



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ТИПОВОГО ОБЛАДНАННЯ: КУРСОВА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»,  
спеціалізацією «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових  
виробництв»*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2022

Розрахунок і конструювання типового обладнання: курсова робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А.Р. Степанюк, О.Г. Зубрій – Електронні текстові данні (1 файл: 4,1 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 100 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2022 р.)  
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету  
(протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2022 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

# **РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ТИПОВОГО ОБЛАДНАННЯ: КУРСОВА РОБОТА**

Укладачі: *Андрій Степанюк*, канд. тех. наук, доц.  
*Олег Зубрій*, канд. тех. наук, доц.

Відповідальний редактор *Корнієнко Ярослав*, докт. тех. наук, професор

Рецензенти: *Сокольський Олександр*, докт. тех. наук, доц.

У вимогах до виконання курсової роботи наведено мету та завдання курсової роботи. Сформульовано завдання на розрахунково-графічну роботу, її склад, обсяг і структура. Наведено вказівки до виконання розділів курсової роботи та рекомендації до виконання пояснювальної записки: структура, вимоги до форматування, викладення її тексту, оформлення розрахунків та оформлення додатків. Сформульовано рекомендації до виконання графічної частини роботи. Викладено вказівки щодо порядку захисту роботи та список рекомендованої літератури. У додатках наведено приклади виконання титульних аркушів курсової роботи, приклади параметричних розрахунків, креслення апарата і специфікацій до креслення апарата.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....   | 6  |
| 1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....   | 7  |
| 2 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ .....                                  | 8  |
| 3 СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ.....                                   | 9  |
| 4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....                             | 10 |
| 4.1 Вимоги до змісту курсової роботи.....   | 10 |
| 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ .....                           | 12 |
| 5.1 Структура пояснювальної записки .....   | 12 |
| 5.2 Вимоги до форматування пояснювальних записок .....                            | 12 |
| 5.3 Виклад тексту пояснювальної записки.....                                      | 13 |
| 5.4 Оформлення розрахунків .....  | 14 |
| 5.5 Оформлення додатків.....  | 17 |
| 6 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ РОБОТИ... ..                        | 18 |
| 6.1 Правила заповнення штампу креслення.....                                      | 20 |
| 6.2 Правила оформлення специфікацій до складального креслення .....               | 22 |
| 7 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОРЯДКУ ЗАХИСТУ РОБОТИ.....                                   | 32 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....  | 33 |
| ДОДАТОК А. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КУРСОВОЇ РОБОТИ.....                           | 35 |
| ДОДАТОК Б. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ<br>ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ ..... | 36 |
| ДОДАТОК В. ЗРАЗОК ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ<br>РОБОТУ .....               | 37 |
| ДОДАТОК Г. ЗРАЗОК ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....                                     | 38 |
| ДОДАТОК Д . ЗРАЗОК ОПИСУ ВКЛАДЕНЬ.....  | 39 |

|  |    |
|--|----|
| ДОДАТОК Е. ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-РАФІЧНУ РОБОТУ ....  | 40 |
| ПРИКЛАД Ж. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ<br>ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛООБМІННИКА .....   | 42 |
| ДОДАТОК З. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАРОГЕНЕРАТОРА .....   | 53 |
| ДОДАТОК К. ПРИКЛАД КОНСТРУКТИВНОГО РОЗРАХУНКУ .....  | 60 |
| ДОДАТОК Л. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ШТУЦЕРІВ .....   | 62 |
| ДОДАТОК М. ПРИКЛАД ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ<br>ПАРОГЕНЕРАТОРА .....   | 65 |
| ДОДАТОК Н. ПРИКЛАД РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ<br>БАРАБАННОЇ СУШАРКИ .....  | 67 |
| ДОДАТОК О. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАСИЧЕНОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ....  | 77 |
| ДОДАТОК П. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИМОВИХ ГАЗІВ.....  | 78 |
| ДОДАТОК Р. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ.....   | 79 |
| ДОДАТОК С. ПОКАЗНИКИ ДЕЯКИХ КОНСТРУКЦІЙ<br>ТЕПЛООБМІННИКІВ .....   | 80 |
| ДОДАТОК Т. ТЕПЛООБМІННИКИ ТИПУ "ТРУБА В ТРУБІ" .....   | 81 |
| ДОДАТОК У. ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ АПАРАТІВ<br>ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ АПАРАТІВ ТИПУ АВГ 35.....   | 82 |
| ДОДАТОК Ф. ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ АПАРАТІВ<br>ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ТИПУ АВЗ .....  | 83 |
| ДОДАТОК Х. ОРІЄНТОВНІ ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ<br>Й ТЕПЛООВОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....  | 84 |
| ДОДАТОК Ц. ПАРАМЕТРИ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ....   | 85 |
| ДОДАТОК Ч. ПОВЕРХНЯ ТЕПЛООБМІНУ (ПО $D_{30B}$ ) ВИПАРНИКА ИН І<br>ИК І КОНДЕНСАТОРІВ ИК ТА КК З ТРУБАМИ 25×2 ММ ЗА ГОСТ 15119-<br>79 І ГОСТ 15121-79 ..... | 86 |

|  |    |
|--|----|
| ДОДАТОК Ш . ПАРАМЕТРИ ТЕПЛООБМІННИКІВ.....   | 88 |
| ДОДАТОК Щ. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООБМІННИКІВ ТН І<br>ТК; ХОЛОДИЛЬНИКІВ ХН І ХК З ТРУБАМИ 25Х2 ММ..... | 89 |
| ДОДАТОК Ь. ЗАСТОСУВАННЯ КОЖУХОТРУБЧАСТИХ<br>ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ.....                                    | 90 |
| ДОДАТОК Ю. ПРИКЛАД СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ.....   | 91 |
| ДОДАТОК Ю1. ПРИКЛАД СПЕЦИФІКАЦІЇ ДО СКЛАДАЛЬНОГО<br>КРЕСЛЕННЯ .....  | 93 |
| ДОДАТОК Я. КЛАСИФІКАТОР ЄСКД.....  | 95 |

## **ВСТУП**

Шлях до впровадження у виробництво наукових розробок лежить через створення конструкторської документації. Розробка такої документації це творчий процес, який потребує від конструктора не тільки глибоких знань дисциплін, що викладаються у ЗВО, але й уміння використовувати їх при проектуванні. Від якості конструкторської документації, як правило, залежить кінцевий результат наукової розробки, доля нових машин і апаратів.

Методичні вказівки складено у відповідності до ГОСТ 2.105-95.

## **1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Метою курсової роботи є набуття практичних умінь при виконанні студентами технічної документації з дисципліни «Інжинірингу інноваційних технологій та обладнання».

Завданнями курсової роботи є:

- визначити основні геометричні розміри апарата (машини);
- визначити розміри штуцерів;
- виконати необхідні розрахунки на міцність та стійкість апарата (машини);
- виконати креслення апарата і специфікацію;
- виконати креслення складальних елементів апарата та виконати необхідні специфікації;
- презентувати виконану курсову роботу.

## **2 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ**

Завдання видається кожному студенту особисто протягом перших двох тижнів навчання. Перелік тем курсової роботи наведено в робочій навчальній програмі.

Текст завдання (Додатку Е) підписується студентом, що буде виконувати розрахунково-графічну роботу та керівником курсової роботи.

Зразок завдання розміщено у Додатку В.



### **З СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Курсова робота складається з пояснювальної записки і графічної частини.

Пояснювальна записка складається з розділів, наведених у зразку змісту (Додаток Г). Орієнтовний обсяг пояснювальної записки 15...20 аркушів формату А4.

Обсяг графічної частини остаточно визначається керівником курсової роботи і складається з складального креслення апарата (машини) та специфікації до складального креслення апарата (машини), креслення складальних елементів апарата та виконати необхідні специфікації, але не менше двох аркушів формату А1.

## **4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

### **4.1 Вимоги до змісту курсової роботи**

При виконанні розділів, необхідно звернути увагу на:

Розділ «**Вступ**».

У вступі коротко надається інформація про актуальність продукції, яка виробляється на обладнанні курсової роботи, що буде проектуватися. Далі у відповідності до змісту роботи ставляться мета та задачі розробки. В кінці вступу вказується, коли було видано завдання на проектування.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «**1 Технічна характеристика**»

Подаються основні технічні вимоги до апарата, що буде проектуватися.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «**2 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата (машини)**»

Підрозділ «**2.1 Параметричний розрахунок апарата (машини)**»

Виконується проектний або перевірочний розрахунок апарата (машини). Визначаються основні геометричні розміри апарата (машини).

