

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР**  
зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема роботи: Виробництво піроксилінового пороху. Етеризатор для отримання технічного етилового етеру сірчанокислотим методом потужністю по етеру 400 т/рік.

Виконав студент

Бутар В.В.

Залікова книжка:

№ \_\_\_\_\_

Захищений з оцінкою:

\_\_\_\_\_

Керівник проекту

Банишевський В.В.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ**  
**СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Спеціальність: Галузеве машинобудування

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Зав. Кафедрою

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВР**

Студенту: Бутар В.В.

група ХМ-81ш курс IV

1. **Тема роботи:** «Виробництво піроксилінового порошу. Етеризатор для отримання технічного етилового етеру сірчаноокислотим методом потужністю по етеру 400 т/рік.»
2. **Вихідні дані:** Продуктивність 100 кг/год по етеру, міцність спирту-сирцю 90<sup>0</sup>, температура спирту на вході в апарата 60°C, теплоносій в апараті – пар, тиск в трубному обігрівачі 4 атм.
3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)
  - 3.1 Загальний вигляд 1хА1;
  - 3.2 Технологічна схема 1хА1;
  - 3.3 Складальні креслення 1хА1.
4. Література та матеріали, які рекомендуються: Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов / М.Ф. Михайлев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михайлева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1984. - 301 с., ил.
5. Контрольні терміни виконання: травень

| Етап і розділи комплексного курсового проекту        | Т И Ж Д Е Н Ь |           |         |                |    |    |
|--|---------------|-----------|---------|----------------|----|----|
|  | 1, 2          | 3, 4, 5,6 | 7, 8, 9 | 10, 11, 12, 13 | 14 | 15 |
| 1 Опис схеми, апарата                                | х х           |           |         |                |    |    |
| 2 Технологічна частина                               |               | х х х х   |         |                |    |    |
| 3 Розрахунки на міцність, герметичність та стійкість |               |           | х х х   |                |    |    |
| 4 Розробка креслень                                  |               |           |         | х х х х        |    |    |
| 5 Оформлення записки                                 |               |           |         |                | х  |    |
| 6 Захист проекту                                     |               |           |         |                |    | х  |

6. Дата видачі завдання Березень 2022 р

7. Термін захисту роботи Червень 2022р.

Керівник роботи Банишевський В.В.

## Реферат

Пояснювальна записка: 58 с, 3 рисунки, 2 таблиці, 14 літературних джерел. Графічні матеріали: складальне креслення апарата, технологічна схема, креслення складальних одиниць листів 3 формату А1.

Тема: Виробництво піроксилінового пороху. Етеризатор для отримання технічного етилового етеру сірчаноокислотим методом потужністю по етеру 400 т/рік.

Розроблена технологічна схема виробництва. Описані теоретичні основи процесу. Описаний принцип дії та конструкція апарату. Вибраний та обґрунтований матеріал апарату.

Проведені технологічні розрахунки апарату це розрахунки матеріального та теплового балансів, конструктивні розрахунки, визначений опір апарату, вибране та розраховане допоміжне обладнання.

Зроблені конструктивні розрахунки товщин стінок апарату, розрахунки фланцевого з'єднання та опори, які підтверджують надійність апарату.

Описаний монтаж і ремонт апарату та охорона праці.

Ключові слова: АПАРАТ, КОРПУС, ЕТЕР, ЕТЕРИЗАТОР, ЕТИЛСІРНИЙ СПИРТ.

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 5  |
| 1 Технологічна частина .....  | 6  |
| 1.1 Опис технологічної схеми.....                                     | 6  |
| 1.2 Теоретичні основи процесу .....                                   | 9  |
| 1.3 Опис конструкції апарата та вибір конструктивних матеріалів ..... | 11 |
| 1.3.1 Опис конструкції апарата .....                                  | 11 |
| 1.3.2 Вибір конструкційних матеріалів .....                           | 12 |
| 2 Технологічні розрахунки процесу та апарату .....                    | 14 |
| 2.1 Матеріальний баланс.....  | 14 |
| 2.2 Тепловий баланс .....   | 16 |
| 2.3 Технологічні розрахунки .....                                     | 18 |
| 2.4 Конструктивні розрахунки .....                                    | 21 |
| 2.5 Гідравлічні розрахунки .....                                      | 22 |
| 2.6 Вибір допоміжного обладнання .....                                | 23 |
| 3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність.....                | 27 |
| 3.1 Розрахунок навантажень в апараті .....                            | 27 |
| 3.2 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки.....                   | 29 |
| 3.3 Розрахунок фланцевого з'єднання .....                             | 31 |
| 3.4 Розрахунок товщини трубної решітки .....                          | 40 |
| 3.5 Розрахунок та вибір опори.....                                    | 42 |
| 4 Монтаж та ремонт апарата.....                                       | 45 |
| 4.1 Монтаж апарата .....  | 45 |
| 4.2 Ремонт апарата .....  | 45 |
| 5 Охорона праці .....   | 49 |
| 5.1 Вимоги до обладнання з урахуванням техніки безпеки .....          | 50 |
| 5.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори .....                    | 51 |
| 5.3 Виробнича санітарія .....   | 51 |
| 5.3.1 Мікроклімат .....   | 51 |
| 5.3.2 Освітлення .....  | 52 |
| 5.3.3 Шум та вібрація .....   | 54 |
| 5.3.4 Електробезпека .....  | 55 |
| 5.3.5 Пожежна безпека .....   | 55 |
| 5.3.6 Охорона навколишнього природного середовища .....               | 56 |
| Висновки.....   | 57 |
| Література.....   | 58 |

|                  |                      |                |               |             |                                    |              |                |
|------------------|----------------------|----------------|---------------|-------------|------------------------------------|--------------|----------------|
|                  |                      |                |               |             | <i>6.133.22.01.00.00.00 ПЗ</i>     |              |                |
| <i>Зм.</i>       | <i>Ар-</i>           | <i>№ докум</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                                    |              |                |
| <i>Розроб.</i>   | <i>Бутар</i>         |                |               |             | <i>Літ</i>                         | <i>Аркуш</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перев.</i>    | <i>Баннишевський</i> |                |               |             |                                    | 4            |                |
| <i>Н. Контр.</i> |                      |                |               |             | <i>Пояснювальна записка</i>        |              |                |
| <i>Затвер-</i>   |                      |                |               |             | <i>ІІІ Сум ДУ<br/>гр. ХМ-81ІІІ</i> |              |                |

## Вступ

Піроксиліновим порохом називається порох на основі нітратів целюлози, пластифікованих (розчинних) спирто-етерним розчинником, з добавками.

При виробництві пороху застосовують спирто-етерну суміш як технологічний компонент для перекладу піроксиліну зі склоподібного стану в пластичний, що дозволяє виготовляти ущільнені порохові елементи бажаної форми. Після отримання порохових елементів спирто-етерна суміш з них видаляється.

Основним компонентом для при виробництві піроксилінового пороху являється технічний етер, який представляє собою безбарвну легкокорухому рідину з молекулярною вагою 74,08, киплячу при 34,6 °С. Етер твердне при - 116 °С. Питома вага етеру за різних температур наведено у таблиці 1, а в'язкість його - у таблиці 2.

Поверхневий натяг етеру при 20°С - 17дин/см, електропровідність його –  $4 \cdot 10^{-13}$  ом за 25 °С; показник заломлення - 1,3542 за 17°С.

При випаровуванні етеру температура докільля різко знижується. Так, якщо пропусканням сильного повітряного струменя викликати швидке випаровування вміщеного в колбу етеру, то колба покриється зовні шаром льоду. При випаровуванні суміші етеру з твердим вугільним ангідридом можна знизити тепературу до -79,5°С.

Етер дуже горючий. Температура його спалаху – 41°С. При 188°С пари етеру повітря самозаймається.

Етер малорозчинний у воді і, так само, вода розчиняється в етері лише в незначній кількості.

Етер є добрим розчинником різних органічних речовин. З рядом органічних сполук, як спиртом, бензолом, бензином, він змішується в усіх відношеннях.

У концентрованій сірчаній кислоті етер розчиняється із виділенням тепла. Свіжоприготовлений розчин при обробці льодом та крижаною водою знову виділяє етер; при тривалому стані розчину утворюється етильсульфат.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 5    |

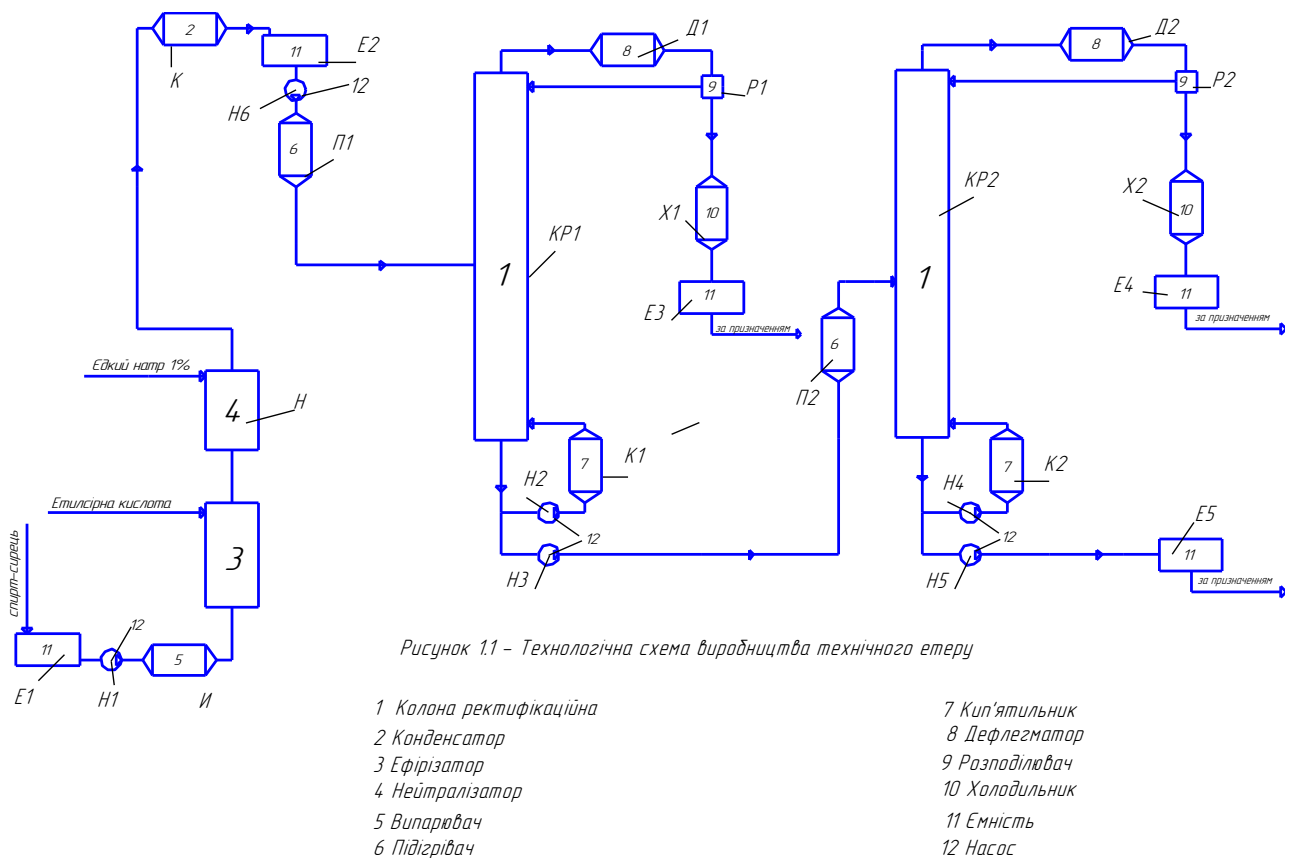
# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми

Виробництво з отримання технічного етеру по сірчанокиислому методу розподіляється на дві фази:

- 1) отримання та нейтралізація етеру;
- 2) очищення сирого етеру від домішок шляхом ректифікації.

Принципова схема технологічного процесу виробництва технічного етеру має такий вигляд (рисунок 1.1).



