rho]_o = \frac{2 \cdot 171,3 \cdot 1 \cdot (6 - 2)}{800 + (6 - 2)} = 1,7 \text{ МПа} > 0,27 \text{ МПа} - \text{умова виконується.}$$

Розрахунок товщини кришки

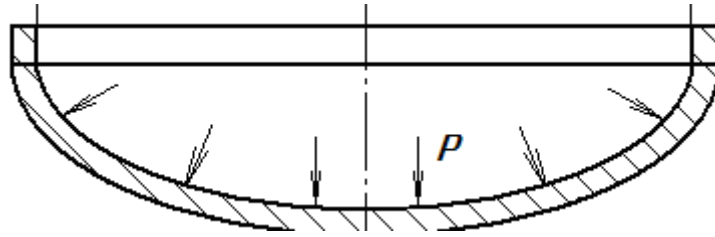


Рисунок 6 – Схема вантаження еліптичного днища внутрішнім тиском.

Виконавча товщина еліптичної кришки:

$$s_p = \max \left\{ \frac{\rho_2 \cdot D_e}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \rho_2}; \frac{\rho_{u2} \cdot D_e}{2 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi - 0,5 \rho_{u2}} \right\}; \quad (35)$$

де: ρ_a – розрахунковий тиск в трубному просторі, $P_p + \rho g h = 0,1 + 0,06 = 0,16$ МПа.

$[\sigma]$ – напруга, що допускається, сталі 08Х13 при розрахунковій температурі $107,5\text{C} [^\circ] = 173 \text{ МПа}$ [11];

D_b – внутрішній діаметр циліндрової обичайки, $D_b = 0,8 \text{ м}$.

$$P_{np} = 1,25 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma^{20}]}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,16 \cdot \frac{250,9}{173} = 0,29 \text{ МПа}$$

$$s_p = \frac{0,16 \cdot 800}{2 \cdot 173 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,16} = 0,37 \text{ мм} \quad \max = 0,46 \text{ мм}$$

$$\frac{0,29 \cdot 800}{2 \cdot 250,9 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,29} = 0,46 \text{ мм}$$

$$s = 0,46 + 0,5 + 2 = 2,96 \text{ мм.}$$

Приймаємо $s_{кр} = 6 \text{ мм}$.

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

Тиск, що допускається, для кришки

Внутрішній тиск, що допускається, для кришки:

$$[p]_{кр} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_{кр} - c)}{D_в + 0,5 \cdot (s_{кр} - c)} = \frac{2 \cdot 173 \cdot 1 \cdot (6 - 2)}{800 + 0,5 \cdot (6 - 2)} = 1,72 \text{ МПа.} \quad (36)$$

$[p]_{кр} > p_a$, т.е $1,72 \text{ МПа} > 0,16 \text{ МПа}$.

3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Розрахунок фланцевого з'єднання виконано в програмі ПАСАТ та наведено в додатку

3.3 Розрахунок опори апарата

Маса порожнього апарату:

$$G_{п.а} = G_A + G_{ТР}; \quad (37)$$

де: G_A – маса апарату;

$G_{ТР}$ – маса трубчатки;

$$G_A = 1,1 \cdot (G_o + 2 \cdot G_k); \quad (38)$$

де: G_o – маса обичайки апарату;

$$G_o = (D_B + s) \cdot \pi \cdot s \cdot L_{об} \cdot \rho; \quad (39)$$

де: D_B – внутрішній діаметр апарату, $D_B = 0,8 \text{ м}$;

s – товщина стінки, $s_b = \text{мм}$;

$L_{об}$ – довжина обичайки, $L_{об} = 6 \text{ м}$;

ρ - щільність неіржавіючої сталі $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$.

$$G_o = (0,8 + 0,006) \cdot 3,14 \cdot 0,006 \cdot 6 \cdot 7850 = 715 \text{ кг};$$

G_k – маса еліптичної кришки, $G_k = 36,2 \text{ кг}$ [, стор. 441, 34ере . 16.1];

$$G_A = 1,1 \cdot (715 + 2 \cdot 36,2) = 866,14 \text{ кг};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 34 |

Маса трубчатки:

$$G_{TP} = \left(\frac{\pi \cdot d_n^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} \right) \cdot L_{TP} \cdot \rho \cdot n;$$

де: L_{TP} – довжина трубчатки;

n – число трубок, $n = 465$ шт;

$$G_{TP} = \left(\frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} \right) \cdot 6 \cdot 7850 \cdot 465 = 3163 \text{ кг};$$

$$G_{п.А} = 3163 + 866,14 = 4029 \text{ кг};$$

Визначувана вага апарату при гідро випробуваннях, заповненому водою:

$$G_{А.Г} = (V_a + V_{TP}) \cdot \rho_v; \quad (40)$$

де: $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$ – щільність води;

V_a – об'єм апарату;

$$V_a = V_o + 2 \cdot V_k; \quad (41)$$

де: V_o – об'єм обичайки;

$$V_o = 0,785 \cdot D^2 \cdot L_{об}; \quad (42)$$

$$V_o = 0,785 \cdot 0,8^2 \cdot 6 = 3 \text{ м}^3;$$

V_k – об'єм еліптичної кришки; [7. Стр.440, 35ере . 16.1], $V_k = 0,115 \text{ м}^3$;

$$V_a = 3 + 2 \cdot 0,796 = 4,6 \text{ м}^3;$$

V_{TP} – об'єм трубчатки;

$$V_{TP} = \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} \cdot L_{TP} \cdot n; \quad (43)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 35 |

$$V_{TP} = \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} \cdot 6 \cdot 465 = 0,96 \text{ м}^3;$$

$$G_{A,Г} = (4,6 + 0,96) \cdot 1000 = 5560 \text{ кг};$$

Максимальна вага апарату при 3бере гартованих3бнях:

$$G_{max} = G_{П.А} + G_{A,Г}; \quad (44)$$

$$G_{max} = 4029 + 5560 = 9589 \text{ кг} = 94 \text{ кН}.$$

Вертикальні апарати зазвичай встановлюють на стійках, коли їх розміщують внизу приміщення, або на підвісних лапах, коли апарат розміщують між перекриттями в приміщенні або на спеціальних сталевих конструкціях.