Приблизний обсяг розділу – 3...5 аркушів.

Підрозділ «**2.2 Визначення розмірів штуцерів рибойлера**»

По рекомендованих швидкостях теплоносіїв та заданих витратах теплоносіїв проводиться визначення діаметрів штуцерів. Визначаються геометричні розміри трубної решітки та діаметр апарату.

Приблизний обсяг розділу – 2...3 аркуші.

### Підрозділ «**2.3 Перевірка конструкції на міцність і стійкість**»

Враховуючи особливості конструкції апарату (машини) і за рекомендованими властивостями матеріалів, з яких виконуються елементи конструкції проводиться перевірка конструкції на міцність і стійкість. Визначаються або підбираються розміри елементів апарату.

Приблизний обсяг розділу – 15...20 аркушів.

### Підрозділ «**Висновки**»

У висновку переходяться види розрахунків, які були виконані у відповідності до завдання та мети курсової роботи. Вказуються всі авторські модифікації та модернізації.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

## **5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ**

### **5.1 Структура пояснювальної записки**

Пояснювальна записка виконується згідно вказівок:

- Вимог ГОСТ 2.105-95.
- Оформление графической документации. методические указания к выполнению курсовых та дипломных проектов / сост. В.Н. Марчевский. – К.: КПІ, 1998р. – 250 с.

Пояснювальна записка для курсової роботи розпочинається титульним листом з надписом „Пояснювальна записка” (додаток Б), наступним аркушем є „Завдання на проектування” (додаток В). Далі „Зміст” (додаток Г).

До додатків вносять таблиці ідентифікаторів, алгоритмічні схеми (блок-схеми), програми, після записки вкладаються специфікації.

### **5.2 Вимоги до форматування пояснювальних записок**

Текст пояснювальної записки розділяють на розділи і підрозділи, відповідно до змісту.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах усього документа (частини), позначені арабськими цифрами з крапкою. Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів або підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера розділу або підрозділу крапка не ставиться. Розділи, як і підрозділи, можуть складатися з декількох пунктів.

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу прописними літерами (окрім першої великої літери) напівжирним форматом літер (Приклад 5.1). Використання курсивного форматування, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

Відстань між заголовком розділу або підрозділу і текстом повинна бути у 3 інтервали. Відстань між заголовками розділу і підрозділу – 1,5 інтервали. Кожен розділ пояснювальної записки починають з нового листа (сторінки). Відстань між попереднім підрозділом та наступним заголовком підрозділу повинна бути 3 інтервали.

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всієї записки, включаючи додатки.

Приклад 5.1 Оформлення заголовку

## **2 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції теплообмінника**

### **2.1 Розрахунок продуктивності теплообмінника**

Мета розрахунку ... .

### **5.3 Виклад тексту пояснювальної записки**

Повне найменування виробу на титульному листі, в основному написі і при першому згадуванні в тексті документа повинне бути однаковим з найменуванням його в основному конструкторському документі

(специфікації). Найменування, що наводяться в тексті пояснювальної записки і на ілюстраціях, повинні бути однаковими.

#### **5.4 Оформлення розрахунків**

Необхідні розрахунки апаратів визначаються керівником. **Всі величини подаються в системі СІ.**

В кожному підрозділі розрахунок проводиться за такою схемою (Приклад 5.2):

1. Мета розрахунку з вказівкою, що потрібно визначити.
2. Розрахункова схема або ескіз виробу (у довільному масштабі).
3. Вхідні данні.
4. Умови розрахунку.
5. Розрахунок.
6. Висновки, відповідно до мети.

При наведенні алгоритмів та комп'ютерних програм матеріал викладається у такій послідовності (Приклад 5.3):

1. Опис алгоритму розрахунку.
2. Алгоритмічна-схема та її опис.
3. Данні для розрахунку.
4. Програма.
5. Результати розрахунку на ПК.
6. Висновки за результатами розрахунку на ПК.

Алгоритмічна-схема, її опис та програма виноситься у додаток.

## Приклад 5.2

### 2.5 Розрахунок фланцевого з'єднання

Метою розрахунку є визначення навантаження на кріпильні деталі, визначення діаметру та товщини фланця, кількості та діаметру болтів для випадку, коли робочий тиск  $P > 3$  МПа. В інших випадках вибираються стандартні фланці.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.4.

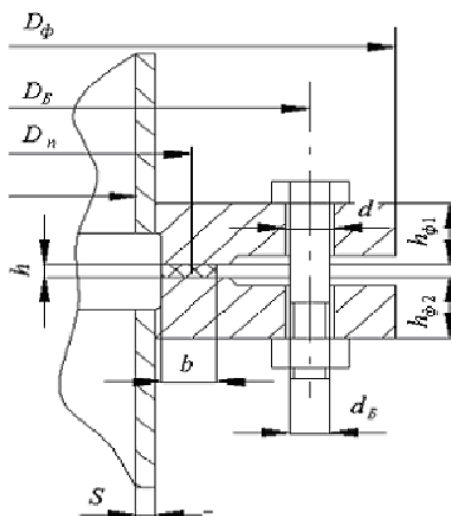


Рисунок 4.4 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

температура середовища в апараті, К,  $t$  473

.....

внутрішній тиск в апараті, МПа,  $p$  0,25

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [12].

Згідно з таблицею 1 для заданих умов підходить плоский приварний фланець з гладкою ущільнювальною поверхнею за ОСТ 26-426-79.

По таблиці 9 вибираємо болти М20, тобто  $d_\phi = 0,02$  м.

Тоді діаметр болтового кола:

$$D_B \geq D + 2(S_0 + d_\phi + 0,006) = 0,550 + 2(0,014 + 0,02 + 0,006) = 0,680 \text{ м.}$$

.....

Розраховуємо орієнтовну кількість болтів  $z$  :

$$z = \frac{\pi \cdot d_B}{t_B} = \frac{3,14 \cdot 0,680}{0,1} = 21,35, \text{ м,}$$

де  $t$  – рекомендований крок болтів, з таблиці 16 приймаємо  $t_B = 5 \cdot d_B = 5 \cdot 0,02 = 0,1 \text{ м}$ .

Округляємо в більший бік до 22 болтів.

Висновок: Приймаємо стандартний фланець за ОСТ 26-427-79:

зовнішній діаметр, м 0,740

.....

діаметр болтів, м 0,020.

### Приклад 5.3

Метою розрахунку є визначення навантаження на кріпильні деталі, визначення діаметру та товщини фланця, кількості та діаметру болтів.

... далі наводяться початкові данні, посилання на розрахункову схему, розрахункова схема та посилання на авторів алгоритму розрахунку. ...

... – Подається алгоритм розрахунку... :

Згідно з таблицею 1 для заданих умов підходить плоский приварний фланець з гладкою ущільнювальною поверхнею за ОСТ 26-426-79.

По таблиці 9 вибираємо болти М20, тобто  $d_B = 0,02 \text{ м}$ .

Тоді діаметр болтового кола:

$$D_B \geq D + 2(S_0 + d_B + 0,006), \text{ м.}$$

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_\phi = D_B + a, \text{ м,}$$

де  $a$  – коефіцієнт, що залежить розміру головки болта, з таблиці 10 приймаємо  $a = 0,04 \text{ м}$ .

... Алгоритмічна-схема та її опис знаходиться в додатку А, таблиці ідентифікаторів знаходиться в додатку Б, програма розрахунку на мові ВАСІК-80 знаходиться в додатку В.



## РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

ЗОВНІШНІЙ ДІАМЕТР .740 М

.....

ДІАМЕТР БОЛТІВ .02 М

Висновок: Приймаємо стандартний фланець за ОСТ 26-427-79:

зовнішній діаметр, м 0,740

.....

діаметр болтів, м 0,020.

### 5.5 Оформлення додатків

При наявності в пояснювальній записці додатків їх виконують на аркушах формату А4. Додаток нумерують українськими літерами на першому аркуші додатку, за винятком літер Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь. Кожний додаток розпочинається з нової сторінки посередині тексту словом додаток з вказівкою номера додатку. В наступній строчці розташовується заголовок додатку.

Текст кожного додатку при необхідності розділяють на розділи, підрозділи, які нумеруються окремо по кожному додатку. Додаток може мати свій зміст та перелік посилань. Ілюстрації і таблиці в додатках нумерують у межах кожного додатка.

Для всієї роботи повинна бути наскрізна нумерація аркушів.