Вихідний продукт - спирт сирець при виробництві технічного етеру насосом подається зі сховища спирту в ємність E1, з якої спирт надходить у випарник спирту I, де нагрівається до температури 60 - 70 ° С за рахунок тепла фузельної води ректифікаційної спиртової колони і потім вводиться в основний реакційний апарат етерного виробництва – етеризатор Э, залізна циліндрична посудина, що є викладеною свинцем, заповнена на дві третини об'єму робочою сумішшю – етилсерною кислотою.

У міру багаторазового використання в етері реакційна здатність етилсерної кислоти знижується і продуктивність апарату падає. Після закінчення 6 - 8 місяців безперервної роботи відпрацьована кислота вважається вже непридатною і видаляється із системи.

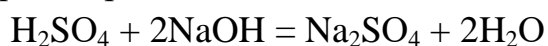
Спирт подається в реакційну суміш через барботер (дірчасту трубу), що проходить крізь товщу етилсерної кислоти. Для правильного перебігу процесу етилсерна кислота нагрівається до температури 120 - 125 °С. Необхідна температура суміші підтримується за рахунок обігріву апарату глухою парою через змійовик, встановлений всередині етері. Етилсерна кислота діє на молекулу спирту і при цьому утворюється етиловий етер і регенерується сірчана кислота:



Таким чином, теоретично сірчана кислота не витрачається. Практично вона розбавляється водою і частково відновлюється до сірчистої кислоти. Крім цього, частина сірчаної кислоти у вигляді дрібних крапель захоплюється парами сирого етеру в нейтралізатор Н, де під дією їдкого натру переходить у бісульфіт по реакції:



і сірчаноокислий натрій по реакції



Ті, що утворюються в процесі взаємодії спирту і етилсерної кислоти пари сирого етеру надходять з етеризатора по трубі в нейтралізатор, в якому вони барботують через слабкий розчин лугу. При цьому відбувається нейтралізація кислих домішок (сірчаного газу, сірчаної кислоти) сирого етеру.

Отримана потрійна суміш (етиловий етер - етиловий спирт - вода), що конденсується в конденсаторі К, надходить у ємність Е2, звідки насосом Н6 подається в етерну колону ректифікації КР1 через підігрівач П1, де нагрівається до температури 50 -70 °С.

Стекаючи вниз по насадці в колоні, рідина взаємодіє з парами етилового етеру, що піднімаються вгору, що утворюються при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику К1 колони. Початковий склад пари приблизно дорівнює складу кубового залишку  $x_w$ , т.е. збіднений легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмового числа рідкістю (флегмою) складу  $x_p$ , яка виходить у дефлегматорі Д1 шляхом конденсації пари, що виходить із колони. Частина конденсату через розподільник Р1 виводиться з дефлегматора Д1 у вигляді готового продукту поділу – дистилляту, який охолоджується в холодильнику Х1 і спрямовується в проміжну ємність Е3.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Режим роботи етерної колони має такі параметри. Етерна колона працює без додаткового підігріву, температурний режим її підтримується шляхом введення в кубову частину парів кубової рідини, яка підігрівається в кип'ятильнику К1 до температури 60 - 85 ° С, і охолодження верхньої частини за рахунок повернення в колону сконденсованого етеру.

Дефлегматор етерної колони Д1 працює на оборотній воді, яка охолоджується на градирні і подається насосами.

Охолодження етеру в холодильнику Х1 проводиться артезіанською водою. Надлишковий тиск оборотної води на центральному трубопроводі повинен бути не менше 0,08 МПа а артезіанської або захищеної води не менше 0,05 МПа.

Подача парів етеру в нижню ланку етерної колони і води дефлегматор регулюються так, щоб підтримувалися наступні параметри:

- температура в кубовій частині колони, °С – 60 - 85;
- температура в середній частині колони, °С – 50 - 70;
- температура у верхній частині колони, °С – 34 - 45;
- температура етеру у приймальній ємності, °С – 15 - 25.
- рівень рідини кубової частини колони не менше 2/3 мірного стела;

З кубової частини колони насосом Н3 безперервно виводиться кубова рідина (етиловий спирт – вода), яка через підігрівач П2 подається на тарілку живлення спиртової колони ректифікації КР2.

Рідина, стікаючи вниз по колоні, взаємодіє з парами етилового спирту, що піднімається вгору, що утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику К2. Початковий склад пари приблизно дорівнює складу кубового залишку xW, тобто. збіднений легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмового числа рідиною (флегмою) складу xP, яка виходить в дефлегматоре Д2 шляхом конденсації парів етанолу, що виходять із колони. Частина конденсату через розподільник Р2 виводиться з дефлегматора Д2 у вигляді готового продукту поділу – дистилату, який охолоджується в холодильнику Х2 і спрямовується в проміжну ємність Е4. Кубовий залишок (вода) насосом Н5 перекачується в ємність Е5.

Режим роботи спиртової колони КР2 має такі параметри. Температурний режим спиртової колони підтримується шляхом підігріву кубової рідини у кип'ятильнику К2. Охолодження верхньої частини колони відбувається за рахунок повернення сконденсованого етанолу. Дефлегматор Д2 спиртової колони працює на оборотній воді, охолодженій на градирні.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



Охолодження етанолу у холодильнику X2 відбувається артезіанською або оборотною водою. Надлишковий тиск оборотної води на центральному трубопроводі має бути не менше 0,08 МПа, а тиск артезіанської води не менше 0,05 МПа.

При роботі спиртової колони повинні підтримуватись наступні параметри:

- температура в кубовій частині колони, °С – 100 – 110;
- температура у верхній частині колони, °С – 70 – 85;
- температура в середній частині колони, °С – 85 – 95;
- температура спирту у приймальній ємності, °С – 15 – 25.

## 1.2 Теоретичні основи процесу [8]

Основний принцип виготовлення піроксилінових порохів полягає у змішуванні піроксиліну з розчинником-пластифікатором; пластифікації його до утворення пластичної маси, готової до формування; виготовлення з неї порохових елементів і потім видалення їх розчинника-пластифікатора. Змішування порохової маси, що складається з піроксиліну, стабілізатора хімічної стійкості (дифеніламіну) і розчинника-пластифікатора проводять у спеціальних змішувачах шляхом механічного перетиру, в процесі якого відбувається набухання піроксиліну та часткова його пластифікація. Як розчинник-пластифікатор традиційно використовується суміш етилового спирту і діетилового етеру, що є легкозаймистими речовинами. Застосування зазначеного розчинника-пластифікатора передбачає попереднє зневоднення піроксиліну, оскільки вода, яка присутня в ньому після фази стабілізації, перешкоджає набуханню і для успішного здійснення процесу пластифікації її кількість необхідно зменшити до певної межі (не більше 4%). З цією метою піроксилін зневоднюють спиртом, що витісняє воду. Крім необхідності попереднього зневоднення піроксиліну, недоліком зміщення компонентів шляхом механічного перетирання є підвищена пожежо- і вибухонебезпечність процесу і складність рівномірного розподілу інгредієнтів по всій масі нітратів целюлози, що негативно позначається, зрештою, на вихідних характеристиках готового продукту.

Виробництво етеру зазвичай виконується на підприємствах, які виробляють пороху.

Процес отримання етеру по сірчаноокислотному способу складається з наступних основних операцій:

- одержання етилсерної кислоти;
- етеризація;

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

- нейтралізація сирого етеру;
- очищення сирого етеру від домішок шляхом ректифікації.

Для отримання етеру використовується сировина:

- технічний етиловий спирт, що називається далі за текстом технічним спиртом;

- етиловий спирт-сирець;
- тенічно їдкий натр;
- технічна сірчана кислота;

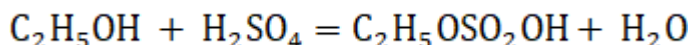
Для отримання спирту-сірцю використовують в якості сировини потрійну суміш.

Для отримання регенованого етилового спирту відпрацьований спирт.

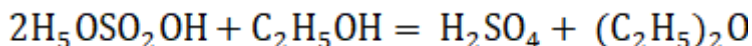
Сировина та матеріали, що застосовуються у виробництві, допускаються на підставі документів підприємств-виробників, що засвідчують їх відповідність вимогам чинної нормативної документації на них, та позитивних результатів вхідного контролю.

Хімізм процесу:

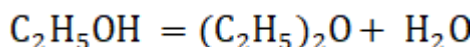
На першій фазі утворюється складний етер спирту та сірчаної кислоти (етилсерна кислота) за наступним рівнянням:



При нагріванні до 130-140°C з надлишком спирту етилсерна кислота діє на другу молекулу спирту, при цьому утворюється етиловий етер, а сірчана кислота регенерується:



Сумарне рівняння реакції має вигляд:



Теоретично сірчана кислота не витрачається, але практично через наявність у спирті-сірці домішок нижчих спиртів і оцтового альдегіду, сірчана кислота вступає в реакцію з домішками. Крім того, частина сірчаної кислоти розбавляється водою та частково відновлюється до сірчаної кислот. Пари сирого етеру (50% етеру, 30% спирту та 20% води) та дрібні крапельки сірчаної кислоти з етеризатора надходять у нейтралізатор, де кислі домішки найтралізуються одинвідсотковим розчином їдкого натру. Після нейтралізації сирого етеру піддають очищенню методом ректифікації.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 10   |

## 1.3 Опис конструкції апарата та вибір конструктивних матеріалів

### 1.3.1 Опис конструкції апарата [7]

Найпоширенішою конструктивною формою етеризатора є циліндричний котел зі сферичним днищем та кришкою. Така форма апарату обумовлена наявністю в ньому тиску, що досягає 0,7 атм і необхідного для передавлювання з етеру реакційної суміші.

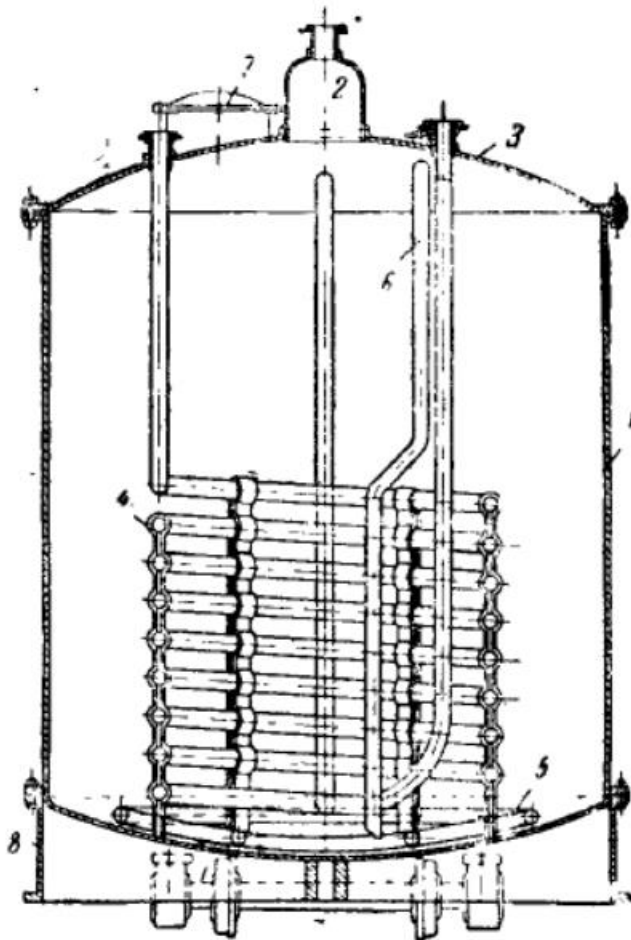


Рис. 1.2 – Етеризатор

1 – корпус, 2 – ковпачок бризгороздільний, 3 – кришка, 4 – змійовик,  
5 – барботер, 6 – свинцова труба, 7 – люк, 8 – підставка

Корпус етеризатора виготовляється із сталі зварюванням. Висота циліндричної частини корпусу зазвичай дорівнює діаметру апарату. Значна корозія, що викликається присутністю апараті сірчаної кислоти, розведеної спиртом, і етилсерної кислоти, робить необхідним обкладання внутрішньої поверхні сталевого корпусу листовим (рольним) свинцем товщиною 10 мм.