Приймаємо тип опор – лапи.

Всі опори для сталевих зварних апаратів стандартизовані.

Опори стійкі для апаратів з еліптичними і конічними днищами. Залежно від товщини стінки корпусу апарату лапи приварюються або безпосередньо до корпусу, або до накладного листа.

Матеріал деталей цих вибирається з умови експлуатації. Накладний лист приварюється до корпусу апарату суцільним швом. Якщо опори виконані з вуглецевої сталі, а апарат – з корозійної сталі, накладні листи повинні виконуватися із сталі тієї ж марки, що і корпус апарату.

Число опор визначається розрахунком і конструктивними міркуваннями: лап повинно бути не міні два, стійкий – не менше три.

Користуючись рекомендаціями приймаємо опору по ГОСТУ 26-665-79.

$$Q = \frac{G_{max}}{4}; \quad (45)$$

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 36 |

де: Q – навантаження на одну з чотирьох опор.

$$Q = \frac{94}{4} = 23,5 \text{ кН};$$

Приймаємо опору $c [Q] = 40 \text{ кН}$.

Проведемо розрахунок обичайки під опорою по РД РТМ 26-319-79.

Визначимо навантаження на одну опору:

$$Q = \frac{\lambda_1 \cdot P}{z} + \frac{\lambda_2 \cdot M}{(D + 2 \cdot e)}; \quad (46)$$

де: λ_1 і λ_2 - коефіцієнти залежні від числа опор, $z = 3$, $\lambda_1 = 2$ $\lambda_2 = 1$. [8. Стр.291].

$$e = 0,5 \cdot (b + f_{\max} + s_0 + s_n); \quad (47)$$

де: b , f_{\max} – коефіцієнти вибираються по таблиці [6].

$b = 0,185 \text{ м}$, $f_{\max} = 0,05 \text{ м}$.

s_0 – товщина стінки апарату в кінці терміну служби

$$s_0 = s - c;$$

де: s – виконавча товщина стінки апарату;

c – надбавка для компенсації корозії;

$$s_0 = 6 - 2 = 4 \text{ мм};$$

$$e = 0,5 \cdot (0,185 + 0,05 + 0,004 + 0,004) = 0,12 \text{ м};$$

$P = G_{\max} = 94 \text{ кН} = 0,094 \text{ мН}$ – сила діє на опору через три опори-лапи.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| | | | | | | 37 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$M = \frac{P \cdot e}{4}; \quad (48)$$

$$M = \frac{0,094 \cdot 0,12}{4} = 0,0028 \text{ МН};$$

$$Q = \frac{\lambda_1 \cdot P}{z} + \frac{\lambda_2 \cdot M}{(D + 2 \cdot e)}; \quad (49)$$

$$Q = \frac{2 \cdot 0,094}{4} + \frac{1 \cdot 0,0028}{(0,8 + 2 \cdot 0,12)} = 0,049 \text{ МН};$$

Осьова напруга від внутрішнього тиску Р і моменту, що вигинає:

$$\sigma_{\max} = \frac{p_a \cdot D_e}{(4 \cdot s_0)} + \frac{4 \cdot M}{(\pi \cdot D_e^2 \cdot s_0)}; \quad (50)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{0,27 \cdot 0,8}{(4 \cdot 0,004)} + \frac{4 \cdot 0,003}{(3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004)} = 15 \text{ МПа};$$

Окружна напруга від внутрішнього тиску:

$$\sigma_{\text{тоу}} = \frac{p_a \cdot D_e}{(2 \cdot s_0)}; \quad (51)$$

$$\sigma_{\text{тоу}} = \frac{0,27 \cdot 0,8}{(2 \cdot 0,004)} = 27 \text{ МПа};$$

Максимальна мембранна напруга від основних навантажень:

$$\sigma_{\text{то}} = \max\{\sigma_{\max}; \sigma_{\text{тоу}}\} = \max\{15; 27\} = 27 \text{ МПа};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
| | | | | | ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 38 |

Максимальна мембранна напруга від основних навантажень і реакцій опор:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} + \frac{k_3 \cdot Q \cdot e}{(D_e \cdot s_0^2)}; \quad (52)$$

де: k_3 – коефіцієнт, визначуваний по [6, с. 293, рис.14.8], залежно від $\gamma = \frac{D_e}{(2 \cdot s_0)}$ і $\frac{h}{D_e}$ (де h – висота опори).

$$\gamma = \frac{0,8}{(2 \cdot 0,004)} = 100;$$

$$\frac{h}{D_e} = \frac{0,295}{0,8} = 0,37; k_3 = 0,25.$$

$$\sigma_m = 27 + \frac{0,25 \cdot 0,049 \cdot 0,12}{(0,8 \cdot 0,004^2)} = 142 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Максимальна напруга вигину від реакції опори:

$$\sigma_u = \frac{k_4 \cdot Q \cdot e}{(h \cdot s_0^2)}; \quad (53)$$

де: k_4 – коефіцієнт, залежний від $\gamma = \frac{D_e}{(2 \cdot s_0)}$ і $\frac{h}{D_e}$ $k_4 = 0,2$.

$$\sigma_u = \frac{0,2 \cdot 0,049 \cdot 0,12}{(0,295 \cdot 0,004^2)} = 249 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| | | | | | | 39 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Умова міцності має вигляд:

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_T}\right)^2 + \frac{0,8}{A} \cdot \frac{\sigma_u}{\sigma_T} \leq 1; \quad (54)$$

де: A – коефіцієнт, $A = 1,2$ – для умов транспортування, монтажу і гідравлічних випробуванні;

σ_T - межа текучості $\sigma_T = 250$ МПа.

$$\left(\frac{142}{250}\right)^2 + \frac{0,8}{1,2} \cdot \frac{249}{250} = 0,97 \leq 1;$$

Умова міцності виконана.