## **6 РЕКОМЕНДАЦІ ДО ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ РОБОТИ**

Матеріал викладено за авторами [12].

Під час виконання курсової роботи необхідно виконати одне креслення формату А1 – складальне креслення апарата (машини) та специфікацію до нього.

Графічна частина виконується згідно вказівок:

- вимоги ЄКСД.
- Оформление графической документации. методические указания к выполнению курсовых та дипломных проектов / сост. В.Н. Марчевский. – К.: КПІ, 1998р. – 250 с.

Під час виконання курсової роботи необхідно виконати щонайменше два креслення формату А1 (або їх еквівалент у форматах А2, А3 чи А4): складальне креслення апарата (машини), складальні креслення основних складальних одиниць чи креслення деталей.

Графічна частина виконується згідно до вимог ГОСТ 2.317-69. „ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей”.

Загальні правила виконання креслень наведені в [12, ст. 85 – 91].

Правила виконання складальних креслень наведені в [12, ст. 132 – 136].

Правила складання специфікацій наведені в [12, ст. 77 – 81].

Правила нанесення розмірів на кресленні наведені [12, ст. 92 – 96].

Типи та правила нанесення на кресленні зварних з’єднань наведені в [12, ст. 112 – 129].

Правила оформлення таблиць та технічних вимог на кресленні наведені в [12, ст. 131 – 132] або ГОСТ 2.316-2008.

Приклад оформлення складального креслення апарата наведено в додатку Ю.

Приклад оформлення першого та наступного листів специфікації до складального креслення наведено в додатку Я.

Особливу увагу необхідно звернути на наступне:

на складальному кресленні апарата необхідно розмістити технічні вимоги до апарата (машини), технічну характеристику апарата (машини) та таблицю штуцерів;

на складальному кресленні апарата необхідно вказати габаритні, приєднувальні, установочні розміри та виконавчі.

На кресленнях студент повинен виділити розміри виконавчі (ті розміри, які утворюються під час складальних операцій, та величини яких може бути проконтролюватись – виліт штуцерів при приварюванні їх до корпусу на даному етапі, розташування опор при приварюванні їх до обичайки на даному етапі та інше) та довідкові розміри (до них відносяться всі інші розміри, в тому числі розміри, що перейшли з попередніх креслень).

Дублювати розміри на кресленні ЗАБОРОНЕНО.

Розміри вказуються в тому місці, де найбільш повно розкривається форма елемента.

При вказуванні розмірів необхідно використовувати МІНІМАЛЬНУ кількість баз для зменшення відхилення під час монтування.

Аналогічні розміри (наприклад горизонтальні вильоти штуцерів) рекомендується вказувати від однієї бази.

Розміри вказуються до тієї бази, відносно якої можливо провести вимірювання його значення на місці монтування, а не зручності розташування на кресленні.

За специфікацією апарат (машина чи складальна одиниця) ОБОВ'ЯЗКОВО має збиратись, тобто мають бути позначені всі конструктивні елементи, що входять на цьому етапі у виріб та при необхідності всі кріпильні елементи, за допомогою яких виріб має однозначно зібратись.

Під час виконання специфікацій в середовищі КОМРАС\_3D застосовується автоматичне створення листа специфікації та її розділів, що має російськомовне позначення назв граф та найменувань. ДОПУСКАЄТЬСЯ не змінювати в налаштуваннях ці назви, використовуючи автоматичні шаблони.

## 6.1 Правила заповнення штампу креслення

Підрозділ викладено згідно авторів [12].

У прикладі 6.1 наведено вимоги до заповнення основного напису кресленика.

Для складальних одиниць на полі «Назва виробу» (Приклад 6.2) пишеться у першій строчці назва виробу, наприклад «Трубчатка», у другій «Складальний кресленик», при цьому на полі «Позначення виробів і їх конструкторських документів» після позначення виробу пишуться літери СБ.

Для деталей на полі «Назва виробу» (Приклад 6.3) пишеться у першій строчці **ЛИШЕ** назва деталі, наприклад «Коліно», при цьому на полі «Позначення виробів і їх конструкторських документів» після позначення виробу пишуться лише позначення. Для деталей **ОБОВ'ЯЗКОВО** вказується матеріал, з якого треба виготовляти виріб.

Приклад 6.1

### Позначення виробів і їх конструкторських документів

|              |              |           |          |       |      |              |                              |       |         |
|--------------|--------------|-----------|----------|-------|------|--------------|------------------------------|-------|---------|
| Л            | Підп. і дата |           |          |       |      |              |                              |       |         |
|              |              | Изм./Лист | № докум. | Подп. | Дата | Назва виробу | Лист                         | Масса | Масштаб |
| Инв. № подл. |              | Разраб.   |          |       |      |              |                              |       |         |
|              |              | Пров.     |          |       |      |              |                              |       |         |
|              |              | Т.контр.  |          |       |      |              | Лист                         |       | Листов  |
|              |              | И.контр.  |          |       |      |              | Назва організації-розробника |       |         |
|              |              | Утв.      |          |       |      |              |                              |       |         |

Прізвища, БЕЗ ІНЦІАЛІВ

Для деталей вказується матеріал, з якого виконується виріб

### Приклад 6.2.

|              |              |           |          |       |      |                                     |                                |            |         |
|--------------|--------------|-----------|----------|-------|------|-------------------------------------|--------------------------------|------------|---------|
| Л            | Підп. і дата |           |          |       |      | ЛН91.065111.001 СБ                  |                                |            |         |
|              |              | Изм./Лист | № докум. | Подп. | Дата | Трубочатка<br>Складальний кресленик | Лист                           | Масса      | Масштаб |
| Инв. № подл. |              | Разраб.   | Іванов   |       |      |                                     |                                |            | 180     |
|              |              | Пров.     | Петров   |       |      |                                     |                                |            |         |
|              |              | Т.контр.  |          |       |      |                                     | Лист                           |            | Листов  |
|              |              | И.контр.  |          |       |      |                                     | КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ |            |         |
|              |              | Утв.      |          |       |      |                                     |                                | каф. МАХНВ |         |

Копировав Формат А4

### Приклад 6.3

|              |              |           |          |       |                              |                 |                                |            |         |
|--------------|--------------|-----------|----------|-------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------|---------|
| Л            | Підп. і дата |           |          |       |                              | ЛН91.065111.121 |                                |            |         |
|              |              | Изм./Лист | № докум. | Подп. | Дата                         | Коліно          | Лист                           | Масса      | Масштаб |
| Инв. № подл. |              | Разраб.   | Іванов   |       |                              |                 |                                |            | 180     |
|              |              | Пров.     | Петров   |       |                              |                 |                                |            |         |
|              |              | Т.контр.  |          |       |                              |                 | Лист                           |            | Листов  |
|              |              | И.контр.  |          |       |                              |                 | КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ |            |         |
|              |              | Утв.      |          |       | Уголок 36x36x3 ГОСТ 19771-93 |                 |                                | каф. МАХНВ |         |
|              |              |           |          |       | 315-12ГС ГОСТ 19281-89       |                 |                                |            |         |

Копировав Формат А4

### Позначення виробів і їх конструкторських документів

Підрозділ викладено згідно авторів [12]. Позначення виробів і їх конструкторських документів повинно відповідати вимогам ГОСТ 2.201-80 та Класифікатора ЄСКТ (Додаток Я).

Загальна структура позначення згідно ГОСТ 2.201-80:

XXXX.XXXXXX.XXX

Перша група символів – чорирьохзначний літерний код організації розробника. Для означення роботи в якості такого розробника виступає студентська група, яка виконує проект, і має код, встановлений деканатом, наприклад ЛН91. Тоді позначення виробу набуде вигляду:

ЛН91.ХХХХХХ.ХХХ

Друга група шестиступінчастий код класифікаційної характеристики виробу, береться з класифікатора, наприклад для теплообмінників з нерухомими трубними ґратками без компенсатора цей код набуває значення (Додаток Я):

ЛН91.065111.ХХХ

Третя група символів – порядковий реєстраційний номер від 001 до 999. Реєстраційний порядковий номер 000 – не присвоюється. Реєстрацію розпочинають з номера 001.

Тоді повне позначення основного документу – специфікації набуває вигляду:

ЛН91.065111.001

Позначення інших конструкторських документів:

- складальний кресленник: ЛН91.065111.001 СБ
- кресленник деталі: ЛН91.065111.151
- пояснювальна записка: ЛН91.065111.001 ПЗ
- опис документів проекту: ЛН91.065111.001 ОП

## **6.2 Правила оформлення специфікацій до складального креслення**

Специфікація є **основним** конструкторським документом для складальних одиниць, комплексів та комплектів.