Термін служби свинцевих обкладок при застосуванні хорошого рольного свинцю (утримання винця не менше 99,98%) досягає 6-8 місяців.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 11   |

Кришка етеризатора зазвичай робиться мідною і кріпиться до корпусу апарату на болтах, на спеціальній гумовій прокладці. Кришка може бути виготовлена також і сталевую (освинцевою), але тоді вона важча.

Для підтримки необхідної температури апарат повинен мати досить велику поверхню теплообміну, що забезпечує подачу певної кількості тепла і рівномірний розподіл цього тепла в реакційній суміші. Для цього завдання етеризатор забезпечується сорочкою або свинцевим змійовиком, встановленим всередині етеризатора, безпосередньо в реакційній суміші. Обігрівачим агентом зазвичай є водяна пара тиском до 3 атм. Змійовик виготовляється зі свинцевих труб зі стінками 8-9 мм і монтується всередині етеризатора на свинцевих опорах.

Термін служби свинцевих змійовиків – 2 – 4 місяці. Швидке псування змійовика пояснюється тим, що матеріал змійовиків - свинець знаходиться в несприятливих умовах.

При товщині стінок парових змійовиків менше 8 мм і вмісті домішок у свинці, що пішов на виготовлення труб змійовика, вище 0,02% термін служби змійовиків різко ображається і часто вже через 2-3 дні раоти вони виходять з ладу.

Подача пари, що гріє, в змійовик і вихід конденсату проводяться через штуцери, розташовані в кришці етеризатора.

Щоб уникнути підвищення тиску в етеризаторі вище 0,7 або останній необхідно постачати запобіжним клапаном. Під час зупинки етеризатора в ньому, а також у приєднаному до нього нейтралізаторі, завдяки конденсації парів при їх остиганні, може утворитися вакуум, в результаті якого можливі механічні пошкодження нейтралізатора та обкладки свинцевої етеризатора. Щоб запобігти утворенню вакууму в цих апаратах, на нейтралізаторі встановлюється вакуумклапан.

Для перевезення етеризатора в механічну майстерню для ремонту служить спеціальна підставка-візок.

### 1.3.2 Вибір конструкційних матеріалів [6]

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

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 12   |

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням речовини, що володіє малоагресивними властивостями, то для забезпечення умов роботи холодильної установки, прийнята сталь Ст20, що відрізняється хорошими механічними і технологічними характеристиками. Сталь добре деформується в гарячому і холодному стані і легко зварюється, що полегшує виготовлення корпусних деталей методом згинання і забезпечує високу якість зварювальних швів. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20

| C,<br>%      | Mn,<br>%    | Si,<br>%      | Cr,<br>% | Ni,<br>% | Cu,<br>% | As,<br>% | S,<br>% | P,<br>% | $E \cdot 10^5$<br>МПа | $\sigma_T$<br>МПа | $\sigma_B$<br>МПа | $\delta$<br>% |
|--------------|-------------|---------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 0,23-<br>0,3 | 0,5-<br>0,8 | 0,05-<br>0,19 | 0,3      | 0,5      | 0,3      | 0,08     | 0,05    | 0,04    | 2,0                   | 280               | 400               | 23            |

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з переробленим середовищем, приймаємо конструкційну сталь 10. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості стали представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 10

| C,<br>%       | Mn,<br>%      | Si,<br>%      | Cr,<br>% | Ni,<br>% | Cu,<br>% | As,<br>% | S,<br>% | P,<br>% | $E \cdot 10^5$<br>МПа | $\sigma_T$<br>МПа | $\sigma_B$<br>МПа | $\delta$<br>% |
|---------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 0,07-<br>0,14 | 0,35-<br>0,65 | 0,17-<br>0,37 | 0,15     | 0,25     | 0,3      | 0,08     | 0,04    | 0,04    | 2,0                   | 210               | 340               | 31            |

Для виготовлення пристроїв, необхідних для забезпечення зручності обслуговування і зовнішнього огляду апарату, вибираємо прокат з листової та профільної сталі звичайної якості – ВСт3пс3 ГОСТ 380 – 71, що поставляється за групою В (постачається за механічними властивостями та хімічним складом). На користь вибору цієї сталі приймається її низька вартість, хороша оброблюваність та відмінна зварюваність.

Для захисту зовнішніх поверхонь апарату від впливу навколишнього середовища використовуємо пентафталеве покриття – Емаль АЛ жаростійка, яка наноситься розпиленням по ґрунту для жаростійких та атмосферостійких покриттів. Це покриття стійке при тривалому впливі температури до 150°C.

## 2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

Розрахунок етеризатора зводиться, в основному, до складання матеріального балансу та визначення витрати спирту, складання теплового балансу та визначення розходу гріючої пари та розмірів гріючого змійовика та барботера.

Позначення компонентів при виробництві технічного етеру:

$G$  - Кількість парів сирого етеру, що знімається з етеризатора, кг/годину;

$G_3$  - вміст етеру в парах сирого етеру в кг;

$C_c$  - витрата спирту-сирця, що вводиться в етеризатор, кг/годину;

$a$  - ваговий відсоток абс. спирту у спирті-сирці;

$b$  - ваговий відсоток води у спирті-сирці;

$C_a$  - кількість абс. спирту у спирті-сирці в кг;

$B_c$  - кількості води в спирті-сирці в кг;

$C_3$  - кількість абс. спирту в парах сирого етеру в кг;

$B_3$  - кількість води у парах сирого етеру в кг;

### 2.1 Матеріальний баланс

Теоретична витрата спирту-сирцю буде дорівнює:

$$C_c = \frac{G \cdot 0,92 \cdot 100}{a \cdot 74} \text{ кг/год}$$

$$C_c = 1,4 \frac{100 \cdot 0,92 \cdot 92 \cdot 100}{85,75 \cdot 74} = 187 \text{ кг/год,}$$

Де 1,4 - коефіцієнт, що враховує спирт, що не прореагував у процесі етероутворення.

Кількість абс. спирту у витрачаючому спирті-сирці:

$$C_a = C_c \cdot \frac{a}{100} \text{ кг,}$$

$$C_a = \frac{85,75}{100} = 160,4 \text{ кг,}$$

Кількість води у спирту, що витрачається:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 14   |

$$B_c = C_c \cdot \frac{b}{100} \text{ кг.}$$

$$B_c = 187 \cdot \frac{14,25}{100} = 26,6 \text{ кг.}$$

З етеризатора йтиме з парами сирого етеру за годину:

Етеру:

$$C_3 = C_a - G_3 \cdot \frac{92}{74} = 92 \text{ кг;}$$

Спирту:

$$C_c = 160,4 - 92 \cdot \frac{92}{74} = 46 \text{ кг;}$$

Води:

$$\begin{aligned} B_3 &= B_c + C_3 \left( \frac{92}{74} - 1 \right) \\ &= 26,6 + 92 \left( \frac{92}{74} - 1 \right) = 49 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Складаємо рівняння розгорнутого матеріального балансу етеризатора.

Надходження зі спиртом-сирцем:

а) абс. спирту  $C_a$  - 160,4 кг або 85,5%

б) води  $B_c$  - 26,6 кг або 100%

Витрати. З сирим етером:

а) етеру  $G_e$  - 92 кг або 49,2%

б) абс. Спирту  $C_e$  - 46 кг або 24,6%

в) води  $B_e$  - 49 кг або 26,2%.

Разом - 187 кг або 100%

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 15   |

## 2.2 Тепловий баланс

Додатково до прийнятих при розрахунку матеріального балансу позначення введемо такі:

$Q_c$  - надходження тепла зі спиртом, що надходить в етеризатор, ккал/годину;

$Q_{п}$  - прихід тепла з парою, що гріє, в ккал/годину;

$Q_p$  - прихід тепла від реакції етероутворення, ккал/годину;

$Q_з$  - кількість тепла, що забирається парами сирого етеру, ккал/годину;

$Q_k$  - тепло конденсату від гріючої пари, ккал/годину;

$Q_{пот}$  - втрата тепла етеризатором в навколишнє середовище, ккал/годину;

$c$  - теплоємність спирту, що подається в етеризатор, ккал/годину °С;

$t_c$  - температура спирту, що подається в етеризатор, °С;

$D$  - витрата гріючої пари в кг/годину;

$j$  - теплосміст пари, що гріє, ккал/кг;

$l_k$  - тепловміст конденсату гріючої пари, ккал/кг;

$j_з$  – повний теплосміст пари сирого етеру, ккал/кг;

$q$  - теплота реакції етероутворення, ккал/кг;

$F$  – зовнішня тепловипромінююча поверхня етеризатора, м<sup>2</sup>;

$\beta$  – сумарний коефіцієнт теплопередачі від стін етеризатора в навколишнє повітря, °С;

$t_{п}$  і  $t_{в}$  – температури тепловипромінюючої поверхні та навколишнього повітря, °С;

$Q$  - загальна витрата тепла в ккал/годину;

Прихід тепла в етеризатор складатиметься з тепла  $Q_c$ , що вноситься спиртом, тепла  $Q_{п}$ , що вноситься парою, що гріє, і тепла  $Q_p$  від реакції утворення етеру.

Витрата тепла складатиметься з тепла  $Q_з$ , сирого етеру, що відноситься з парами, тепла  $Q_k$ , що відноситься конденсатом гріючої пари, і тепла  $Q_{пот}$ , що втрачається поверхнею етеризатора в навколишнє середовище.

Загальне рівняння теплового балансу процесу етероутворення матиме вигляд:

$$Q_c + Q_{п} + Q_p = Q_з + Q_k + Q_{пот} ,$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 16   |



де  $Q_c = C_c \cdot c \cdot t_c$ , кккал/годину;

$Q_n = D \cdot j$ , кккал/годину;

$Q_p = G_3 \cdot q$ , кккал/годину;

$Q_3 = G \cdot j_3$ , кккал/годину;

$Q_k = D \cdot l_k$ , кккал/годину;

$Q_{\text{пот}} = \beta(t_n - t)$ , кккал/годину;

Теплоємність 90°-ного спирту визначаємо як середню з її значень при температурах 0° і 60° за відповідною формулою:

$$c = (0,705 + 705 + 0,00310 \cdot 60) : 2 = 0,8 \text{ кккал/кг } ^\circ\text{C}.$$

Кількість тепла, що вводиться в етер з спиртом:

$$Q_c = 187 \cdot 0,8 \cdot 60 = 8976 \text{ ккал/год.}$$

При утворенні 1 кг етеру виділяється 116 ккал тепла. Кількість тепла, що виділяється при утворенні 92 кг етеру, дорівнює:

$$Q_p = 116 \cdot 92 = 10672 \text{ ккал/год.}$$

Повний тепломісток насичених парів сирого етеру, що залишають етеризатор, дорівнює тепломістку рідини плюс прихована теплота випаровування:

$$i_e = c_e \cdot t_e + r_e \text{ ккал/год,}$$

Де  $c_e$  - теплоємність сирого етеру в рідкій фазі, ккал/кг $^\circ\text{C}$

$t_e$  - температура парів сирого етеру в  $^\circ\text{C}$

$r_e$  - прихована теплота випаровування сирого етеру в ккал/кг

Температура  $t_e$  парів сирого етеру, що виходять з етеризатора, за практичними даними дорівнює близько 85°.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 17   |

Середня теплоємність сирого етеру:

$$C_3 = 0,492 \cdot 0,554 + 0,246 \cdot 0,724 + 0,262 \cdot 1 = 0,71 \text{ ккал/кг } ^\circ\text{C}.$$

Аналогічно визначаємо приховану теплоту випаровування сирого етеру:

$$r_e = 0,492 \cdot 72,2 + 0,246 \cdot 207,8 + 0,262 \cdot 548,2 = 230,5 \text{ ккал/кг}$$

Звідси:

$$i_e = 0,71 \cdot 85 + 230,5 = 290,8 \text{ ккал/кг}$$

Кількість тепла, що забирається парами сирого етеру з етеризатора:

$$Q_3 = 187 \cdot 290,8 = 54380 \text{ ккал/кг}.$$

### 2.3 Технологічні розрахунки

При визначенні втрат тепла в навколишнє середовище поверхнею етеризатора доводиться окремо визначати кількість тепла, що втрачається бічною ізолюваною поверхнею етеризатора, мідною неізолюваною кришкою і неізолюваним, сталевим обвинуваченим днищем, оскільки умови тепловіддачі цих поверхонь різні. При діаметрі етеризаторі рівному 800 мм, висоті циліндричної частини, що дорівнює 800 мм і наявності шару ізоляції товщиною 50 мм, бічна поверхня етеризатора, що втрачає тепло, буде дорівнює:

$$F_1 = 3,14 (1,8 + 2 \cdot 0,05) 0,8 = 11 \text{ м}^3.$$

Нехтуючи невеликою сферичністю кришки та днища, знаходимо, що поверхня кожної з них дорівнює:

$$F_2 = \frac{3,14 \cdot 8^2}{4} = 2,5 \text{ м}^2.$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Сумарний термічний опір тепловому потоку від вмісту етеризатора через бічну стінку в навколишнє середовище дорівнює:

$$E_r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5,$$

Де  $r_1$  - опір прикордонного шару робочої суміші всередині етеризатора;

$r_2$  - опору шару свинцю;

$r_3$  - опір шару сталі;

$r_4$  - опір шару ізоляції;

$r_5$  - опір під час передачі тепла від поверхні ізоляції у навколишнє середовище.