Таблиця – Розміри опори, мм.

| [Q] | a | a ₁ | b | c | c ₁ | h _{max} | h ₁ | s ₁ | K | K ₁ | d | d _Б | f _{max} |
|-----|-----|----------------|-----|----|----------------|------------------|----------------|----------------|----|----------------|----|----------------|------------------|
| 40 | 150 | 190 | 185 | 45 | 90 | 295 | 20 | 10 | 30 | 60 | 35 | M24 | 50 |

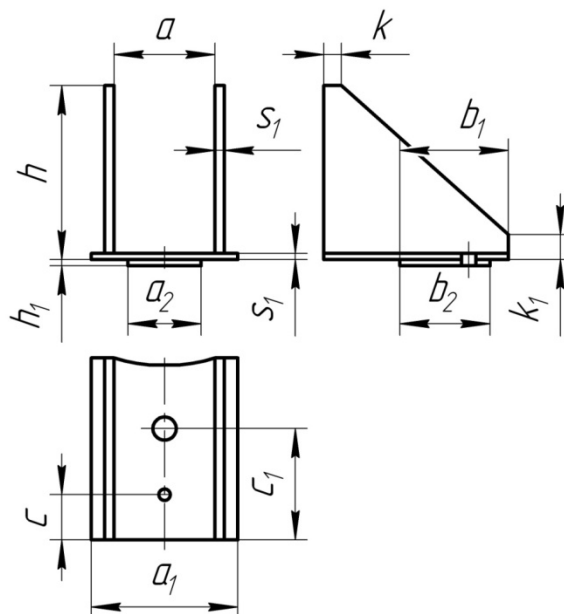


Рисунок 7-Схема опори лапи

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

40

4.Монтаж та ремонт апарата

4.1Монтаж розробленого апарату

Для установки теплообмінника на висотній металоконструкції застосовують самохідні крани, котрі мають достатній виліт, довжину стріли та вантажопідйомність а також прості вантажопідйомні механізми(поліспасти талі, стріли).

Вертикальність апарату вивіряють по рівню або відвісу. Для того щоб виключити вплив місцевих нерівностей корпусу на якість вивірки, рівень слід прикладати до привальних поверхонь фланців корпусу.

При вивірці вертикальності під опори підкладаються сталеві пластини або підбиваються сталеві клини після вивірки апарат закріплюється на опорах до раніше підготовленої металічної конструкції.

Монтаж кожухотрубчатих теплообмінників залежить тільки від їхньої маси, розмірів і просторового розміщення.

Маса й розміри кожухотрубчатих теплообмінників, що випускаються сьогодні, дозволяють транспортувати їх до місця монтажу в повністю зібраному вигляді на заводі-виготовлювачі. Для транспортування використовують залізничні платформи, трейлери, автомашини, сани й 41ер.

Теплообмінники встановлюють горизонтально або вертикально за різними оцінками відповідно до проекту. Опорною конструкцією для них можуть бути: фундаменти у вигляді двох бетонних або залізобетонних стовпів з анкерними болтами (при низькому горизонтальному розташуванні) і балки висотних металоконструкцій (при вертикальному розташуванні й горизонтальному розташуванні на більших висотах).

У переважній більшості випадків теплообмінники встановлюють у проектне положення за допомогою самохідних кранів. Якщо в конкретних умовах підйому вантажопідйомність кранів недостатня, практикується установка теплообмінників за допомогою двох кранів, що працюють строго узгоджено. На рис.8.1 наведені схеми підйому й установки теплообмінників при різному їхньому розташуванні. Теплообмінники, розміщені у два яруси й більше, доцільно піднімати великими блоками з декількох апаратів після їх взаємної трубопровідної обв'язки, якщо це дозволяють підіймальні засоби.

Для стикування однотипних теплообмінників і уніфікації їхньої трубопровідної обв'язки строго витримують при виготовленні настановні розміри штуцерів на корпусі й на розподільній камері. При підйманні блок

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| | | | | | | 41 |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | |

обв'язаних теплообмінників поміщають у ґратчастий твердий контейнер, за який і роблять стропування.

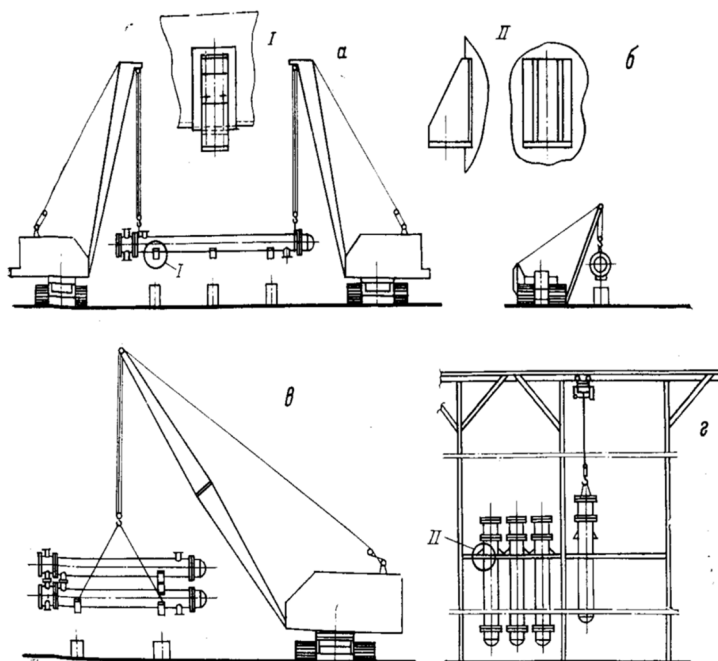


Рисунок 8 — Способи монтажу теплообмінних апаратів:

а – за допомогою двох кранів; б- трубоукладачем; в – блок теплообмінників краном; г – вертикальних теплообмінників монобалкою; I – опора горизонтальних теплообмінників; II- опора вертикальних теплообмінників