Форма і порядок заповнення регламентує: ГОСТ 2.108-68.

У прикладі 6.4 наведено приклад заповнення основного напису специфікації, відповідає нормам встановленим ГОСТ 2.104-68.

Приклад 6.4

|                  |          |        |          |       |                 |  |        |
|------------------|----------|--------|----------|-------|-----------------|--|--------|
| Лист             |          |        |          |       | ЛН91.065111.001 |  |        |
|                  | Изм.     | Лист   | № докум. | Подп. | Дата            |  |        |
| Инв. № подл.     | Разраб.  | Иванов |          |       |                 | Лист   | Листов |
|                  | Проб.    | Петров |          |       |                 |  | 1      |
|                  | Н.контр. |        |          |       |                 | КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ІХФ,<br>каф. МАХНВ |        |
|                  | Утв.     |        |          |       |                 | Формат А4                                      |        |
| <i>Трубчатка</i> |          |        |          |       | <i>Копіював</i> |  |        |

### 6.1.1 Розділи специфікації

Наявність розділу мотивується складом виробу та організацією виробництва. Найменування розділу записується в графі «Найменування» та підкреслюється (приклад 6.5)

Розділи: «Документація», «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі», «Стандартні вироби», «Інші вироби», «Матеріали» та «Комплекти».

Приклад 6.5

| Формат | Зона | Поз. | Обозначение | Наименование        | Кол. | Примечание |
|--------|------|------|-------------|---------------------|------|------------|
|        |      |      |             |                     |      |            |
|        |      |      |             |                     |      |            |
|        |      |      |             | <u>Документація</u> |      |            |

#### «Документація»

Вносять документи, які входять до основного комплекту документації виробу (складальне креслення, габаритне креслення, функціональну схему, технічні умови, програми і методику випробувань).

### «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі»

Вносять комплекси, складальні одиниці, деталі, які безпосередньо входять до виробу на цій стадії виготовлення.

Порядок внесення: за **абеткою** згідно з позначенням чи за **зростанням цифр**, що входять в позначення (приклад 6.6).

### «Стандартні вироби»

Вносять елементи виробу, що виготовляються за державними стандартами, галузевими стандартами, стандартами підприємств.

Порядок внесення (приклад 6.7):

- 1) по категоріям стандартів (від більш вагоміших до менш вагоміших – ДСТУ (ГОСТ), ГСТ (ОСТ), СТП);
- 2) по групам за функціональним призначенням (підшипники, кріпильні елементи, електротехнічні вироби і таке інше);
- 3) в межах кожної групи – в алфавітному зростанні назв виробів;
- 4) в межах кожної назви – по зростанню позначення стандарту;
- 5) в межах кожного позначення стандарту – в почерговому зростанню основних параметрів чи розмірів.

### Приклад 6.6

|                |           |          |                                | <i>Сборочные единицы</i> |          |
|----------------|-----------|----------|--------------------------------|--------------------------|----------|
| <i>Став. №</i> | <i>A4</i> | <i>1</i> | <i><u>ЛМЗ1.602512.001</u></i>  | <i>Корпус</i>            | <i>1</i> |
|                | <i>A4</i> | <i>2</i> | <i><u>ЛНЗ1.602512.001</u></i>  | <i>Корпус</i>            | <i>1</i> |
|                | <i>A4</i> | <i>3</i> | <i><u>ЛНЗ1.714.165.001</u></i> | <i>Кришка</i>            | <i>1</i> |
|                | <i>A4</i> | <i>4</i> | <i><u>ЛНЗ1.714.165.002</u></i> | <i>Кришка</i>            | <i>1</i> |

### Приклад 6.7



|          |             |   |                          |   |                                     |   |
|----------|-------------|---|--------------------------|---|-------------------------------------|---|
| Справ. № | Лист. номер |   |                          |   | Стандартные изделия                 |   |
|          |             | 1 |                          |   | Прокладка 1-400-0,3 ГОСТ 28759.6-90 | 4 |
|          |             | 2 |                          |   | Фланец 1-400-1-20 ГОСТ 28759.3-90   | 2 |
|          |             | 3 |                          |   | Шпилька 2 М16х120 ГОСТ 22034-76     | 8 |
|          |             |   |                          |   | Болт ОСТ-26-2037-96                 |   |
|          |             | 4 |                          |   | М12х50                              | 4 |
|          |             | 5 |                          |   | М12х120                             | 2 |
| 6        |             |   | Гайка М12 ОСТ 26-2038-96 | 2 |                                     |   |
| 7        |             |   | Гайка М12 ОСТ 26-2041-96 | 4 |                                     |   |

### «Інші вироби»

Вносять вироби, які застосовуються не за основними конструкторськими документами (до них можуть відноситись прилади, обладнання, що купляється на інших підприємствах як то двигуни, редуктори та інше).

Порядок внесення:

- 1) за однорідністю груп;
- 2) в межах групи в алфавітній черговості назв;
- 3) в межах найменування за зростанням параметрів чи розмірів виробу.

### «Матеріали»

Вносять всі матеріали, що входять в виріб (складові частини виробу, на які дозволено **НЕ** виконувати креслення).

До специфікації **НЕ ВНОСЯТЬСЯ** матеріали, маса яких не може бути визначена конструктором!!! Прикладом може бути маса дроту (наплавленого металу) при зварюванні, маса якого має визначатись

технологом по зварюванню, в цьому випадку її можна зазначити в технічних вимогах на полі складального креслення.

Порядок внесення:

- 1) по видам (чорні, феромагнітні, кольорові, благородні та рідкісні, дроти шнури, пластмаси та пресматеріали, паперові та текстильні, мінеральні, керамічні, скляні, лаки, фарби);
- 2) в межах виду в алфавітній черговості назв;
- 3) в межах найменування за зростанням параметрів чи розмірів виробу.

### **«Комплекти»**

Вносять відомість експлуатаційних документів, відомість документів для ремонту і застосування згідно з конструкторськими документами, комплекти, що входять в виріб та упаковку для виробу.

Послідовність внесення:

- 1) відомість експлуатаційних документів, відомість документів для ремонту;
- 2) комплект змінних частин;
- 3) комплект запасних частин;
- 4) комплект інструменту;
- 5) комплект укладальних засобів;
- 6) інші комплекти (згідно з наданим найменуванням).

## **6.2.2 Правила заповнення граф специфікації**

### **Графа «Формат»**

Вказується формат документів (згідно до ГОСТ 3.301), що мають записане позначення в графі «Позначення».

Якщо документація виконана на декількох форматах, то вказують «(\*)», а в графі «Примітки» перелічують всі формати (приклад 6.8).

Для деталей, які не мають креслення вказують «БК» (можливо лише коли проста форма, а конфігурація деталі повністю розкривається в графі «Найменування» чи «Примітках»)

Для розділів «Стандартні вироби», «Інші вироби», «Матеріали» **НЕ ЗАПОВНЮЄТЬСЯ.**

Приклад 6.8

| Лев. примен. | Формат | Зона | Поз. | Обозначение        | Наименование         | Кол.         | Примечание |
|--------------|--------|------|------|--------------------|----------------------|--------------|------------|
|              |        |      |      |                    |                      | Документация |            |
|              | A1     |      |      | ЛНЗ1.065135.001 СБ | Складальне креслення |              |            |
|              | (*)    |      |      | ЛНЗ1.065135.001 А2 | Схема функціональна  |              | (*) А0, А3 |

### Графа «Зона»

Вказується позначення зони, в якій знаходить номер позиції записаної складової частини (ЛИШЕ ПРИ розбиванні поля креслення на зони згідно ГОСТ 2.104-68 – приклад 6.9 ). У прикладі 6.10 представлено правила заповнення графи.

### Приклад 6.9

|  |    |    |    |    |
|--|----|----|----|----|
|  | 2D | 2C | 2B | 2A |
|  | 1D | 1C | 1B | 1A |

### Приклад 6.10

|          |    |   |                                     |   |
|----------|----|---|-------------------------------------|---|
| Склад. № |    |   | <i>Стандартные изделия</i>          |   |
|          | 2D | 1 | Прокладка 1-400-0,3 ГОСТ 28759.6-90 | 4 |
|          | 1C | 2 | Фланец 1-400-1-20 ГОСТ 28759.3-90   | 2 |

#### Графа «Поз.»

Вказується порядковий номер складової частини виробу, що безпосередньо входять у виріб.