Опір  $r_1$  прикордонного стільця киплячої рідини в етеризаторі і пари сирого етеру, що конденсуються, у верхній його частині незначно в порівнянні з іншими велетинами, тому що для цього випадку беремо наближений коефіцієнт теплопередачі від киплячої рідини до стінки:

$$a_1 = 2000 \text{ ккал/м}^2 \text{ год}$$

При температурі робочої суміші етеризатора  $t_2 = 125^\circ$  приймаємо температуру зовнішньої бічної поверхні ізоляції  $t_n = 40^\circ$  та температуру навколишнього повітря  $t_b = 20^\circ$ .

Коефіцієнт теплопередачі конвекцією від поверхні ізоляції вертикальної стінки в навколишнє повітря:

$$a_k = 2,2 \sqrt[4]{40 - 20} = 4,65 \text{ ккал/год.}$$

Для поверхні ізоляції, покритої масляною фарбою коефіцієнт випромінювання  $C = 3,71 \text{ ккал/м}^2 \text{ час}$ ,  $T_n = 273 + 40 = 313^\circ$  і  $T_b = 273 + 20 = 293^\circ$ .

Звідси:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 19   |

$$a_{\text{л}} = \frac{3,71 \left( \left( \frac{313}{100} \right) - \left( \frac{293}{100} \right) \right)}{40 - 20} = 4,08 \text{ ккал/год.}$$

Сумарний коефіцієнт теплопередачі:

$$\beta = a_{\text{к}} + a_{\text{л}} = 4,65 + 1,08 = 8,73 \text{ ккал/м,}$$

Звідси

$$r = \frac{1}{8,73} = 0,1145.$$

Сумарний термічний опір:

$$\Sigma r = 0,0005 + 0,000345 + 0,000375 + 0,5 + 0,1145 = 0,616.$$

Приймаємо температуру кришки, що дорівнює температурі робочої суміші в апараті (125 градусів), тоді

$$a_{\text{к}} = 2,8 \sqrt{125 - 20} = 8,97 \text{ ккал/м}$$

Температуру днища етеризатора приймаємо рівною температурі робочої суміші, тоді коефіцієнт теплопередачі конвекцією дорівнюватиме коефіцієнту, визначеному для кришки, тобто

$$a_{\text{к}} = 8,97 \text{ ккал/м}$$

Втрата тепла днищем дорівнюватиме:

$$Q_{\text{пот}} = 2,5 \cdot 16,22 (125 - 20) = 260 \text{ ккал/год}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Загальна втрата тепла етеризатором становитиме:

$$Q_{\text{з пот}} = 1922 + 2700 + 4260 = 8882 \text{ ккал/кг}$$

Визначаємо необхідну витрату пари, що гріє.

Повний тепломісток насиченої водяної пари  $i$  при заданому тиску  $P$ , рівному 4 ата, становить 655,4 ккал/кг, а теплосміст конденсату  $i_k = 144,2$  ккал/кг.

Витрата гріючої пари дорівнює:

$$D = \frac{54380 - 8976 - 10672 + 8882}{655,4 - 144,2} = 85,32 \text{ кг/год.}$$

## 2.4 Конструктивні розрахунки

### Розрахунок обігриваючого змійовика

Для визначення необхідної тепловіддачі змійовика етеризатора, що обігриває, ми розташовуємо наступними даними:

$Q$  - кількість тепла, яке потрібно передати робочої суміші в етеризаторі від пари, що конденсується в змійовику = 43614 ккал/год.

$t_1$  - температура конденсації надходить для обігріву насиченої пари = 142,8°.

$t_2$  - температура робочої суміші в етеризаторі = 125°.

Приймаємо:

$a_1$  - коефіцієнт теплопередачі від водяної пари, що конденсується, до стінки = 10000 ккал/м<sup>2</sup>°С;

$a_2$  - коефіцієнт теплопередачі від стінки труби змійовика до киплячої робочої суміші = 2000 ккал/м<sup>2</sup>°С;

$d_{\text{в}}$  - внутрішній діаметр труби змійовика = 8 мм;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності свинцю = 28.

$\delta$  - товщина стінки труби змійовика = 8 мм.

Загальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10000} + \frac{0,008}{28} + \frac{1}{2000}} = 1130 \text{ ккал/м}^2\text{°С};$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 21   |

Необхідна поверхня теплопередачі змійовика:

$$F = \frac{4,35}{565 (142,8 - 125)} = 4,35 \text{ м}^2;$$

довжина труби змійовика

$$l = \frac{F}{3,14 d_m} = \frac{4,35}{3,14 \cdot 0,046} = 30 \text{ м},$$

Де  $d_m$  - зовнішній діаметр труби змійовика  $= d_B + 2 \cdot 8 = 30 + 2 \cdot 8 = 46 \text{ мм}$ .

Відношенн:

$$\frac{l}{d_B} = \frac{80}{0,03} = 1000.$$

Діаметр штуцера для відведення пари

Щоб визначити діаметр штуцера для відведення парів сирого етеру з етеризатора, визначимо об'єм парів, що виходять з апарату в секунду, для чого тиск парів  $P$  приймаємо рівним 0,3 ат:

$$L = \left( \frac{92}{74} + \frac{46}{46} + \frac{49}{18} \right) \cdot \frac{22,4(273+85)}{273 \cdot 1,3 \cdot 3600} = 0,3 \text{ м}^3/\text{сек}$$

Приймаючи швидкість парів у трубопроводі, що дорівнює 10 м/сек, знаходимо діаметр штуцера:

$$d = \sqrt{\frac{0,03}{0,785 \cdot 10}} = 0,062 \text{ м, або } 62 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $d = 65 \text{ мм}$ .

## 2.5 Гідравлічні розрахунки

Коефіцієнт тертя для обігрівуючого компоненту при перехідному режимі руху

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

$$\lambda = \frac{64}{880} = 0,073$$

Втрата тиску по довжині труб в апараті

$$\Delta p_T = \lambda \cdot \frac{L}{d_{BH}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}$$

$$\Delta p_T = 0,073 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{0,042^2 \cdot 998}{2} = 184 \text{ Па.}$$

Коефіцієнт місцевих опорів для простору в апараті [(2, с.26)]:

- вхідна або вихідна ділянка,  $\zeta = 1,5$ ;
- вхід у труби або вихід із них,  $\zeta = 1,0$ .

Втрати тиску на місцевих опорах

$$\Delta p_M = \sum \zeta \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}$$

$$\Delta p_M = (2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1) \cdot \frac{0,042^2 \cdot 998}{2} = 88 \text{ Па.}$$

Загальна втрата тиску для пари

$$\Delta p = \Delta p_T + \Delta p_M = 184 + 88 = 272 \text{ Па.}$$

## 2.6 Вибір допоміжного обладнання

Виконаємо розрахунок відцентрового насоса для подачі спирту сирця, що охолоджує, в конденсатор.

Витрати спирту

$$V = \frac{G}{\rho}$$

$$V = \frac{0,4}{812} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 23   |

у конденсаторі під надлишковим тиском 0,1 МПа. Довжина трубопроводу на лінії всмоктування 3 м, на лінії нагнітання 10 м. На лінії всмоктування встановлено один вентиль, на лінії нагнітання – один вентиль і дросельна за- слінка, є також два коліна під кутом 90<sup>0</sup>. Прийmemo швидкість води у всмокту- вальному та нагнітальному трубопроводах однакової, що дорівнює 1 м/с. Тоді діаметр трубопроводу

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}},$$

де  $\omega$  - швидкість води, м/с;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0004}{3,14 \cdot 0,8}} = 0,026.$$

Приймаємо трубопровід із сталі марки 08X18H10T, діаметром 30×2 мм. Визначаємо величину критерію Re

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 0,026 \cdot 998}{1,0 \cdot 10^{-3}} = 25948 ,$$

режим руху турбулентний.

Приймаємо абсолютну шорсткість стін труб,  $e = 0,2$  мм [2], ступінь шор- ткості

$$\frac{d}{e} = \frac{26}{0,2} = 130.$$

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

$$\lambda = 0,0305$$

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

- вхід у трубу  $\varepsilon = 0,5$ ;
- вентиль для  $d = 0,013$  мм  $\varepsilon = 6,7$ .

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



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

для нагнітальної лінії

- вихід із труби  $\varepsilon = 1,0;$
- нормальний вентиль  $\varepsilon = 6,7;$
- дросельна заслінка  $\varepsilon = 0,9;$
- 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

$$h_{\text{вс}} = \left( 0,0305 \cdot \frac{3}{0,026} + 11,8 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,78 \text{ м.}$$

нагнітальної лінії

$$h_{\text{н}} = \left( 0,0305 \cdot \frac{10}{0,026} + 11,8 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 1,2 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору

$$h_{\text{п}} = 0,78 + 1,2 = 1,98 \text{ м.}$$

Визначаємо повний напір [2]

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + H_{\text{г}} + h_{\text{п}}$$

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

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{998 \cdot 9,81} + 2 + 1,98 = 14,2 \text{ м.}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 25   |

Корисна потужність насосу

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

де  $V$  – витрати спирту, м<sup>3</sup>/с;

$$N_{\text{п}} = \frac{812 \cdot 9,81 \cdot 14,2 \cdot 0,0004}{1000} = 1,0 \text{ кВт.}$$

Потужність на валу двигуна

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

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

$$N_{\text{дв}} = \frac{1,0}{0,7 \cdot 1,0} = 1,42 \text{ кВт.}$$

Установча потужність двигуна з урахуванням пускових моментів

$$N_{\text{уст}} = \frac{1,2 \cdot N_{\text{дв}}}{\eta_{\text{дв}}} = \frac{1,2 \cdot 1,42}{0,85} = 2,0 \text{ кВт.}$$

Встановлюємо при  $V = 3,02$  м<sup>3</sup>/год відцентровий насос марки X 8/18 з наступною характеристикою: продуктивність 8 м<sup>3</sup>/год, напір 18 м.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 26   |

### 3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність

#### 3.1 Розрахунок навантажень в апараті

Розрахункова температура стінок визначається на підставі теплових розрахунків або результатів випробувань

$$t_{\max} = \{ t_c; 20^\circ\text{C} \},$$

де  $t_c$  – найбільша температура середовища,  $t_c = 125^\circ\text{C}$ ;

$$t_{\max} = \{ 125; 20^\circ\text{C} \} = 125^\circ\text{C}.$$

Розрахунковий тиск усередині апарата визначається за формулою

$$P_{p.ap} = P_a + P_{г.ap} ,$$

де  $p_a$  – робочий тиск в апараті,  $p_a = 0,1$  МПа;  $p_{г.ap}$  – гідростатичний тиск середовища

$$P_{г.ap} = \rho_c \cdot g \cdot H^* ,$$

де  $H^*$  – висота шару середовища в апараті;  $\rho_c$  – щільність середовища,  $\rho_c = 812$  кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

$$H^* = H \cdot \varphi_3 = 0,8 \cdot 0,75 = 0,5 \text{ м},$$

де  $H$  – висота корпусу апарата,  $H = 0,8$  м;  $\varphi_3$  – коефіцієнт заповнення,  $\varphi_3 = 0,75$ .