Трубопровідну обв'язку розпочинають після остаточної перевірки положення корпусу й закріплення болтів, що з'єднують його опори або лабети з постаментом. Положення теплообмінника перевіряють рівнем або важком, підкладаючи, якщо це необхідно, під опорні площини сталеві планки. При горизонтальному розташуванні теплообмінників температурні деформації корпусу між опорами можуть досягати декількох міліметрів, тому одна з опор повинна бути рухомою. Нерухому опору, як правило, встановлювану з боку нерухомих трубних ґрат, закріплюють намертво; гайки болтів рухомої опори, що має овальні вирізи, не затягують на 1-1,5 мм, але фіксують контргайками. Зазор між болтами й овальними вирізами повинен бути розміщений у бік можливого подовження теплообмінника. Поверхні ковзання захищають так, щоб виключити защемлення. [8]

Змонтовані теплообмінники повинні бути опресовані на пробний тиск на заводі-виготовлювачі, тому на монтажній площадці їх роздільно не

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

опресовуюють, а обмежуються тільки перевіркою загальної системи теплообміну разом із трубопровідною обв'язкою після завершення монтажних робіт. У тих випадках, коли відсутній акт заводського випробування або ж 4Зере га тривалий час перебував на складі або монтажній площадці, перед монтажем теплообмінник піддають ревізії і, якщо в цьому є необхідність, ремонту.

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 4Зере гар виражається в такому: 1) зменшенні товщини стінки корпусу, днища, трубних ґрат; 2) опуклостях і вм'ятинах 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 ушкодженні їхніх струбцин; 7) ушкодженні лінзових компенсаторів; 8) ушкодженні чепцевих пристроїв, каткових і пружинних опор; 9) порушенні гідро- і термоізоляції.

4.2 Ремонт апарату

Підготовка до ремонту передбачає виконання таких заходів:

1) знижується надлишковий тиск до атмосферного і 4Зере га 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;

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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 43 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ | | | | |

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 44ере гар 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 44ере гар пробним тиском;

14) пневматичне випробування апарата.[7]

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: 1) монтаж і демонтаж нарізних з'єднань, очищення теплообмінної апаратури; 2) добування трубних пучків, ремонт і виготовлення трубних пучків і їх установка; 3) випробування теплообмінників.

Зниження трудомісткості робіт з монтажу й демонтажу нарізних з'єднань досягається застосуванням пневматичних і гідравлічних гайковертів. Після розхитування знімається кришка апарата. Зменшення трудозатрат на опускання й підймання важкої кришки забезпечується виготовленням поворотних кронштейнів, які дозволяють після розхитування відвести убік кришку й розподільну голівку.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 44 |

Витягати трубні пучки можна тільки з теплообмінників із плаваючою голівкою. Найменш механізованим способом є витягування трубного пучка за допомогою лебідок і домкратів. Більш прогресивні спеціальні пристрої для добування – екстрактори. Вони являють собою пристрої, які кріпляться на

фланці теплообмінника і за допомогою домкрата або лебідки виштовхують трубний пучок. Пучок, що витягується, рухається разом із візком, на який кріпиться його 45ере гар частина.

У більшості випадків як екстрактор використовується пристрій для захоплення трубного пучка разом із вантажопідйомним механізмом. Трубний пучок, що витягується з горизонтальних теплообмінників, підтримується в горизонтальному положенні автомобільним краном за допомогою талія пересувної монорейки або візка. Схема витягування трубного пучка за допомогою тракторної лебідки й автомобільного крана наведена на рис. 8.2.

Демонтаж проводиться в певній послідовності: 1) знімаються кришки теплообмінного 45ере гар; 2) демонтуються деталі плаваючої голівки; 3) проводиться попереднє зрушення трубчатки; 4) тракторною лебідкою трубний пучок витягується з 45ере гар; 5) за допомогою хомутів і строп трубчатка підвішується до гака автомобільного крана, який після остаточного добування трубчатки опускає її на причіп для транспортування на місце очищення й ремонту.

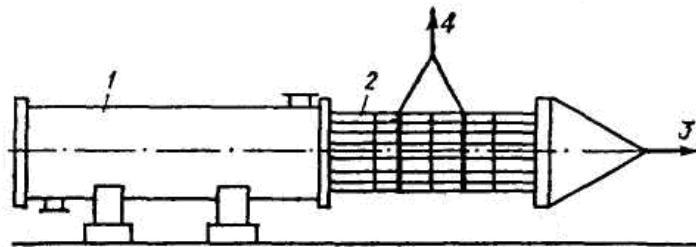


Рисунок 9. — Добування трубного пучка за допомогою лебідки й автомобільного крана:

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

На рис. 8.3 наведений спосіб витягування трубного пучка за допомогою стаціонарної монорейки з лебідкою. На монорейці розміщуються два тельфери, що дає можливість без утруднень проводити демонтаж і монтаж трубчатки. Добування трубчатки здійснюється відвідним блоком 5 і поліспастром 6. Для цього може також застосовуватися пересувна монорейка (рис. 8.4).[6]

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

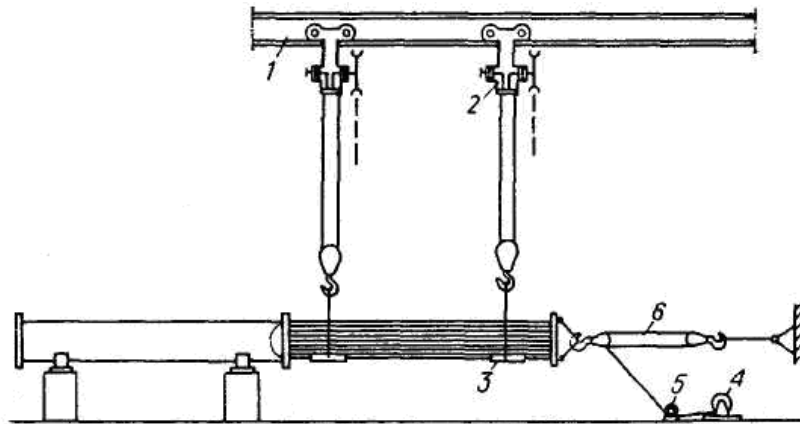


Рисунок 10 — Пристрій для зміни пучків теплообмінників:

1 – напрямна балка; 2 – тельфер; 3 – підкладка під пучок; 4 – лебідка; 5 – відвідний блок; 6 – поліспагт

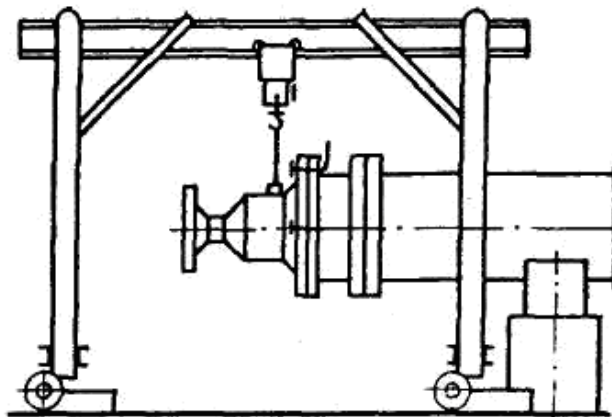


Рисунок 11 — Пересувна монорейка

Добування трубчаткі за допомогою пересувного візка наведено на рис.8.5. Візок 6 жорстко кріпиться до фланця трубного пучка за допомогою сполучної планки 4 і болтів 3. Для цього на плиті 8 установлений опорний сухар 7. Для регулювання висоти трубного пучка опорна плита 8 з'єднується із платформою візка за допомогою чотирьох гвинтових домкратів 9. Витягування трубчаткі здійснюється лебідкою 1, при цьому зусилля лебідки додається до візка.

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

46

Для теплообмінників, розташованих на висоті, найбільш зручним вантажопідйомним механізмом залишається автомобільний кран.

Витягування трубного пучка з вертикальних теплообмінників простіший, ніж із горизонтальних, і проводиться принципово тими самими способами.

Для встановлення трубного пучка в корпус, крім уже описаних пристроїв, застосовується також спеціальний монтажний пристрій, що заміняє лебідку (рис. 8.6). Він складається з корпусу 3 із фланцем і приводом. До привода входять електродвигун 1 і планетарний редуктор 2. Співвісно з редуктором встановлений барабан 5 для намотування сталевго троса. У корпусі 3 для напрямку троса встановлені два ролики 4. Пристрій кріпиться до корпусу теплообмінника замість кришки (рис.8.7). Монтаж трубного пучка здійснюється з підтримкою тельферами або візком.[7]

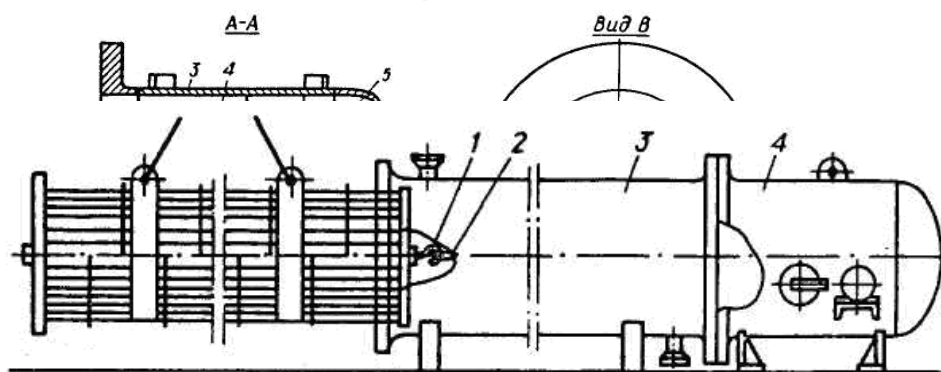


Рисунок 12 — Установка трубного пучка в корпус:

1 – гак; 2 – трос; 3 – теплообмінник; 4 – переносний пристрій

Очищення трубок від відкладень передбачає обробку як внутрішніх, так і зовнішніх поверхонь. Використовують такі методи очищення: 1) хімічні; 2) абразивні (для нерозчинних відкладень); 3) спеціальні.

Хімічне очищення здійснюється без розкриття й розбирання теплообмінника. Для очищення від накипу застосовують 5-15% розчин соляної кислоти із додаванням інгібіторів. Для очищення від органічних відкладень використовуються вуглецеві розчинники. Очищення від твердих відкладень виявляється ефективним при заповненні теплообмінника на добу 5% розчином соляної кислоти із додаванням рідкого скла. Твердий осад розпушується в цьому розчині і потім легко змивається водою.

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

47

Абразивні методи очищення поділяються на механічний, гідропневматичний, гідромеханічний (струменем води високого тиску) і піскоструминний.

Механічне очищення проводиться за допомогою шомполів, свердел, щіток, шарошок, різців, бурів із подачею води або повітря для видалення продуктів очищення. Найпростішим пристроєм є сталевий пруток з йоржем зі сталевого дроту, привареним до прутка.

Пристрій для механічного чищення трубок показаний на рис. 8.8. Після первинної обробки трубок різцем їх піддають остаточному чищенню сталевим йоржем.