Для розділів «Документація», «Комплекти» **НЕ ЗАПОВНЮЮТЬ**.

Номери позиції мають іти **ПО ЗРОСТАННЮ**.

Допускається «резервувати» декілька позицій після розділу (приклад 6.11).

### Приклад 6.11

| Дата | Взам. инв. № | Инв. № дробл. | Подп. и дата |    |                 |  |   |
|------|--------------|---------------|--------------|----|-----------------|--|---|
|      |              |               |              |    |                 |  |   |
|      |              |               |              |    |                 | <i>Детали</i>                            |   |
|      |              |               | А-           | 8  | ЛНЗ1.065121.204 | Прокладка $\phi$ 200                     | 2 |
|      |              |               | А-           | 9  | ЛНЗ1.065121.205 | Прокладка $\phi$ 600                     | 1 |
|      |              |               |              |    |                 |  |   |
|      |              |               |              |    |                 | <i>Стандартные изделия</i>               |   |
|      |              |               |              | 12 |                 | Заглушка фланцева Ду 200-16 СТП-51-13-83 | 2 |
|      |              |               |              | 13 |                 | Фланець ГОСТ 12821-80                    |   |
|      |              |               |              | 14 |                 | Ду 20-16                                 | 1 |

### Графа «Позначення»

Для розділу «Документація» – позначення документів, що внесено до специфікації.

Для розділів «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі», «Комплекти» – позначення основного конструкторського документа на ці вироби.

Для розділів «Стандартні вироби», «Інші вироби», «Матеріали» – **НЕ ЗАПОВНЮЄТЬСЯ.**

При виконанні документації на стандартний виріб, **може** вказуватись позначення цієї документації (приклад 6.12). Це можливо, коли на самому виробництві виготовляють даний стандартний виріб, для чого потрібна робоча документація.

## Приклад 6.12

| Сплав, № | Стандартные изделия |                          |   |  |
|----------|---------------------|--------------------------|---|--|
|          |                     |                          |   |  |
| 6        | NY49.751316.001     | Гайка М12 ОСТ 26-2038-96 | 2 |  |
| 7        |                     | Гайка М12 ОСТ 26-2041-96 | 4 |  |

### Графа «Найменування»

Для розділу «Документація» – назву документів, які входять в основний комплект документації виробу (*Складальне креслення, Габаритне креслення, Схема електрична, Пояснювальна записка*).

Для розділів «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі», «Комплекти» – найменування виробу, аналогічне до найменування з основного конструкторського документа на цей виріб.

Для деталей, на які не розробляються креслення, вказуються найменування, матеріал та розміри, необхідні для виготовлення.

Для розділу «Стандартні вироби» – найменування та умовне позначення згідно з стандартом на виріб.

Для розділу «Інші вироби» – найменування та умовне позначення виробів згідно з документами на їх поставку.

Для розділу «Матеріали» – позначення матеріалів, встановлене в стандартах або технічних умовах.

У прикладі 6.11 наведені правила заповнення графи.

### Графа «Кіль.»

Для розділу «Документація» – **НЕ ЗАПОВНЮЄТЬСЯ.**

Для розділу «Матеріали» – загальна кількість матеріалів на один виріб, що специфікується. Допускається запис одиниць вносити в графу «Примітки» (приклад 6.13).

Для інших розділів – кількість складових частин на один виріб.

### Графа «Примітки»

Вносяться додаткові відомості для планування та організації виробництва (приклад 6.13).

Приклад 6.13

|             |    |   |                         |   |    |               |
|-------------|----|---|-------------------------|---|----|---------------|
| Перв. прим. |    |   |                         | <i>Детали</i>   |    |               |
|             | БК | 1 | <u>ЛНЗ1.754 121.001</u> | <u>Труба 1200x25x2 Х18Н10Т ГОСТ 16523-89</u>                      | 10 | <u>1,47кz</u> |
| Спав. №     |    |   |                         | <i>Прочие изделия</i>   |    |               |
|             |    | 4 |                         | <u>Двухствель 4ААНЕ50А4 УЗ 220 В,50 Гц,М10В1 ТУ 16-510.769-81</u> | 1  |               |
| Ма          |    |   |                         | <i>Материалы</i>  |    |               |
|             |    | 7 |                         | <u>Уголок В-63 х 40 х 4 ГОСТ 8510-86<br/>Ст2сп ГОСТ 535-88</u>    | 12 | <u>М</u>      |

## **7 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОРЯДКУ ЗАХИСТУ РОБОТИ**

Зброшурована пояснювальна записка та креслення вкладаються до папки на титульну сторінку якої наклеюється аркуш з заголовком „**Курсова робота**” (додаток А).

На внутрішній стороні папки розміщують „Опис вкладень” (додаток Д).

Курсова робота захищається після перевірки на керівником курсової роботи всіх розділів та креслень, про що свідчать підписи керівника та студента у штампах пояснювальної записки і креслень та на титульних аркушах записки.



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підруч. / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. - К.: НТУУ "КПІ", 2011. - Ч. 2. - 416 с.
4. Методичні вказівки по виконанню обчислювальної техніки по курсу "Машина та Апарати хімічних производств алгоритм расчета реактора-полимеризатора" Киев КПИ 1981, 39 с.
6. Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования та расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Конструювання та розрахунок фланцевих з'єднань: Навч. посібник / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – К.: НМК ВО, 1992. 104с.
8. Методические указания к выполнению курсовых та дипломных проектов / Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень: Навч. Посібник / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1995. – 184 с.
9. Розрахунок і конструювання машин і апаратів хімічних підприємств / Укл.: Міхальов М.Ф. - М: Машиностроение, - 1984р. – 301ст.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.2.–5-е изд., перераб. та доп. – М.: Машиностроение, 1980.–559с., ил.
11. Касаткин А.Г. Основные процессы та Апарати химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.
12. Оформление графической документации. Методические указания к выполнению курсовых та дипломных проектов / Сост. В.Н. Марчевский. – 1989.
13. Основные процессы та Апарати химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1982. – 772 с.
14. Промышленная технология лекарств. / Под ред. проф. В.И. Нускова, Изд. УкрФА, Харьков, - 1999, - 559 стр.

15. Проектирование процесів та аппаратов пищевых производств. / Под ред. Проф. Стабникова В.Н., Вища школа., К.: - 1982, - 199 с.

16. Машины та Апарати хімічних производств. / Под ред. д-ра техн. наук., проф. И.И.Чернобыльского, изд. 3-е перераб. та доп. М. Машиностроение, -1974,-456 с.

17. Дытнерский Ю.И. Основные процессы та Апарати химической технологии. Пособие по курсовому проектированию. М.: Химия, - 1983, - 272с.

18. Домашнее А.Е. Конструирование та расчет хімічних аппаратов - М.: Государственное политехническое издательство машине строительной литературы, - 1961, - 464 с.

**ДОДАТОК А. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КУРСОВОЇ РОБОТИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”  
Інженерно-хімічний факультет  
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**КУРСОВА РОБОТА**

**з дисципліни:**

Розрахунок і конструювання типового обладнання-4. Курсова робота

на тему: **РИБОЙЛЕР**

Студента ІV курсу, групи ЛН-91

\_\_\_\_\_ **Юрій МАГДИЧ**

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»,  
освітня програма «Обладнання хімічних,  
нафтопереробних та целюлозно-паперових  
виробництв»

Керівник доцент, к.т.н., \_\_\_\_\_ **Олег ЗУБРІЙ**

Національна оцінка \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії:

\_\_\_\_\_  
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій розрахунково-графічній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ **Юрій МАГДИЧ**

**Київ 2022**

**ДОДАТОК Б. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ  
ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до курсової роботи на тему:

**РИБОЙЛЕР**

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»,  
освітня програма «Обладнання хімічних, нафтопереробних та  
целюлозно-паперових виробництв»

з дисципліни:

Розрахунок і конструювання типового обладнання-4. Курсова робота

Виконав студент групи ЛН-91 \_\_\_\_\_  
(підпис, дата)

**Юрій МАГДИЧ**

Керівник проекту, к.т.н., доц. \_\_\_\_\_  
(підпис, дата)

**Олег ЗУБРІЙ**

Київ 2022

**ДОДАТОК В. ЗРАЗОК ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”  
ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**ЗАВДАННЯ**