Тоді

$$P_{г.ap} = 812 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 9239 \text{ Па} = 0,002 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск середовища враховується в тому випадку, якщо він перевищує 5% від робочого тиску

$$\frac{P_{г.ap}}{P_a} \cdot 100\% \leq 5\% ;$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 27   |

$$\frac{0,002}{0,1} \cdot 100\% = 2\% < 5\% .$$

Оскільки умова виконується

$$p_{a.p} = 0,1 \text{ МПа}$$

Однак, для судин і апаратів, що працюють під тиском, що не перевищує 0,2 МПа, розрахунковий тиск слід приймати рівним 0,2 МПа, [6, с. 8] отже приймаємо

$$p_{a.p} = 0,2 \text{ МПа}$$

Напруга, що допускається, у робочому стані:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 1 \cdot 145 = 145 \text{ МПа},$$

де  $\eta = 1,0$  для листового прокату [6, с. 10];  $\sigma^* = 145$  МПа – нормативна напруга, що допускається, при робочій температурі  $t = 125^\circ\text{C}$  [6, табл.1.2] для сталі;

При гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_{\text{и}} = \frac{\sigma_{\text{т}}}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа},$$

де  $\sigma_{\text{т}} = 240$  МПа – розрахункове значення границі текучості [6, табл.1] при температурі  $20^\circ\text{C}$ .

Коефіцієнт запасу стійкості:

- для робочих умов  $n_y = 2,4$  [6];

- для умов випробувань  $n_{y.и} = 1,8$  [6].

Розрахункові значення модуля пружності для сталі X12H10T при  $t = 70^\circ\text{C}$  и  $t = 20^\circ\text{C}$  відповідно дорівнюють [6]

$$E = 2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа (при температурі } 20^\circ\text{C)}$$

$$E = 1,98 \cdot 10^5 \text{ МПа (при температурі } 56^\circ\text{C)}$$

Коефіцієнт міцності зварних швів при автоматичному дуговому електрозварюванні [1, табл.1.7]  $\phi = 1,0$ .

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Збільшення до розрахункових товщин стінок при терміні служби апарата  $\tau = 10$  років:

а) для компенсації корозії: обичайки і днища корпусу:

$$c_k = P \cdot \tau = 0,13 \cdot 10 = 1,3 \text{ мм};$$

кришки:

$$c_{k,kr} = P \cdot \tau = 0,13 \cdot 10 = 1,3 \text{ мм};$$

б) для компенсації ерозії  $c_3 = 0$ , тому що ерозія відсутня;

в) для компенсації мінусового допуску й зменшення товщини стінки елементів апарата відповідно  $c_2 = 0$  и  $c_3 = 0$ .

Тоді за умови, що  $c_1 = c_k + c_3$ , величина величина сумарного збільшення до розрахункових товщин:

обичайки і днища корпусу:

$$c = \sum c_i = c_k = 1,3 \text{ мм};$$

кришки:

$$c_{kr} = 1,3 \text{ мм}$$

Коефіцієнт лінійного розширення для вуглецевих сталей у температурному діапазоні від  $20^\circ\text{C}$  до  $200^\circ\text{C}$  [6, таблиця X1]

$$\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}.$$

Розрахункова довжина обичайки апарата:

$$l_p = H - 2/3 \cdot H_{\text{дн}} = 800 - 2/3 \cdot 350 = 1387 \text{ мм},$$

де  $H_{\text{дн}} = 350$  мм – висота невідбортованої частини днища.

### 3.2 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки

Вихідні дані:

внутрішній діаметр корпусу

$$D = 800 \text{ мм};$$

розрахунковий тиск в апараті

$$p_a = 0,2 \text{ МПа};$$

робоча температура середовища в апараті

$$t_c = 125 \text{ } ^\circ\text{C};$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 29   |

матеріал апарата

сталь 20;

щільність середовища в апараті

$\rho = 812 \text{ кг/м}^3$ ;

термін служби апарата

$\tau = 10$  років.

Розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} K_2 D \cdot 10^{-2} \\ \frac{1,1 p_{н,р} D}{2[\sigma]} \end{array} \right\}$$

де  $K_2 = 0,57$  – по номограмі при значенні  $K_1$  та  $K_3$  [6, рис. 1.14]; прийнятий тиск в обігрівача  $p_{н,р} = 0,2 \text{ МПа}$

$$K_1 = \frac{n_y \cdot p_{н,р}}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E}$$

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,2}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 1,0$$

$$K_3 = \frac{\ell_p}{D}$$

$$K_3 = \frac{1387}{800} = 0,98$$

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,57 \cdot 0,8 \cdot 10^{-2} \\ \frac{1,1 \cdot 0,2 \cdot 0,8}{2 \cdot 145} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7,0 \cdot 10^{-3} \\ 1,1 \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} = 7,0 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки корпусу

$$s = s_p + c = 7,0 + 1,3 = 8,3 \text{ мм}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Приймаємо стандартне значення товщини стінки кожуха  $s = 9$  мм [8, табл.7.2].

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_{a.p} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot p_{II}}$$

$$s_p = \frac{0,2 \cdot 800}{2 \cdot 1,0 \cdot 145 - 0,5 \cdot 0,2} = 1,0 \text{ мм}$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{кр} = s_p + c = 1,0 + 1,3 = 2,3 \text{ мм}$$

З метою уніфікації сортаменту матеріалу та навантаження від ваги приводу приймаємо  $s_{кр} = 9,0$  мм.

### 3.3 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки і корпуса апарата при  $D_{вн} = 800$  мм і  $p = 0,2$  МПа вибирається по ОСТ 26-426-79 з плоскими приварними фланцями й ущільнювальною поверхнею.

Товщина втулки фланця [6]

$$s_0 \leq 1,35 \cdot s,$$

де  $s = 9$  мм – товщина обичайки апарата.

$$s_0 = 1,35 \cdot 9 = 13,2 \text{ мм},$$

приймаємо  $s_0 = 14$  мм.

Перевіряємо виконання умови

$$s_0 - s \leq 5$$

$14 - 9 = 5 \leq 5$  – умова виконується.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 31   |

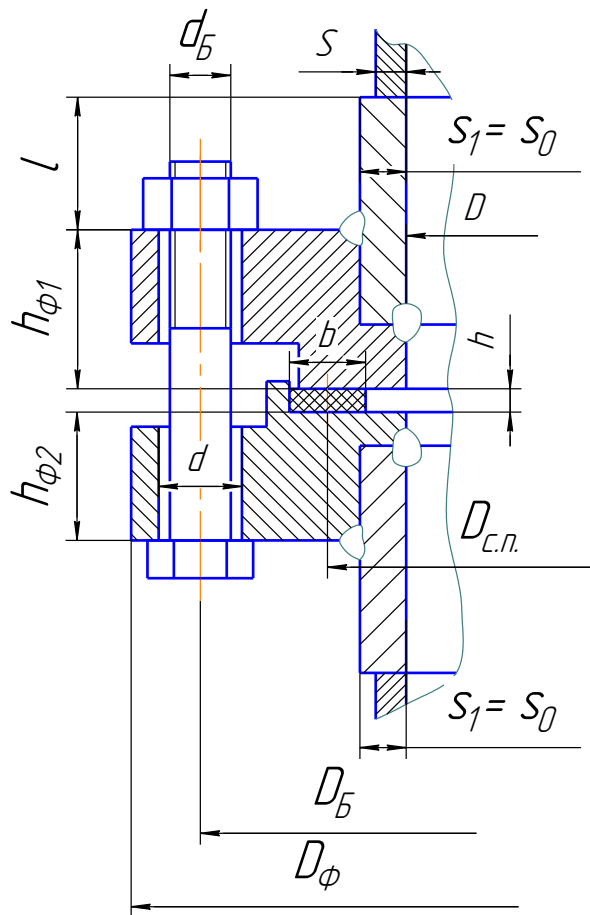


Рисунок 3.1 - Схема з'єднання фланця  
Визначимо діаметр болтової окружності [8, с.263]

$$D_{\phi} = D_{\text{вн}} + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_{\phi} + u),$$

де  $d_{\phi} = 20$  мм – діаметр болтів при  $D_{\text{вн}} = 800$  мм і  $p = 0,2$  МПа [6, табл. 1.40];  $u = 6$  мм – нормативний зазор між гайкою і втулкою ( $u = 4 \div 6$ , [8, табл.9]).

$$D_{\phi} = 0,8 + 2 \cdot (2 \cdot 0,01 + 0,02 + 0,006) = 892 \text{ м},$$

приймаємо  $D_{\phi} = 0,89$  м [8, табл.. 13.7]

Зовнішній діаметр фланця [6, с.264]

$$D_{\phi} \geq D_{\phi} + a,$$

де  $a = 40$  мм [8, табл.13.27]

$$D_{\phi} = 0,89 + 0,04 = 0,93 \text{ м},$$

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

6.133.22.01.00.00.00 ПЗ

Арк.

32



приймаємо  $D_{\phi} = 0,93$  м [8, с.264]

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [8, 13.11]

$$D_{\Pi} \geq D_{\phi} - e,$$

де  $e = 30$  мм [8, табл.13.27]

$$D_{\Pi} = 0,89 - 0,03 = 0,86 \text{ м}$$

Середній діаметр прокладки [8, 13.12]

$$D_{\text{ср.}\Pi} \geq D_{\Pi} - b_{\Pi},$$

де  $b_{\Pi} = 20$  мм – ширина прокладки [6, табл.1.42]

$$D_{\text{ср.}\Pi} = 0,86 - 0,02 = 0,84 \text{ м}$$

Еквівалентна ширина прокладки

$$b_e = b = 20 \text{ мм};$$

Застосовуємо матеріал прокладки – паронит за ГОСТ 481-80 товщиною 2 мм.

Кількість болтів, необхідна для забезпечення герметичності з'єднання, визначається за формулою [6]

$$Z_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}}{t_{\phi}},$$

де  $t_{\phi}$  – крок болтів,  $t_{\phi} = (4,2 \div 5) \cdot d_{\phi} = 5,0 \cdot 20 = 100$  мм

$$Z_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,89}{0,1} = 24$$

Приймаємо [8, табл. 13.7] кратне чотирьом значення  $Z_{\phi} = 24$

Висота фланця визначається за формулою

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_e \cdot s_e},$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 33   |

де  $\lambda = 0,38$  – коефіцієнт [8, рис.13.14];  $s_e$  – еквівалентна товщина втулки фланця

$$s_e = \alpha \cdot s_0,$$

де  $\alpha = 1,0$  – для плоского приварного фланця

$$s_e = 1,0 \cdot 14 = 14 \text{ мм};$$

$$h = 0,38 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 0,014} = 0,034 \text{ м},$$

приймаємо  $h = 35$  мм.

Розрахункова довжина болта між опорними поверхнями голівки болта і гайки

$$l_b = l_{bo} + 0,28 \cdot d_b;$$

$$l_{bo} = 2 \cdot (h_{cp} + s_n);$$

$$l_{bo} = 2 \cdot (40 + 2) = 84 \text{ мм};$$

$$l_b = 84 + 0,28 \cdot 20 = 89,6 \text{ мм};$$

приймаємо  $l_b = 90$  мм.