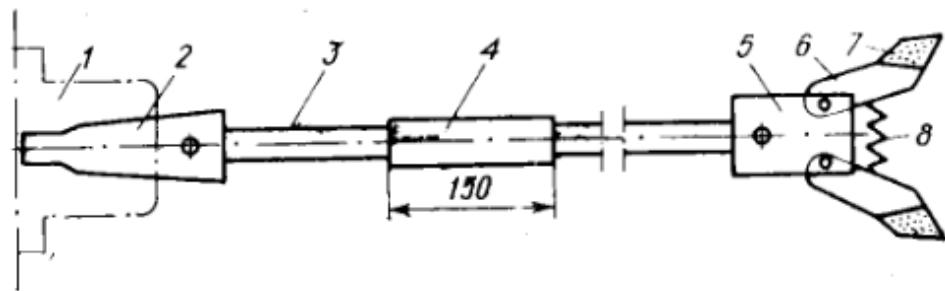


Рисунок 13 — Пристрій для чищення труб:

1-пневмодрель; 2-конус Морзе; 3-трубка ; 4-трубка- тримач; 5-тримач різців; 6-різець; 7-побідитовий наконечник; 8-пружина

Пристрій для видалення твердих і крихких відкладень накипу, коксу, солей із внутрішніх поверхонь горизонтальних і вертикальних трубок теплообмінних апаратів наведений на рис. 8.9. До таля («кішки») 6 підвішується свердлильна машина, що складається із бура 1, пустотілого вала 2, розподільного золотника 3, електро- або пневмопривода 4 та упору 5. Таль розташовується на крані-балці, що міститься на двох триногах 7. При обертанні й поступальному русі бура 1 відбувається розпушення відкладень на внутрішній поверхні трубки. Вода, що подається через золотниковий пристрій 3, вимиває бруд. Передбачена також подача повітря й водяної пари.

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

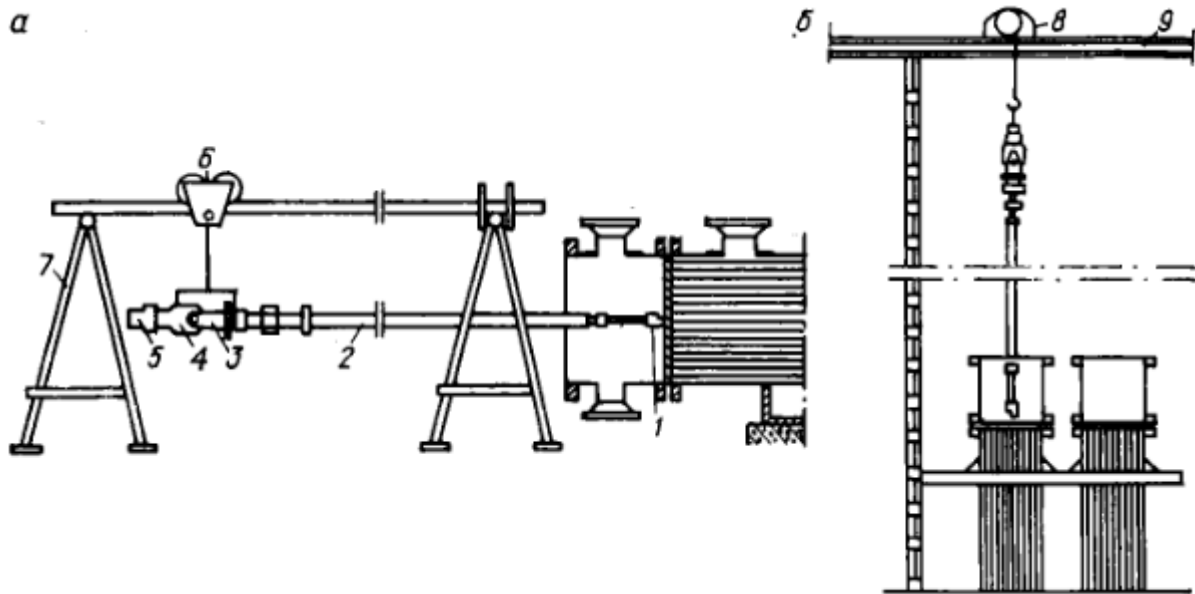


Рисунок 14 - Пристрій для механічного очищення теплообмінників

Для чищення U-подібних трубок застосовується гнучкий шланг. Очищення трубок за допомогою води й повітря називається гідропневматичним. У забруднену трубку одночасно подаються вода й стиснене повітря. Стиснене повітря, розширюючись, різко збільшує швидкість руху води, що починає переміщатися по трубці послідовними водяними «пробками» з інтенсивними завихреннями. Спільний рух води й повітря швидко руйнує відкладення на стінках трубок, очищаючи їх. Одночасна подача в трубку води й повітря здійснюється за допомогою водоповітряного пістолета. Повітря під тиском 0,7-0,8 Мпа та вода під тиском 0,5-0,6 Мпа при співвідношенні 1:1 подаються за допомогою шлангів.

Гідропневматичне очищення трубок дозволяє зменшити час очищення порівняно із механічним 8-10 разів, значно рідше піддаються очищенню теплообмінники, завдяки чому підвищується продуктивність праці.

Гідромеханічне очищення полягає в такому. Насосом високого тиску по напірних шлангах вода подається в 49ере гар штангу, на кінці якої встановлене сопло із декількома отворами. Струмінь води виходить із сопла під більшим тиском, ріже й відриває відкладення від стінок поверхонь, що очищаються. Перевагою такого методу є можливість очищення внутрішньої й зовнішньої поверхонь трубок, а також корпусу безпосередньо на місці установки 49ере гар. При цьому ступінь очищення досягається значно раніше, ніж при інших методах.

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

49

Перед установкою трубок отвори в ґратах продувають повітрям і насухо протирають. Зазор між зовнішнім діаметром трубки й отвором у ґратах не повинен перевищувати 1,5% діаметра трубки.[6]

У зв'язку з тим, що трубки при розвальцьовуванні подовжуються, спочатку развальцьовують усі кінці трубок в одних ґратах, а потім в інших.