**до курсової роботи**

студентові \_\_\_\_\_

**1. Тема проекту: Рибойлер**

**2. Термін здачі** студентом закінченого проекту: 30 \_\_\_\_\_ 202\_р.

**3. Вихідні дані до проекту:** Розрахувати кожухотрубний теплообмінник для нагрівання / рибойлер для випаровування речовини «Р». Початкова температура речовини  $t_{p1}$ , кінцева -  $t_{p2}$ . Нагрівальний агент – димові газы. Втрати теплоти крізь зовнішню поверхню теплообмінника прийняти 10 % від корисно витраченої теплоти. Робочий тиск речовини  $p_p$

**4. Перелік питань, які мають бути розроблені:** навести технічну характеристику рибойлера; опору; виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність рибойлера; обґрунтувати вибір товщини стінки корпусу, кришки, підбір фланців, опори, виконати вибір штуцерів

**5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** рибойлер – А1 та специфікація до креслення.

**Завдання прийняв до виконання** студент ЛН-91 \_\_\_\_\_ **Юрій МАГДИЧ**  
(підпис, дата)

**Керівник, доцент**

\_\_\_\_\_ **Олег ЗУБРІЙ**  
(підпис, дата)

## ДОДАТОК Г. ЗРАЗОК ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

### Зміст

|   |    |  |
|---|----|--|
| Вступ   | 11 |  |
| 1 Технічна характеристика рибойлера                                   | 15 |  |
| 2 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність рибойлера | 19 |  |
| 2.1. Параметричний розрахунок рибойлера                               | 19 |  |
| 2.2. Визначення розмірів штуцерів рибойлера                           | 28 |  |
| Висновки  | 30 |  |
| Перелік посилань  | 32 |  |
| Додаток А Блок-схема алгоритму програми розрахунку рибойлера          | 34 |  |
| Додаток Б Таблиця ідентифікаторів програми розрахунку рибойлера       | 35 |  |
| Додаток В Програма розрахунку рибойлера                               | 38 |  |
| Додаток Г Результати розрахунку за програмою розрахунку рибойлера     | 42 |  |

|         |          |         |       |     |                     |   |      |        |  |
|---------|----------|---------|-------|-----|---------------------|---|------|--------|--|
|         |          |         |       |     | ЛН91.XXXXXXX.001 ПЗ |   |      |        |  |
| Из      | Лист     | № докум | Полни | Дат | Рибойлер            | Лит                                     | Лист | Листов |  |
| Разраб  | Маглич   |         |       |     |                     |   | 5    | 80     |  |
| Пев     | Степанюк |         |       |     |                     |   |      |        |  |
| Реценз  |          |         |       |     |                     |   |      |        |  |
| Н Контр |          |         |       |     |                     |   |      |        |  |
| Затв    |          |         |       |     |                     |   |      |        |  |
|         |          |         |       |     |                     | КПІ ім Ігоря Сікорського,<br>ІХФ, МАХНВ |      |        |  |

## ДОДАТОК Д . ЗРАЗОК ОПИСУ ВКЛАДЕНЬ

| Лист                | Формат | Зона | Лист     | Обозначение         | Наименование                 | Кол.  | Примечание |
|---------------------|--------|------|----------|---------------------|------------------------------|---|------------|
|                     |        |      |          |                     |                              |   |            |
| <i>Документация</i> |        |      |          |                     |                              |   |            |
|                     | A1     |      |          | ЛН-91.101211.001 СБ | Реактор Складальне креслення | 1   |            |
|                     | A4     |      |          | ЛН-91.101211.001    | Реактор                      | 2   |            |
|                     | A4     |      |          | ЛН-91.101211.001 ПЗ | Пояснювальна записка         | 75  | стр        |
| ЛН-91.101211.001 ОП |        |      |          |                     |                              |   |            |
| Изд. № подл.        | Изд. № | Лист | № докум. | Подп.               | Дата                         | <b>Реактор</b>  |            |
|                     |        |      |          |                     |                              | Лит.  | Лист       |
|                     |        |      |          |                     |                              |   | 1          |
|                     |        |      |          |                     |                              | КПІ ім. Ігоря Сікорського,<br>ІХФ, каф. МАХІВ         |            |
|                     |        |      |          |                     |                              | Копіював <span style="float: right;">Формат А4</span> |            |

## ДОДАТОК Е. ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-РАФІЧНУ РОБОТУ

Розрахувати кожухотрубний теплообмінник для нагрівання/рибойлер для випаровування речовини «Р». Початкова температура речовини  $t_{p1}$ , кінцева -  $t_{p2}$ . Нагрівальний агент – димові гази. Втрата теплоти крізь зовнішню поверхню теплообмінника прийняти \_\_\_% від корисно витраченої теплоти. Робочий тиск речовини  $p_p$

| Речовина «Р» |  |         |   |         |   |         |                          |         |                          | Димові гази |                          |         |                          |
|--------------|--|---------|---|---------|---|---------|--------------------------|---------|--------------------------|-------------|--------------------------|---------|--------------------------|
| Варіант      | Речовина «Р»                               | Варіант | Масова частка розчиненої речовини в розчиннику, % | Варіант | Речовина «Р» $G \times 10^3, \text{кг/с}$ | Варіант | $t_{p1}, ^\circ\text{C}$ | Варіант | $t_{p2}, ^\circ\text{C}$ | Варіант     | $t_{p1}, ^\circ\text{C}$ | Варіант | $t_{p1}, ^\circ\text{C}$ |
| 1            | розчин еталону воді у                      | 1       | 0   | 1       | 0,50                                      | 1       | 20                       | 1       | $t_{\text{кип}}$         | 1           | 200                      | 1       | 500                      |
| 2            | розчин металону воді у                     | 2       | 10  | 2       | 0,60                                      | 2       | 30                       | 2       | 70                       | 2           | 210                      | 2       | 490                      |
| 3            | розчин бензолу толуолі в                   | 3       | 20  | 3       | 0,70                                      | 3       | 40                       | 3       | 65                       | 3           | 220                      | 3       | 480                      |
| 4            | розчин толуолу бензолі у                   | 4       | 30  | 4       | 0,80                                      | 4       | 50                       | 4       | 60                       | 4           | 230                      | 4       | 470                      |
| 5            | розчин мурашиної кислоти оцтовій кислоті в | 5       | 40  | 5       | 0,90                                      | 5       | 55                       | 5       | 55                       | 5           | 240                      | 5       | 460                      |
| 6            | вода                                       | 6       | 50  | 6       | 0,95                                      | 6       | 60                       | 6       | 50                       | 6           | 250                      | 6       | 450                      |
| 7            | оцтова кислота                             | 7       | 60  | 7       | 1,20                                      | 7       | 65                       | 7       | 45                       | 7           | 260                      | 7       | 440                      |
| 8            | етанол                                     | 8       | 70  | 8       | 1,30                                      | 8       | 70                       | 8       | 40                       | 8           | 270                      | 8       | 430                      |
| 9            | метанол                                    | 9       | 80  | 9       | 1,40                                      | 9       | 75                       | 9       | 35                       | 9           | 280                      | 9       | 420                      |
| 0            | бензол                                     | 0       | 100   | 0       | 1,50                                      | 0       | 80                       | 0       | 30                       | 0           | 290                      | 0       | 410                      |

$m$  – варіант за списком у журналі.

Тип теплообмінника:  – з нерухомими трубними решітками ( – з температурним компенсатором на кожусі);  – з U-подібними трубками;  – з плаваючою головкою;  – з «труба в трубі». Тиск:  $p_p = \underline{\hspace{2cm}}$  МПа.