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання

$$Q_d = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{cp,п}^2}{4},$$

де  $p_R = 0,2$  МПа – внутрішній тиск в апараті;  $D_{cp,п} = 0,84$  м – середній діаметр прокладки.

$$Q_d = \frac{0,2 \cdot 3,14 \cdot 0,84^2}{4} = 0,326 \text{ МН}$$

Реакція прокладки за робочих умов [2]

$$R_n = \pi \cdot D_{cp} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R,$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 34   |

де  $m = 2,5$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки (табл.13.28 [8]);

$$R_n = 3,14 \cdot 0,84 \cdot 0,02 \cdot 2,5 \cdot 0,2 = 0,045 \text{ МН}$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_\sigma \cdot f_\sigma \cdot E_\sigma \cdot (\alpha_{cp} \cdot t_{cp} - \alpha_\sigma \cdot t_\sigma),$$

де  $\alpha_{cp} = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця;  $\alpha_\sigma = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болтів;  $t_\sigma = 0,96 \cdot t_p = 0,96 \cdot 70 = 67^\circ\text{C}$  – розрахункова температура неізольованих болтів;  $\gamma$  – безрозмірний коефіцієнт;  $Z_\sigma$  – кількість болтів;  $f_\sigma = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – розрахункова площа поперечного переріза болта по зовнішньому діаметру;  $E_\sigma = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – модуль поздовжньої пружності сталі 20 при  $t_\sigma = 67^\circ\text{C}$ .

$$\gamma = A \cdot Y_\sigma,$$

де  $Y_\sigma$  – лінійна піддатливість болта.

$$Y_\sigma = \frac{l_\sigma}{E_\sigma \cdot f_\sigma \cdot Z_\sigma}$$

$$Y_\sigma = \frac{0,09}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 24} = 4,18 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$$A = [Y_\pi + Y_\sigma + 0,25 \cdot (Y_{\phi 1} + Y_{\phi 2}) \cdot (D_\sigma - D_{cp,\pi})]^{-1},$$

де  $Y_\pi$  – лінійна піддатливість прокладки;  $Y_{cp} = Y_{\phi 1} = Y_{\phi 2}$  – кутова піддатливість фланця;

$$Y_\pi = \frac{s_n}{\pi \cdot D_{cp,\pi} \cdot b_\pi \cdot E_\pi}$$

$$Y_\pi = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,84 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 11,1 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН};$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 35   |

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E},$$

де  $\omega$  – безрозмірний параметр;  $\psi_2$  – коефіцієнт, що визначається за рис.13.17 [8].

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1},$$

де  $\psi_1, j$  – коефіцієнти

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg k;$$

$$k = \frac{D_{\phi}}{D_{\text{вн}}} - \text{для плоских фланців};$$

$$k = \frac{0,93}{0,8} = 1,093;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,093 = 0,049,$$

$$\psi_2 = \frac{k + 1}{k - 1} = \frac{1,093 + 1}{1,093 - 1} = 22,51;$$

$$j = \frac{h}{s_e} = \frac{0,035}{0,014} = 2,5 \quad [6, \text{с. 226}]$$

Тоді

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 0,049 \cdot 2,5^2)]^{-1} = 0,691;$$

$$y_{\phi} = \frac{[1 - 0,691 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 22,51}{0,035^3 \cdot 1,91 \cdot 10^5} = 0,2 \text{ м/МН};$$

$$A = [11,1 \cdot 10^{-6} + 4,18 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,2 \cdot (0,89 - 0,84)^2]^{-1} = 3,3 \cdot 10^3 \text{ МН/м};$$

отже

$$\gamma = 3,3 \cdot 10^3 \cdot 4,18 \cdot 10^{-5} = 0,138;$$

зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = 0,138 \cdot 24 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,98 \cdot 10^5 \cdot (12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 68 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 67) = 0,0039 \text{ МН}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_{ж} = \frac{Y_{\delta} + 0,5Y_{cp}(D_{\delta} - D - s_o) \cdot (D_{\delta} - D_{cp.п})}{Y_{п} + Y_{\delta} + Y_{\phi}(D_{\delta} - D_{cp.п})^2}$$

$$k_{ж} = \frac{4,18 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,2 \cdot (0,89 - 0,8 - 0,014) \cdot (0,89 - 0,84)}{11,1 \cdot 10^{-6} + 4,18 \cdot 10^{-5} + 0,2 \cdot (0,89 - 0,84)^2} = 0,763$$

Визначимо болтове навантаження. В умові монтажу [8]

$$p_{\delta 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{ж} \cdot Q_d + R_n \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{cp.п} \cdot b_{п} \cdot p_{пр} \end{array} \right\},$$

де  $p_{пр}$  – пробний тиск стиску прокладки, для парониту за табл. 4 [8]  
 $p_{пр} = 20$  МПа.

$$p_{\delta 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,763 \cdot 0,326 + 0,045 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,84 \cdot 0,02 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,294 \\ 0,904 \end{array} \right\} = 0,904 \text{ МН}$$

За робочих умов [8]

$$p_{\delta 2} = p_{\delta 1} + (1 - k_{ж}) \cdot Q_d + Q_t$$

$$p_{\delta 2} = 0,904 + (1 - 0,763) \cdot 0,326 + 0,0039 = 0,985 \text{ МН}$$

Перевірка міцності і герметичності з'єднання  
 умова міцності болтів [6]

$$\frac{P_{\delta 1}}{Z_{\delta} \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma_{\delta}]^{20},$$

$$\frac{P_{\delta 2}}{Z_{\delta} \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma_{\delta}]^t,$$

де  $[\sigma_{\delta}]^{20} = 200$  МПа – для матеріалу болтів при температурі 20°C;  $[\sigma_{\delta}] = 184$  МПа – для матеріалу болтів при температурі 70°C.

$$\frac{0,904}{24 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 200 = 80 \leq 200 - \text{умова виконується;}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

$$\frac{0,985}{24 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 184 = 87 \leq 184 - \text{умова виконується.}$$

Визначимо приведений згинальний момент за формулою 1.145 [6]

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{61} \\ 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{62} \end{array} \right\}$$

$$M_0 = \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (0,89 - 0,84) \cdot 0,904 \\ 0,5 \cdot (0,89 - 0,84) \cdot 0,985 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0226 \\ 0,0246 \end{array} \right\} = 0,0246 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

За формулою 1.141 [6] для прокладки з парониту

$$\frac{p_{\sigma \text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} \leq p_{\text{п.р}}$$

де  $p_{\text{п.р}}$  – тиск, що допускається, на прокладку за табл. 1.44 [6]  $p_{\text{п.р}} = 130$  МПа;

$$p_{\sigma \text{max}} = \max \{ p_{61}; p_{62} \}$$

$$p_{\sigma \text{max}} = \max \{ 0,904; 0,985 \} = 0,985 \text{ МН.}$$

$$\frac{p_{\sigma \text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} = \frac{0,985}{3,14 \cdot 0,84 \cdot 0,02} = 11 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа,}$$

умова міцності виконується.

Для перетину, обмеженого розміром  $s_0$  перевіряємо умову за формулою 1.147 [6]:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma_0],$$

де  $\sigma_0$  – максимальна напруга в перетині, обмеженому розміром  $s_0$ , що визначається за формулою 1.148 [6];  $\varphi = 0,95$  – коефіцієнт міцності зварних швів;  $[\sigma_0]$  – напруга, що допускається, для фланця в перетині  $s$  при кількості навантажень з'єднання (зборка-розбирання) не більше  $2 \cdot 10^3$ ;  $\sigma_t$  – тангенціальна напруга у втулці від внутрішнього тиску;  $\sigma_m$  – тангенціальна напруга у втулці від внутрішнього тиску;

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_m = \frac{p_p \cdot D_{вп}}{4 \cdot (s_0 - c)}$$

$$\sigma_m = \frac{0,2 \cdot 0,8}{4 \cdot (0,014 - 0,0013)} = 6 \text{ МПа};$$

за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_t = \frac{p_p \cdot D_{вп}}{2 \cdot (s_0 - c)}$$

$$\sigma_t = \frac{0,2 \cdot 0,8}{2 \cdot (0,014 - 0,0013)} = 12 \text{ МПа};$$

за формулами 1.143 і 1.148 [6]

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{cp} \cdot M_0 \cdot v}{D^* \cdot (s_0 - c)^2},$$

де  $\psi_3 = 1$  – для плоских приварних фланців;  $T_{cp}$  – безрозмірний коефіцієнт;

за формулою 1.144 [6]

$$T_{cp} = \frac{D_\phi^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_\phi}{D_{вп}}\right) - D_{вп}^2}{(1,05 \cdot D_n^2 + 1,945 \cdot D_\phi^2) \cdot \left(\frac{D_\phi}{D_{вп}} - 1\right)}$$

де  $D_n = 0,86$  м – зовнішній діаметр прокладки;

$$T_{cp} = \frac{0,93^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{0,93}{0,8}\right) - 0,8^2}{(1,05 \cdot 0,86^2 + 1,945 \cdot 0,93^2) \cdot \left(\frac{0,93}{0,8} - 1\right)} = 1,968$$

$$\sigma_0 = \frac{1 \cdot 1,968 \cdot 0,0246 \cdot 0,691}{0,8 \cdot (0,014 - 0,0013)^2} = 148 \text{ МПа};$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 39   |

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 570 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$\sqrt{(148 + 6)^2 + 12^2} - (148 + 6) \cdot 12 \leq 0,95 \cdot 570$$

149 < 542 – умова міцності виконана.

Окружний тиск у кільці фланця

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{cp})] \cdot \psi_2}{(D_{вн} \cdot h_{\psi}^2)}$$

$$\sigma_k = \frac{0,0246 \cdot 22,51 \cdot [1 - 0,691 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)]}{0,8 \cdot 0,035^2} = 16 \text{ МПа.}$$

Визначаємо кут повороту фланця за формулою 1.150 [6]

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D_{вн}}{E \cdot h_{cp}} \leq [\Theta],$$

де  $[\Theta] = 0,009$  рад – кут повороту фланця, що допускається.

$$\Theta = \frac{16 \cdot 0,8}{1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,035} = 0,0034 < 0,009 \text{ рад,}$$

тобто умова герметичності з'єднання виконується.

### 3.4 Розрахунок товщини трубної решітки

Вихідні дані для розрахунку:

- внутрішній діаметр D = 500 мм;
- розрахунковий тиск у трубному просторі p<sub>т</sub> = 0,16 МПа;
- допустима напруга при згині для сталі 08X18H10T [σ<sub>и</sub>] = 146 МПа;
- діаметр труб d = 25x2 мм;
- кількість труб n<sub>т</sub> = 82.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 40   |



Мінімальний крок між трубками

$$t = 1,3 \cdot d = 1,3 \cdot 25 = 32,5 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт ослаблення решітки отворами

$$\varphi_o = \frac{D_{\Pi} - z \cdot d_{\Pi}}{D_{\Pi}},$$

де  $D_{\Pi}$  – середній діаметр ущільнюючої прокладки, м;  $z$  – число труб на діаметрі решітки, що визначається за формулою [4]

$$z = 2 \cdot \sqrt{\frac{n_{\Gamma} - 1}{3} + 0,25}$$

$$z = 2 \cdot \sqrt{\frac{82 - 1}{3} + 0,25} = 5.$$

Тоді

$$\varphi_o = \frac{0,55 - 5 \cdot 0,025}{0,55} = 0,77.$$

Товщина трубної решітки [(4, IV.27)]

$$h = K \cdot D_{\Pi} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\Gamma}}{\varphi_o \cdot [\sigma_{\Pi}]} + c},$$

де  $K$  – коефіцієнт, що залежить від типу решітки;  $c$  – збільшення на корозію.

Для ґрат типу I [(4, с.80)]

$$K = 0,47;$$

отже

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 41   |

$$h = 0,47 \cdot 0,55 \cdot \sqrt{\frac{0,16 \cdot 10^6}{0,77 \cdot 146 \cdot 10^6}} + 0,001 = 0,011 \text{ м.}$$

Висота ґрат зовні (4, IV.29)

$$h_1 = K_1 \cdot D_{II} \cdot \sqrt{\frac{\rho_T}{[\sigma_{II}]} + c},$$

де  $K_1 = 0,28$  – коефіцієнт для ґрат типу I.

$$h_1 = 0,28 \cdot 0,55 \cdot \sqrt{\frac{0,16 \cdot 10^6}{146 \cdot 10^6}} + 0,001 = 0,005 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартні значення товщини ґрат:  $h = 28$  мм і  $h_1 = 20$  мм.