При цьомувальцюють чотири трубки хрест нахрест, потім усі трубки по периметру, а далі інші.[6]

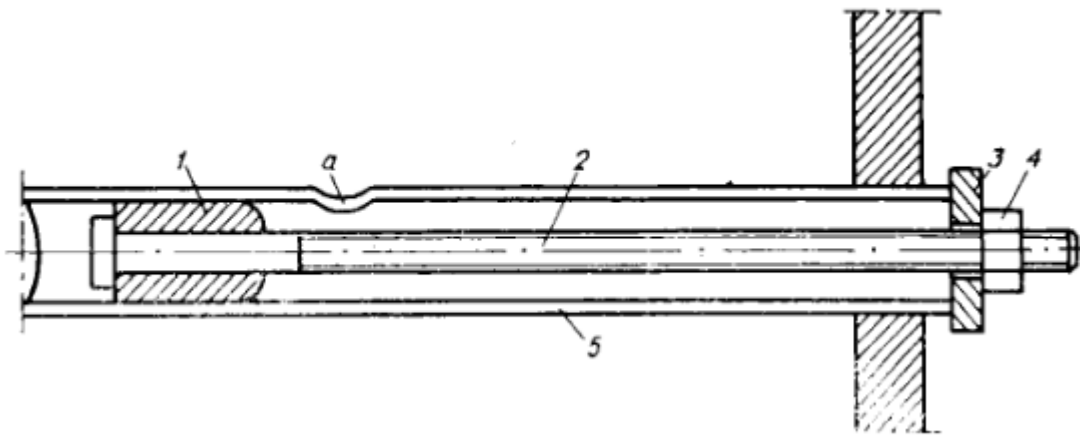


Рисунок 15 — Пристрій для виправлення вм'ятину трубах:

1-оправка; 2-штанга з різьбою; 3-шайба; 4-гайка; 5-труба; а-вм'ятини

Корпус апарата, що має різні випуклості і вм'ятини, виправляється ударами кувалди по мідній підкладці. Усунення невеликих вм'ятин при товщині стінки корпусу або кришці, виконаних із вуглецевої сталі, не більше 3-4 мм здійснюється нагріванням. Якщо неможливо усунути зазначені вище дефекти ударами й нагріванням, то ушкоджені частини або вирізаються, або на них ставляться накладки.

Дефектні штуцери й трубні ґрати при досягненні максимальних величин зношування й прогину замінюються.

Свищі й тріщини усуваються шляхом заварювання або поставленням накладок із попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають довжину й положення кінців тріщин, виявлених у корпусі. Ці кінці до заварювання засвердлюють свердлами діаметром 3-4 мм, а потім заварюють.

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

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

Лист

51

Із появою гніздоподібних тріщин ушкоджені місця вирізають і закривають латками без гострих кутів. Латки заварюють врівень з основним 52ере гар. Площа латки не повинна перевищувати 1/3 площі сталевого листа 52ере гар.[7]

Обпресування теплообмінників жорсткої конструкції проводиться при знятих кришках. Вода при гідравлічному випробуванні подається в

міжтрубний простір. Поява води в кожній із трубок або в місці вальцювання трубки в трубних ґратах свідчить про дефекти в ремонті

При гідравлічному випробуванні з боку плаваючої голівки знімають кришку теплообмінника і на її місце встановлюють чепцевий пристрій (рис. 8.11), призначений для забезпечення герметичності між корпусом і плаваючою голівкою.[7]

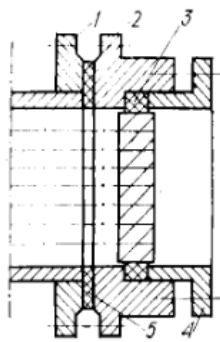


Рисунок 16 - Чепцевий пристрій для опресовування:
1-корпус; 2-фланець; 3- чепцева набивка; 4-натискна втулка; 5-прокладка

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

5. Охорона праці

1.1. Дія Інструкції поширюється на всі підрозділи підприємства.

1.2. Інструкція розроблена на основі ДНАОП 0.00-8.03-93 «Порядок опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві», ДНАОП 0.00-4.15-98 «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», ДНАОП 0.00-4.12-99 «Типове положення про навчання з питань охорони праці».

1.3. За даною інструкцією робітник інструктується перед початком роботи (первинний інструктаж), а потім через кожні 6 місяців (повторний інструктаж).

1.4. Власник повинен застрахувати слюсаря від нещасних випадків та професійних захворювань. В разі пошкодження здоров'я слюсаря з вини власника, він має право на відшкодування заподіяної йому шкоди.

1.5. За невиконання даної інструкції слюсар несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну та кримінальну відповідальність.

1.6. До роботи допускаються особи віком не молодше 18 років, які мають посвідчення на право виконання робіт, пройшли медичне обстеження, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки.

1.7. Робітник повинен:

- виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку;
- бути уважним до сигналів рухомого транспорту;
- ходити по тротуарах, доріжках, переходах, спеціально призначених для цього, тримаючись правого боку;
- не торкатись електрообладнання, клем та 5Зере гартован, арматури загального освітлення, не відкривати дверці електрошаф;
- не включати і не зупиняти (крім аварійних випадків) машини, верстати та механізми, робота на яких не передбачена адміністрацією;
- не проходити і не стояти під піднятим вантажем;
- виконувати тільки ту роботу, яка доручена керівником та за якою він проінструктований;- не допускати сторонніх осіб на своє робоче місце;
- не захарашувати робоче місце;
- не виконувати вказівки, які суперечать правилам охорони праці;

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 53 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

- вміти подавати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків;

- вміти користуватись первинними засобами пожежогасіння;

- пам'ятати про особисту відповідальність за виконання правил охорони праці та безпеку товаришів по роботі.

1.8. Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть діяти на робітника:

- рухомі машини, механізми, незахищені рухомі частини виробничого устаткування; пересувні вироби, заготівлі, матеріали;

- захаращеність робочих місць інструментом, пристосуванням, матеріалами, деталями;

- 54ере гартов спеціальних пристроїв, інструменту та обладнання для виконання робіт відповідно до прийнятої технології;

- незахищені струмоведучі частини електрообладнання (електроустановок);

- недостатня освітленість робочої зони;

- шкідливі компоненти в складі застосовуваних матеріалів, які діють на працюючого через шкірний покрив, дихальні шляхи, шлункову систему та слизові оболонки органів зору та дихання;

- падіння вивішених частин обладнання;

- несправність інструмента, обладнання, пристосувань;

- падіння деталей, вузлів, агрегатів, інструменту;

- падіння з висоти;

- термічні фактори (пожежі при митті деталей, вузлів, агрегатів);

- осколки металу, що відлітають при рубці металу;

- наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин;

- знижена температура повітря у холодний період року.