**\* потрібні параметри позначені, або вписані викладачем**

| Група | Студент         | Дата видачі | Видав            |
|-------|-----------------|-------------|------------------|
|       | <hr/>           |             | <hr/>            |
|       | ПІБ студента    |             | ПІБ керівника    |
|       | <hr/>           |             | <hr/>            |
|       | Підпис студента |             | Підпис керівника |



Розрахувати та вибрати **БАРАБАННУ СУШАРКУ** з підйимально-лопатевою насадкою для сушіння матеріалу «М» у межах міста «N». Масова продуктивність сушарки по вологому матеріалу G. Відносна вологість: початкова  $W_1$ , а кінцева  $W_2$ . Сушильний агент – повітря. Витрати теплоти в оточуюче середовище прийняти 8% від корисно витраченої.

| Варіант | Речовина «М»        | $W_1, \%$ | $W_2, \%$ | G, кг/с | Місто «N»     |
|---------|---------------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 1       | Хлорид кальцію      | 6,5       | 0,4       | 0,35    | Київ          |
| 2       | Сульфат амонію      | 3,7       | 0,4       | 0,45    | Дніпро        |
| 3       | Нітрат амонію       | 3,5       | 0,3       | 0,6     | Миколаїв      |
| 4       | Хлорид натрію       | 5,5       | 0,2       | 0,75    | Кропивницький |
| 5       | Суперфосфат         | 18        | 3,5       | 1,0     | Одеса         |
| 6       | Пісок               | 4         | 0,1       | 1,2     | Харків        |
| 7       | Кам'яне вугілля     | 9         | 0,6       | 1,4     | Львів         |
| 8       | Глина               | 23        | 4,5       | 1,6     | Суми          |
| 9       | Хлорид барію        | 5,5       | 1,2       | 1,8     | Вінниця       |
| 10      | Бікарбонат натрію   | 6         | 0,1       | 2,0     | Херсон        |
| 11      | Сульфат амонію      | 3,6       | 0,4       | 1,2     | Суми          |
| 12      | Суперфосфат         | 18        | 3,5       | 0,4     | Миколаїв      |
| 13      | Хлорид барію        | 5,5       | 1,2       | 1,0     | Суми          |
| 14      | Хлорид натрію       | 5         | 0,2       | 1,6     | Вінниця       |
| 15      | Нітрат амонію       | 4         | 0,3       | 1,6     | Харків        |
| 16      | Пісок               | 4         | 0,1       | 0,6     | Кропивницький |
| 17      | Кам'яне вугілля     | 9         | 0,6       | 0,3     | Київ          |
| 18      | Хлорид калію        | 6         | 0,4       | 0,8     | Суми          |
| 19      | Глина               | 23        | 4,5       | 0,4     | Харків        |
| 20      | Нітрат амонію       | 4         | 0,3       | 0,8     | Суми          |
| 21      | Сульфат амонію      | 3,6       | 0,4       | 0,8     | Одеса         |
| 22      | Пісок               | 4         | 0,1       | 0,4     | Львів         |
| 23      | Кам'яне вугілля     | 9         | 0,6       | 0,6     | Київ          |
| 24      | Сульфат натрію      | 3,6       | 0,4       | 1,2     | Черкаси       |
| 25      | Хлорид амонію       | 4         | 0,1       | 1,2     | Миколаїв      |
| 26      | Нітрат натрію       | 5,5       | 1,2       | 1,8     | Київ          |
| 27      | Сульфат заліза (II) | 3,6       | 0,4       | 0,4     | Хмельницький  |
| 28      | Сульфат міді        | 12        | 3         | 1,8     | Житомир       |
| 29      | Хлорид літію        | 8         | 2,7       | 1,2     | Донецьк       |

Розрахунок здійснити для літніх умов. Навести графік зміни параметрів вологого повітря в сушарці на I-X діаграмі.

| Група | Студент         | Дата видачі | Видав            |
|-------|-----------------|-------------|------------------|
|       | _____           |             | _____            |
|       | ПІБ студента    |             | ПІБ керівника    |
|       | _____           |             | _____            |
|       | Підпис студента |             | Підпис керівника |

# ПРИКЛАД Ж. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛООБМІННИКА

## 2 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛООБМІННИКА

### 2.1 РОЗРАХУНОК ПОВЕРХНІ ТЕПЛООБМІНУ

Метою розрахунку є визначення необхідної площі теплообміну та вибір нормалізованої конструкції апарата, яка оптимально задовольняє заданим технологічним умовам та конструктивні розміри кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою

Розрахункова схема кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою зображене на рисунку 5.1.

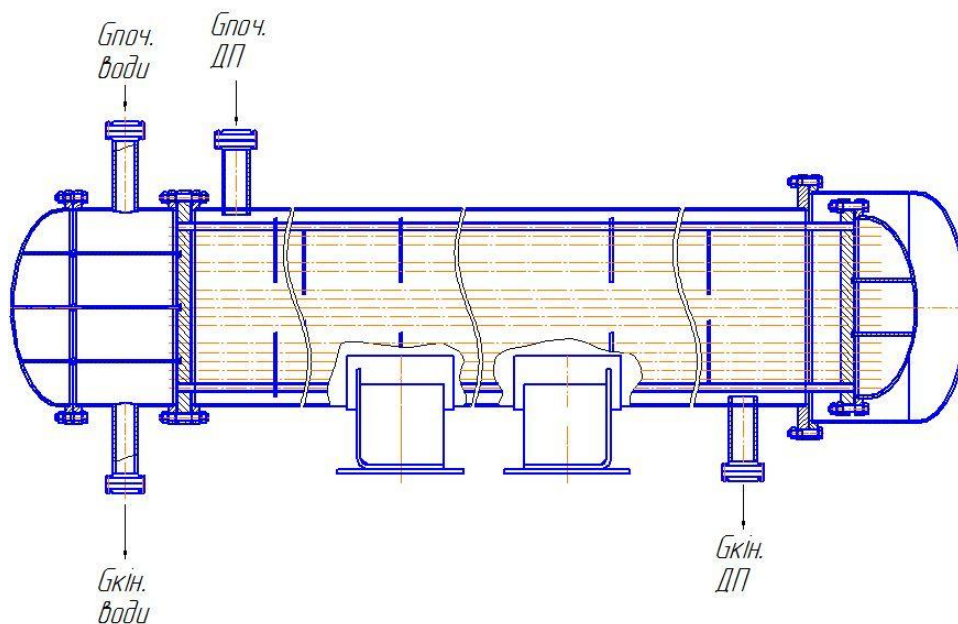


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема кожухотрубного теплообмінника з плаваючою головкою.

Вихідні дані:

|   |      |
|---|------|
| Температура дизельного палива на вході $T_{дпв}$ , К  | 493; |
| Температура дизельного палива на виході $T_{дпк}$ , К | 363; |

|   |      |
|---|------|
| Температура води на вході $T_{\Pi}$ , К       | 293; |
| Температура води на виході $T_{\text{К}}$ , К | 363; |
| Продуктивність дизельного палива $G_1$ , кг/с | 4.   |

Розрахунок буде проводитися за алгоритмом, запропонованим авторами [10 (Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры та задачи по курсу процесів та апаратів химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.)].

Визначення орієнтовної поверхні теплообміну:

Більшу різницю температур на кінцях теплообмінника (між холодним та гарячим теплоносієм) визначають по формулі, К:

$$\Delta T_B = T_{\text{ДПП}} - T_{\text{БК}} = 493,15 - 363,15 = 130 \text{ К.}$$

Визначаємо меншу різницю температур на кінцях теплообмінника (між холодним та гарячим теплоносієм):

$$\Delta T_M = T_{\text{ДПК}} - T_{\text{ВП}} = 363,15 - 293,15 = 70 \text{ К.}$$

Визначаємо середню різницю температур:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\Delta T_B - \Delta T_M}{\ln \frac{\Delta T_B}{\Delta T_M}} = \frac{130 - 70}{\ln \frac{130}{70}} = 96,924 \text{ К.}$$

де  $\Delta T_B = 130 \text{ К}$  - максимальна різниця між температурами теплоносіїв;

$\Delta T_M = 70 \text{ К}$  - мінімальна різниця між температурами теплоносіїв.

Визначаємо середню температуру води:

$$T_2 = \frac{T_{\text{ВП}} + T_{\text{БК}}}{2} = \frac{293,15 + 363,15}{2} = 328,15 \text{ К}$$

де  $T_{\text{ВП}} = 293,15 \text{ К}$  - температура води на вході в теплообмінник;

$T_{\text{БК}} = 363,15 \text{ К}$  - температура води на виході з теплообмінника.

Визначаємо середню температуру дизельного палива:

$$T_1 = T_2 + \Delta T_{cp} = 328,15 + 96,924 = 425,074 \text{ К}$$

де  $T_2 = 328,15 \text{ К}$  - середня температура води;

$\Delta T_{cp} = 96,924 K$  - середня різниця температур.

Теплофізичні властивості дизельного палива при середній температурі  $T_1 = 425,074 K$  за таблицею ХІХ [10 (Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры та задачи по курсу процесів та апаратів хімічної технології. – Л.: Хімія, 1987. – 576 с.)]:

$\mu_1$  - коефіцієнт динамічної в'язкості дизельного палива,  $\mu_1 = 820 \cdot 10^{-6} Pa \cdot c$  ;

$\rho_1$  - густина дизельного палива,  $\rho_1 = 840 \frac{kg}{m^3}$  ;

$\lambda_1$  - коефіцієнт теплопровідності дизельного палива,  $\lambda_1 = 0,108 \frac{W}{m \cdot K}$  ;

$C_1$  - теплоємність дизельного палива,  $C_1 = 2050 \frac{J}{kg \cdot K}$  ;

$Pr_1$  - критерій Прандтля дизельного палива,  $Pr_1 = 5,11$  .