### 3.5 Розрахунок та вибір опори

Маса обичайки кожуха

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

де  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup> – щільність сталі.

$$m_k = \left[ \frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,009)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 0,8 \cdot 7850 = 220 \text{ кг,}$$

Маса кришки та днища [6]

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

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,009 \cdot 7850 = 6 \text{ кг.}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 42   |

Маса труб

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

$$m_{\text{тр}} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 0,8 \cdot 82 \cdot 7850 = 558 \text{ кг},$$

Маса фланця з ґратами

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

де  $D_{\text{ф}}$  – зовнішній діаметр фланця,  $h_{\text{ф}}$  – висота фланця.

$$m_{\text{ф}} = \frac{3,14 \cdot 0,81^2}{4} \cdot 0,028 \cdot 7850 = 45 \text{ кг},$$

Об'єм трубного простору

$$V_{\text{м}} = f_{\text{мпр}} \cdot H$$

$$V_{\text{м}} = 0,019 \cdot 0,6 = 0,114 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення  $\varphi = 0,7$  маса спирта

$$m_{\text{с}} = V_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot \varphi$$

$$m_{\text{с}} = 0,114 \cdot 812 \cdot 0,7 = 58 \text{ кг}.$$

Сила тяжкості апарата у робочому стані

$$G = g \cdot (m_{\text{к}} + 2 \cdot m_{\text{кр}} + m_{\text{тр}} + 2 \cdot m_{\text{ф}} + m_{\text{с}})$$

$$G = 9,81 \cdot (220 + 2 \cdot 6 + 558 + 2 \cdot 45 + 58) = 9200 \text{ Н} = 9,2 \text{ кН}.$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 43   |

Приймаємо кількість опор  $n = 4$  шт.

Навантаження на одну опору

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

Вибираємо сідлову опору типу 1 з допустимим навантаженням  $Q = 5$  кН. Позначення опори: Опора 5-819-1 ОСТ 26-1265-75.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж апарата [12]

Монтаж етеризаторів повинен виконуватись спеціалізованими монтажними організаціями відповідно до вимог інструкції з монтажу, розробленої підприємством-виробником.

Технологічні лінії, в яких встановлені етеризатори, повинні бути обладнані очисними, пиловловлюючими та газоочисними пристроями, що забезпечують чистоту стоків та скидаються в атмосферу газів відповідно до встановлених норм.

Етеризатори повинні забезпечувати нормальну роботу при виконанні таких умов:

кваліфікованому монтажі та технічному обслуговуванні відповідно до інструкції підприємства-виробника з експлуатації;

суворе дотримання заходів техніки безпеки;

підтримки всього обладнання сушарки у постійній технічній готовності.

Етеризатори повинні експлуатуватися за робочих параметрів, що не перевищують допустимих значень, зазначених у паспорті.

Замовником на підставі вимог паспорта та інструкцій з монтажу та експлуатації етеризатора підприємства-виробника має бути складена конкретна інструкція з експлуатації (в обсязі, передбаченому ГОСТ 2.601) з урахуванням місцевих умов виробництва.

### 4.2 Ремонт апарата [13]

Проведення технічного обслуговування та ремонтів технологічного (механічного) обладнання здійснюється на підставі Єдиної системи планово-запобіжного ремонту та раціональної експлуатації технологічного обладнання машинобудівних підприємств, що містить у собі:

- а) визначення ремонтних робіт з видів та їх опис;
- б) планування профілактичних операцій (регулювання, підтяжка болтових з'єднань і т.д.) та контролювання їх здійснення;
- в) встановлення тривалості ремонтних циклів, міжремонтних періодів;
- г) визначення категорій ремонтоскладності для всіх видів обладнання;
- д) організацію служби для виробництва ремонтних робіт;

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

- е) застосування сучасних методів ремонту обладнання, що спрощують технологію та методи відновлення зношених деталей;
- ж) організацію закупівель готових запчастин, впровадження прогресивних технологічних процесів виготовлення запчастин, їх зберігання та облік;
- з) ведення мастильного господарства;
- і) організацію матеріального постачання ремонтної служби;
- к) організацію контролю якості ремонту та догляду за обладнанням

Порядок виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту

Керівник ремонтної служби наприкінці кожного року на наступний розробляє річний графік планово-запобіжних ремонтів. Річний графік розписується по місяцях і видається керівникам виробничих ділянок.

Огляди та усі види ремонтів роблять слюсарі-ремонтники та електрослюсарі ремонтної служби (далі в тексті – персонал). Ремонтний, черговий і експлуатаційний персонал зобов'язаний знати і дотримуватись правил технічної експлуатації встаткування, викладені в інструкції з технічного обслуговування встаткування, знати і виконувати діючі посадові інструкції. Інструкції технічного обслуговування обладнання повинні перебувати на робочих місцях, де встановлено обладнання.

Керівник виробничої ділянки закріплює встаткування за експлуатаційним персоналом, прізвища, яких пишуться на спеціальних планшетах, розміщених на встаткуванні.

Керівник виробничої ділянки регулярно затыгує зауваження щодо технічного стану встаткування в журналі своєї ділянки.

Експлуатаційний персонал ділянок бере участь у технічному обслуговуванні та ремонті закріпленого за ним обладнання.

Види технічного обслуговування та ремонтів технологічного обладнання:

I вид - внутрішнзмінне технічне обслуговування - поточний ремонт;

II вид – огляд;

III вид – малий ремонт;

IV вид – середній ремонт;

V вид – капітальний ремонт.

Внутрішнзмінне технічне обслуговування здійснює експлуатаційний персонал ділянки, черговий та ремонтний персонал під час технологічних простоїв, обідньої перерви технологічного персоналу ділянки.

Підставою внутрішнзмінного технічного обслуговування є журнал приймання-передачі змін, де фіксуються всі збої в роботі встаткування, технологічні зупинки, час простою, журнал ведеться керівником виробничої ділянки.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 46   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Весь експлуатаційний персонал через керівництво виробничою ділянкою забезпечується інструкціями з технічного обслуговування, розробленими керівником ремонтної служби, в яких регламентуються його функції та обсяги робіт протягом зміни.

Усі види ремонтів технологічного обладнання на виробничих ділянках виконуються персоналом ремонтної служби та, в разі потреби, підрядними організаціями. Видача завдань ремонтному персоналу оформляється у журналі.

#### Огляд.

Огляди проводяться персоналом ремонтної служби для перевірки стану встаткування, усунення механічних та електротехнічних поломок та визначення обсягу підготовчих робіт для майбутнього технічного обслуговування або планового ремонту.

Огляди проводяться інженерно-технічними працівниками ремонтної служби та відповідної виробничої ділянки.

Огляд проводиться згідно з річним планом ППР.

#### Малий ремонт

Малий ремонт – вид планового ремонту, при якому шляхом заміни або відновлення зношених деталей та регулювання механізмів забезпечується нормальна робота обладнання до чергового планового ремонту.

Малий ремонт проводиться відповідно до річного місячного графіків ППР.

Малі ремонти виконують ремонтні бригади під керівництвом керівника ремонтної служби із залученням експлуатаційного персоналу виробничої ділянки.

Після проведення малого ремонту керівник ремонтної служби робить запис результатів у агрегатному журналі.

#### Середній ремонт

Середній ремонт – вид планового ремонту, при якому проводиться часте розбирання встаткування, капітальний ремонт окремих вузлів, заміна та відновлення основних зношених деталей, складання, регулювання та випробування під навантаженням.

При середньому ремонті персонал ремонтної служби із залученням персоналу виробничої ділянки проводять перевірку обладнання на технологічну точність.

Після проведення середнього ремонту керівник ремонтної служби робить запис результатів у агрегатному журналі.

#### Капітальний ремонт

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Капітальний ремонт – комплекс робіт, що включають повне розбирання встаткування, заміну всіх зношених вузлів і деталей, ремонт базових деталей і вузлів, складання, регулювання та випробування встаткування під навантаженням.

При капітальному ремонті відновлюють передбачену нормативними документами з обслуговування та ремонту геометричну точність обладнання на рядок до чергового планового ремонту.

Остановка встаткування на капітальний ремонт здійснюється відповідно до річного плану ППР.

Капітальний ремонт виконується, на підставі записів у журналах приймання-передачі змін, агрегатних журналах та паспортних даних обладнання.

Порядок передачі обладнання в ремонт

Остановка встаткування на ремонт проводиться згідно з планом ППР.

Перенесення або скасування ремонту допускається тільки за дозволом керівника підприємства.

Перед початком ремонтних робіт замовник (керівник виробничої ділянки) повинен надати обладнання в чистому вигляді, звільнити територію від сторонніх предметів, забезпечити відключення обладнання від електричних мереж і комунікацій і передати обладнання за актом передачі обладнання на ремонт.

Порядок приймання після ремонту

Приймання встаткування в експлуатацію після ремонту здійснює відповідна виробнича ділянка.

Приймання встаткування після ремонту здійснюється після його огляду та апробування протягом 72 годин.

Пуск обладнання в експлуатацію дозволяється після оформлення акта передачі обладнання в експлуатацію, який є одним з документів підтверджувальних забезпечення якості технічного обслуговування та ремонтів технологічного обладнання.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



## 5 Охорона праці

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Усі підприємства повинні дбати про безпеку праці та здоров'я своїх працівників. До обов'язків роботодавця входить розробка комплексних заходів з охорони праці, які гарантували б безпечні та здорові умови праці на робочому місці.

Соціальне значення охорони праці полягає у сприянні зростанню ефективності громадського виробництва шляхом безперервного вдосконалення та поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму та профзахворювань. Соціальне значення охорони праці проявляється у збільшенні продуктивності праці, збереження трудових ресурсів.

Збільшення продуктивності праці відбувається в результаті збільшення фон-да робочого часу завдяки скороченню внутрішньозмінних простоїв шляхом ліквідації мікротравм або зниження їх кількості, а також завдяки запобіганню передчасному стомленню шляхом раціоналізації та покращенню умов праці та запровадження оптимальних режимів праці та відпочинку та інших заходів, що сприяють підвищенню ефективності та використання робочого часу.

Зниження трудових ресурсів та підвищення професійної активності працюючих відбувається завдяки покращенню стану здоров'я та подовженню середньої тривалості життя шляхом поліпшення умов праці, що супроводжується високою трудовою активністю та підвищенням виробничого стажу.

Підвищується професійний рівень також завдяки підвищенню кваліфікації.

Основним завданням охорони праці на підприємстві є поліпшень умов праці. При створенні умов, що відповідають нормам безпеки та виробничої санітарії, зникає необхідність у витратах на пільги та компенсацію, підвищується продуктивність праці, яка покращує психологічний клімат у колективі та матеріальне становище підприємства.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 49   |

## 5.1 Вимоги до обладнання з урахуванням техніки безпеки

Все обладнання повинне відповідати вимогам проектно-конструкторської документації та повинно мати:

- технічний паспорт або технічний опис,
- інструкцію з експлуатації.

На нестандартне обладнання, оснащення, пристосування та інструменти, крім цього, повинні бути креслення.

Все виробниче обладнання має утримуватися у справності, чистоті, порядку і суворо відповідати встановленим їм технічним нормам.

Відповідальність за правильну експлуатацію технологічного обладнання, пристроїв, оснащення несуть начальник і технолог виробництва, майстер зміни і особа, що безпосередньо експлуатує обладнання.

У цеху, відділеннях, на ділянках, що ведуть роботу з пожежо- та вибухонебезпечними матеріалами, все обладнання має повністю відповідати проектам, розробленими спеціальними проектними організаціями або заводами та затвердженими директором заводу.

Ремонт та контроль за станом обладнання повинен здійснюватись у строки, передбачені графіком планово-попереджувального ремонту (ППР).

Все електричне обладнання, комунікації, апарати мають бути заземлені. За справністю та надійністю заземлення має бути встановлено постійний контроль за службою енергетика цеху.

Забороняється:

- працювати на несправному, незаземленому або забрудненому обладнанні та з несправними приладами, некондиційними або забрудненими матеріалами, невідповідним інструментом, а також при вимкненій або несправній витяжній вентиляції, несправній системі пожежогасіння або за відсутності засобів,
  - проводити ремонт працюючих насосів та трубопроводів,
  - залишати без нагляду працююче обладнання,
  - різко збільшувати або зменшувати частоту обертання відцентрових насосів, щоб уникнути гідравлічних ударів у лініях,
  - пускати в експлуатацію виробниче обладнання без передбачених проектом огорож, контрольно-вимірювальних приладів, блокувань та сигналізації, що забезпечують безпеку його обслуговування.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 50   |

## 5.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що виникають у технологічному процесі ректифікації, наведено у табл. 5.1 згідно з ГОСТ 12.0.003 -74.