1.9. Робітнику згідно з діючими нормами видається безкоштовно спецодяг:

- костюм бавовняний;

- рукавиці комбіновані;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | Лист |
| | | | | | | 54 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

- при роботі взимку на повітрі додатково – куртка та брюки бавовняні на теплій підкладці.

1.10. Ручні інструменти (молотки, зубила, пробійники тощо) не повинні мати:

- на робочих поверхнях пошкоджень (вибоїн, відколів);

- на бокових гранях у місцях затискання їх рукою задирок та гострих ребер;

- на дерев'яних поверхнях ручок сучків, задирок, тріщин; поверхня повинна бути гладкою;

- наклепів та 55ере гартованих робочих поверхонь.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Отримати завдання від керівника робіт.

2.2. Привести до ладу спецодяг, застібнути або обв'язати рукава, заправити одяг таким чином, щоб кінці його не розвіювались.

2.3. Уважно оглянути робоче місце, прибрати все, що заважає роботі.

2.4. Впевнитись в тому, що робоче місце достатньо освітлене, а світло не буде засліплювати очі.

2.5. Робочий інструмент та деталі розташувати в зручному та безпечному для користування порядку.

2.6. Впевнитись в тому, що робочий інструмент, пристосування, обладнання та засоби індивідуального захисту справні і відповідають вимогам охорон праці.

2.7. Перед початком робіт електро- пневмо-інструментом та на верстатах необхідно пройти інструктаж по безпечній роботі з ними.

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи

3.1. Виконувати роботи необхідно згідно з технологічною картою на виконання тієї чи іншої роботи.

3.2. При роботі з переносною електродриллю, гайковертом, шліфувальною машиною додержуватись інструкції по експлуатації електроінструмента.

3.3. При роботі пневматичним інструментом необхідно:

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 55 |

3.3.1. Працювати тільки справним інструментом. Клапани відрегулювати так, щоб вони легко відкривались, при припиненні натиску на правлячий держак швидко закривались і не пропускали повітря в закритому положенні.

3.3.2. Приєднувати шланги до інструмента і роз'єднувати їх з інструментом після виключення подачі повітря. Перед приєднанням до інструмента шланг старанно продути.

3.3.3. Працювати тільки в захисних окулярах.

3.3.4. Користуватись тільки абразивними кругами, одержаними в інструментальній коморі та спеціально призначеними для пневмомашинки.

3.4. Несправний інструмент здати в інструментальну комору. Ремонтувати його самому забороняється.

3.5. Забороняється здувати стисненим повітрям з верстата чи деталей металеву стружку. Для змітання стружки та пилу користуватись волосяною щіткою, перебувати при цьому в захисних окулярах.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1. Прибрати робоче місце. Інструмент і пристрої протерти і поскладати їх у відведене для них місце.

4.2. Якщо агрегат, що ремонтується, залишається на спеціальних підставках, перевірити надійність їх встановлення. Не залишати його висіти на тросі вантажопідйомного механізму.

4.3. Зняти спецодяг, повісити його у спеціально призначене для нього місце.

4.4. Вимити руки і обличчя теплою водою з милом; при можливості прийняти душ.

4.5. Забороняється мити руки в мастилі, бензині, гасі і витирати їх ганчір'ям, тирсою, стружкою.

4.6. Повідомити керівника робіт про всі недоліки, які були в процесі роботи.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.1. Причини, які можуть викликати аварійну ситуацію: ураження електричним струмом, падіння з висоти вивішених агрегатів, вихід з ладу інструмента, устаткування, пристроїв, відліт осколків металу, наявність шкідливих речовин в робочій зоні та інше.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 56 |

5.2. Якщо склалась ситуація, що може призвести до аварії або нещасного випадку, слід негайно припинити роботу, відключити електроенергію, джерело живлення пневмо-інструменту; огородити небезпечну зону; не допускати в неї сторонніх осіб, повідомити про те, що сталося, керівника робіт.

5.3. Якщо є потерпілі, надавати їм першу медичну допомогу; при необхідності, викликати швидку медичну допомогу.

5.4. Надання першої медичної допомоги.

5.5. У разі виникнення пожежі викликати пожежну частину та приступити до її гасіння первинними засобами пожежогасіння.

5.6. Виконувати всі вказівки майстра по усуненню небезпечної ситуації.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 57 |

Список літератури

1. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б Варгафтик. – 2-е изд. – Москва : Наука, 1972. – 720 с.
2. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н. И. Гельперин. – Москва : Химия, 1981. – Кн. 1, 2. – 812 с.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: по-сobie по курсовому проектированию / Ю. И. Дытнерский и др. – Москва : Химия, 1983. – 272 с.
4. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с
5. Справочник механика химических и нефтехимических производств / З. З. Рахмилевич и др. – Москва : Химия, 1985.
6. Ремонт и монтаж химического оборудования / В. И. Ермаков и др. – Львов : Химия, 1981.
7. Краткий справочник по грузоподъемным машинам / В. И. Чернега и др. – Киев : Техника, 1988.
8. Ермаков В. И. Технология ремонта химического оборудования / В. И. Ермаков, В. С. Шеин. – Ленинград : Химия, 1977.
9. Молоканов Ю. К. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / Ю. К. Молоканов, З. Б. Харас. – Москва : Химия, 1973. – 300 с.
10. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения типа ТН (с неподвижными решетками) : каталог. – Москва : ЦИНТИхимнефтемаш, 1965.
11. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Москва : Государственный комитет стандартов, 1973. – 33 с.
12. ГОСТ 11987-73. Аппараты выпарные трубчатые стальные. Типы, основные параметры и размеры. – Москва : Госстандарт, 1974.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 58 |