Таблиця 5.1 - Список небезпечних та шкідливих виробничих факторів та їх джерела.

| Небезпечні виробничі фактори   | Джерела виникнення   | Норматив  | Література       |
|--|--|---|------------------|
| Механічні  | Рухливі частини машин та механізмів (насоси)                     | Безпека експлуатації обладнання                     | ДСТУ 3273-95     |
| Підвищений рівень шуму   | Насоси, вентиляційні установки                                   | L=80дБА   | ГОСТ 12.1.003-83 |
| Підвищений рівень вібрації   | Електродвигуни, насоси, вентиляційні установки                   | L=102дБ   | ГОСТ 12.1.012-90 |
| Підвищений рівень напруги 220В, 380 В  | Електродвигуни насосів, щит управління                           | U <sub>доп.</sub> =2.0В<br>I <sub>доп.</sub> =0.3мА | ГОСТ 12.1.038-82 |
| Несприятливий мікроклімат (підвищена температура матеріалу та поверхні обладнання) | Підігрівачі, випарні апарати, паропроводи, ректифікаційна колона | t = 18-20°С<br>V = 0.3 м/с<br>φ = 40-60%            | ГОСТ 12.1.005-88 |
| Хімічна речовина (етер)  | Негерметичні з'єднання трубопроводів                             | ГДК наведено в таблиці 9.2                          | ГОСТ 12.1.005-88 |

Відповідно до санітарних норм проектування промислових підприємств у щитових приміщеннях та прилеглих до них тамбурах та коридорах вміст метанолу не повинен перевищувати 5 мг/м<sup>3</sup>, що досягається за рахунок загальнообмінної та припливно-витяжної вентиляції згідно з СНиП 2.04-05-91. Крім того, проводиться герметизація обладнання, теплоізоляція теплообмінників.

## 5.3 Виробнича санітарія

### 5.3.1 Мікроклімат

Метрологічні умови обрано відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88 та ДСП 3.36.042-99 з урахуванням категорії робіт з енерговитрат при виконанні відповідних технологічних операцій та періоду року. Вибираємо оптимальні параметри мікроклімату, наведені у табл. 5.2.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 51   |

Таблиця 5.2 - Оптимальні параметри мікроклімату

| Категорія робіт        | Період року | Температура, °С | Відносна вологість% | Швидкість руху повітря, м/с |
|------------------------|-------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| Середній тяжкості II а | Холодний    | 18-20           | 40-60               | 0,2                         |
|                        | Теплий      | 21-23           | 40-60               | 0,3                         |

Для забезпечення нормалізації параметрів мікроклімату передбачені наступні заходи: вентиляція та опалення в холодний період року СНіП 2.04-05-91.

### 5.3.2 Освітлення

Правильно спроектоване та раціонально виконане висвітлення виробничих приміщень надає позитивний психофізіологічний вплив на працюючих, сприяє підвищенню ефективності та безпеки праці, знижує втому та травматизм, зберігає високу працездатність. При освітленні виробничих приміщень використовують:

- природне освітлення, створюване прямими сонячними променями і розсіяним світлом небосхилу і мінливим залежно від географічної широти, пори року та доби, ступеня хмарності та прозорості атмосфери. Природне освітлення є біологічно найбільш цінним видом освітлення, якого максимально пристосований очей людини. У виробничих приміщеннях використовуються такі види природного освітлення: бічне - через світлопрорізи (вікна) у зовнішніх стінах; верхнє - через світлові ліхтарі у перекриттях; комбіноване - через світлові ліхтарі та вікна.

- штучне освітлення, створюване електричними джерелами світла, і поєднане освітлення, у якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюють штучним. Створюється штучними джерелами світла (лампа розжарювання, газорозрядними лампами). Призначення штучного освітлення – створити сприятливі умови видимості, зберегти хороше самопочуття людини і зменшити стомлюваність очей. При штучному освітленні всі предмети виглядають інакше, ніж за денного світла. За призначенням буває: робітником, аварійним, евакуаційним, охоронним, черговим. По пристрої буває: місцевим, загальним, комбінованим. Влаштувати одне місцеве освітлення не можна. Раціональне штучне освітлення має забезпечувати нормальні умови для роботи при допустимому витраті коштів, матеріалів та електроенергії.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 52   |

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного освітлення та для освітлення приміщень у темний час доби.

Відповідно до норм СНиП II-4-79 при виконанні робіт IV розряду використовується система загального освітлення. Нормована освітленість за IV розрядом (загальне спостереження за ходом виробничого процесу) підрозряда становить 200 лк .

Для освітлення виробничого приміщення застосовуються люмінесцентні лампи, т.к. вони енергетично більш економічні і за спектральними характеристиками максимально близькі до природного і мають найвищу світловіддачу. Вибираємо лампи ЛД-80: потужність 80 Вт, світловий потік 5400 лм, довжина 1,5 м, діаметр 40 мм.

У вибухонебезпечних приміщеннях категорії В-I встановлюються світильники тільки у вибухозахищеному виконанні, вибираємо світильник типу НОГЛ-2 х 80 з відбивачем, у світильнику встановлюється 2 лампи в захисних трубках з оргскла.

Світловий потік лампи у світильнику визначається за формулою:

$$\Phi_{л} = \frac{E \cdot S \cdot k_3 \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

звідки визначимо кількість світильників N:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_3 \cdot Z}{\Phi_{л} \cdot n \cdot \eta}.$$

де  $\Phi_{л} = 5400$  лм – необхідний світловий потік лампи у світильнику;

E – задана мінімальна освітленість, лк;

S – освітлювана площа, м<sup>2</sup>;

$k_3 = 1,8$  – коефіцієнт запасу [5, табл. 4-9];

Z - Коефіцієнт нерівномірності освітлення ( $Z = 1,1$  для люмінесцентних ламп);

n – кількість ламп у світильнику, шт;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку

Для визначення коефіцієнта використання  $\eta$  знайдемо індекс приміщення і за формулою:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 53   |

$$i = \frac{A \cdot B}{H(A+B)},$$

де А - Довжина приміщення м; В – його ширина, м; Н – висота підвісу світильника від рівня підлоги приймаємо  $h = 2,8$  м.

$$i = \frac{18 \cdot 12}{2,8(18+12)} = 2,5$$

Тоді приймаємо  $\eta = 0,65$

Площа освітлення:

$$S = A \cdot B = 18 \cdot 12 = 216 \text{ м}^2.$$

Значить кількість світильників у робочій зоні становитиме:

$$N = \frac{200 \cdot 216 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{5400 \cdot 2 \cdot 0,65} = 14 \text{ шт.}$$

Приймаємо 14 світильників. Разом виходить 28 ламп ЛД-80 для забезпечення загального освітлення робочої зони виробничого приміщення.

### 5.3.3 Шум та вібрація

Основним джерелом шуму в цеху є механічне обладнання:

насоси, компресори. Відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 допустимий шумовий рівень у виробничому приміщенні – не більше 80 дБА. Якщо рівень шуму перевищує допустимий, то проводять заходи щодо його нормалізації згідно з ДСН 3.3.6.037-99 :

- покращення рівня експлуатації робочого обладнання;
- використання демпфуючих матеріалів;
- звукоізоляція обладнання кожухами.

Машини та механізми, що застосовуються в даному технологічному процесі викликають певні механічні коливання, які передаються на тіло людини. Гігієнічне нормування вібрації проводять відповідно до ГОСТ 12.1.012-90 [31].

З метою профілактики віброшумів захворювання для працівників з обладнанням, вібує рекомендується спеціальний режим роботи (обмеження часу контакту з віброінструментом, додаткові перерви і т.д.).

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 54   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

### 5.3.4 Електробезпека

Відповідно до ПУЕ - 87 та ГОСТ 12.1.013-78 робоче приміщення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. Тому що з одного боку є можливість дотику до металевих конструкцій будівель, що мають з'єднання з землею, технологічних апаратів, а з іншого до металевих корпусів електроустаткування. Согласно НПАОП 40.1 - 1.32 - 01 класс зон 0, 1, 2.

Заходи електробезпеки:

- Контроль та профілактика пошкоджень ізоляції;
- Усунення небезпеки ураження при появі напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електрообладнання досягається захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням;
- Організація безпечної експлуатації електроустановок.
- Використання обладнання закритого типу.

### 5.3.5 Пожежна безпека

Згідно з документом НАПБ Б.03.002-2007 робоче приміщення з вибухопожежної та пожежної небезпеки належить до категорії А, а ступінь вогнестійкості будівлі - І згідно з ДБН В.1.1 - 7- 02.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004 - 91і НАПБ А.01.001-95 пожежна безпека забезпечується системами запобігання пожежі та протипожежній безпеці, захисту, а також організаційно-технічними заходами.

Заходи системи запобігання пожежі:

- застосування негорючих речовин
- обмеження кількості горючих речовин та їх розміщення;
- протипожежні розриви між будинками;
- періодичне очищення приміщень та території;
- ізоляція горючих речовин.

Передбачено внутрішній та зовнішній водопроводи з пожежними кранами; для повідомлення про пожежу - електрична пожежна сигналізація та телефонний зв'язок.

Для запобігання пожежі використовують первинні засоби пожежогасіння – порошковий вогнегасник ОП-9 – 2 шт., вуглекислий вогнегасник ВВК-5-2 шт., а також ящик з піском, лопату.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

### 5.3.6 Охорона навколишнього природного середовища

Останнім часом в Україні надається значна увага охороні навколишнього середовища: розроблено та прийнято до дії Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища".

Ректифікація технічного етеру складний технологічний процес з переходом сировини в різні стани з різними фізикохімічними властивостями. Він пов'язаний з використанням різної складності технологічного обладнання та допоміжних механізмів. У багатьох випадках ці процеси супроводжуються виділенням великої кількості шкідливої пари, газів та інших забруднень.

Значною мірою зменшення забруднення відбувається за рахунок застосування автоматичного контролю та регулювання технологічного процесу. При розробці проекту було передбачено систему замкнутого циклу, у якій попадання шкідливих речовин у навколишнє середовище неможливо.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 56   |



## Висновки

У цій роботі було розроблено апарат виробництва єфіру.

У першому розділі технологічна частина – описані технологічний процес та основне обладнання. Наведено технологічні розрахунки, необхідні для проектування промислового об'єкта, зроблений розрахунок апарату на міцність та герметичність.

У розділі охорона праці надано аналіз потенційних небезпек виникаючих у процесі, вимоги до охорони праці та техніки безпеки, а також вимоги підприємства до самого виробництва. Зроблено розрахунок ізоляції апарату.

У розділі будівельно-монтажна частина обґрунтування компонування обладнання, та рекомендації щодо проведення монтажно-ремонтних робіт.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## Література

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1973, - 452 с
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г, Носков А. А "Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии". Л.: Химия, 1987,- 576 с.
3. Соколов В. Н. "Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи". Л.: Машиностроение, 1982, - 384 с.
4. Дытнерский Ю. И. "Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию".- М.: Химия, 1983. - 272 с.
5. "Справочная книга для проектирования электрического освещения". Под ред. Кнорринга Г.М. Л.: "Энергия", 1976, - 384 с.
6. Михалев М. Ф., Третьяков Н.П. "Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи". Л.: Машиностроение, 1984, - 301 с.
7. Лашинский А.А., Толщинский А.Р. "Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры. Справочник. ". Л.: Машиностроение, 1970, – 752 с.
8. Плановский А.Н., Николаев П.И. "Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии". М.: Химия, 1972, - 496 с.
9. Голубятников В.А., Шувалов В.В. "Автоматизация производственных процессов в химической промышленности". Москва: Химия, 1985, - 252с.
10. Кошарский Б.Д. "Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие". Л: Машиностроение, 1976, - 488с.
11. Макаров Г.В., Стрельчук Н.А. "Охрана труда в химической промышленности". М.: Химия, 1977, - 568с.
12. Фарамазов С.А. "Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. 2-е изд.". М.: Химия, 1980. – 312 с.
13. Ермаков В.И., Шеин В.С. "Ремонт и монтаж химического оборудования." Л.: Химия, 1981. – 368 с.
- 14 Альперт Л.З. "Основы проектирования химических установок. 4-е изд., перераб. и доп.". М.: Высшая школа, 1989. – 304 с

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 6.133.22.01.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 58   |