Визначаємо теплове навантаження, яке віддає дизельне паливо при нагріванні:

$$Q = 1,05 \cdot G_1 \cdot C_1 \cdot (t_{дшт} - T_{дшк}) = 1,05 \cdot 4 \cdot 2050 \cdot (93,15 - 353,15) = 1119300 W$$

де  $G_1 = 4 \frac{kg}{c}$  - масова витрата дизельного палива;

$C_1 = 2050 \frac{J}{kg \cdot K}$  - теплоємність дизельного палива.

Теплофізичні властивості води при середній температурі  $T_2 = 328,15 K$  за таблицею ХХІХ :

$\mu_2$  - коефіцієнт динамічної в'язкості води,  $\mu_2 = 509,5 \cdot 10^{-6} Pa \cdot c$  ;

$\rho_2$  - густина води,  $\rho_2 = 985 \frac{kg}{m^3}$  ;

$\lambda_2$  - коефіцієнт теплопровідності води,  $\lambda_2 = 0,68 \frac{W}{m \cdot K}$  ;

$C_2$  - теплоємність води,  $C_2 = 4190 \frac{J}{kg \cdot K}$  ;

$Pr_2$  - критерій Прандтля води,  $Pr_2 = 3,26$  .

Визначаємо масові витрати води:

$$G_2 = \frac{Q}{C_2 \cdot (T_{BK} - T_{BП})} = \frac{1119300}{4190 \cdot (63,15 - 293,15)} = 3,816 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де  $C_2 = 4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  - теплоємність води.

Визначаємо об'ємні витрати дизельного палива:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{4}{840} = 0,005 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

де  $\rho_1 = 840 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - густина дизельного палива;

$G_1 = 4 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  - масова витрата дизельного палива.

Визначаємо об'ємні витрати води:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{3,816}{985} = 0,004 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

де  $\rho_2 = 985 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - густина води;

$G_2 = 3,816 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  - масова витрата води.

Орієнтовно визначаємо потрібну площу теплообміну з основного рівняння теплопередачі, попередньо задавшись, значенням коефіцієнта теплопередачі  $K' = 250 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ , оскільки посилаючись на авторів [10 (Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры та задачи по курсу процесів та апаратів химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.)] коефіцієнт теплопередачі від води до дизельного палива лежить в межах

$$K' = 120 - 270 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$Q = K \cdot F' \cdot \Delta T_{CP}.$$

З формули отримуємо:

$$F' = \frac{Q}{K' \cdot \Delta T_{CP}} = \frac{1119300}{150 \cdot 96,924} = 76,988 \text{ м}^2$$

де  $Q$  - теплове навантаження, яке віддає дизельне паливо при нагріванні, Вт;

$\Delta T_{CP}$  - середня різниця температур, К.

Приймаємо попередньо значення критерію Рейнольдса для дизельного палива в трубному просторі:

$$Re_2 = 14000 ,$$

тоді попередньо швидкість дизельного палива в трубному просторі:

$$W = \frac{\mu_2 \cdot Re_2}{d_{внутр} \cdot \rho_2} = \frac{509,5 \cdot 10^{-6} \cdot 14000}{0,021 \cdot 985} = 0,345 \text{ м/с}$$

Число труб буде:

$$n = \frac{V_2}{S_2 \cdot W_2} = \frac{V_2}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot W_2} = \frac{0,004}{\frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} \cdot 0,345} = 47,16$$

По визначеній площі теплообміну та числу труб вибираємо за ГОСТ 15118-79 найближчий теплообмінник: шестиходовий, діаметр кожуха  $D = 600$  мм, діаметр труб  $d = 25 \times 2$  мм, довжина труб  $L = 6$  м, кількість труб  $n = 198$ , поверхня теплообміну  $F = 91 \text{ м}^2$ , кількість ходів  $N = 6$ .

Далі ведемо перевірочний розрахунок вибраного теплообмінника.

Визначення швидкості і критерію Рейнольдса для дизельного палива в трубному просторі:

Визначаємо швидкість води в трубах:

$$W_2 = \frac{V_2}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n} = \frac{0,004}{\frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} \cdot 33} = 0,343$$

де  $d_{внутр} = 0,021 \text{ м}$  - внутрішній діаметр труб;

$V_2 = 0,004 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$  - об'ємні витрати води;

$n_0 = 32,6$  - кількість труб в апараті на один хід прийняте  $N = 196 / 6 = 32,6$ .

Розрахуємо критерій Рейнольдса для води:

$$Re_2 = \frac{W_2 \cdot d_{внутр} \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,343 \cdot 0,021 \cdot 985}{509 \cdot 10^{-6}} = 13909,018 \approx 13910$$

де  $\mu_2 = 509,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості води [10];

$\rho_2 = 985 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - густина води [10].

Визначення швидкості і критерію Рейнольдса для дизельного палива в міжтрубному просторі:

Визначаємо швидкість дизельного палива:

$$W_1 = \frac{V_1}{S_M} = \frac{0,005}{4,5 \cdot 10^{-2}} = 0,1058 \frac{M}{c}$$

де  $V_1 = 0,005 \frac{M^3}{c}$  - об'ємні витрати дизельного палива;

$S_M = 4,5 M^2$  - площа поперечного перерізу міжтрубного простору.

Розрахуємо критерію Рейнольдса для дизельного палива:

$$Re_1 = \frac{W_1 \cdot d_{екв} \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,1058 \cdot 0,088 \cdot 840}{820 \cdot 10^{-6}} = 9509,731 \approx 9510$$

де  $\rho_1 = 840 \frac{Kc}{M^3}$  - густина дизельного палива [11];

$\mu_1 = 820 \cdot 10^{-6} Pa \cdot c$  - коефіцієнт динамічної в'язкості дизельного палива [11];

$d_{екв}$  - еквівалентний діаметр трубок:

$$d_{екв} = \frac{4 \cdot F_1}{\Pi} = \frac{4 \cdot 0,379}{17,279} = 0,088 M$$

де  $\Pi$  - змочений периметр апарату:

$$\Pi = \pi \cdot \Phi_{внутр} + n \cdot d_{зовн} \approx \pi \cdot 0,6 + 198 \cdot 0,025 \approx 17,279 M$$

де  $D_{внутр} = 0,6 M$  - внутрішній діаметр апарату;

$d_{зовн} = 0,025 M$  - зовнішній діаметр трубок;

$n = 198$  - кількість труб в апараті;

$F_1$  - площа поперечного перерізу теплообмінника:

$$F_1 = \frac{\pi}{4} \cdot \Phi_{внутр}^2 - n \cdot d_{зовн}^2 \approx 0,785 \cdot \pi \cdot 0,6^2 - 198 \cdot 0,025^2 \approx 0,379 M^2$$

Визначаємо температуру стінки з боку обох теплоносіїв методом послідовних наближень, попередньо задавшись співвідношенням коефіцієнту теплопередачі до коефіцієнту тепловіддачі  $A_1 = \frac{K}{\alpha_1} = 0,7$ ,  $A_2 = \frac{K}{\alpha_2} = 0,1$ , а потім зробимо перевірку на розбіжність цих коефіцієнтів з тими що ми отримуємо в кінці розрахунку:

$$T_{cm1} = T_1 + A_1 \cdot \Delta T_{cp} = 425,074 + 0,1 \cdot 96,924 = 493K \quad 220^\circ C$$

$$T_{cm2} = T_2 + A_2 \cdot \Delta T_{cp} = 328,15 - 0,7 \cdot 96,924 = 338K \quad 65^\circ C$$

де  $K$  - коефіцієнт теплопередачі,  $Вт/м^2 \cdot K$  ;

$\alpha_1$  і  $\alpha_2$  - коефіцієнти тепловіддачі від гарячого і холодного теплоносіїв,  $Вт/м^2 \cdot K$  .

Визначаємо критерій Прандтля стінки для води при  $T_{cm2} = 338K \quad 65^\circ C$  :  
(можна також знайти значення критерія Прандтля з таблиць, наведених у довідковій літературі)

$$Pr_{cm2} = \frac{C'_2 \cdot \mu'_2}{\lambda'_2} = \frac{4230 \cdot 282 \cdot 10^{-6}}{0,683} = 1,747$$

де  $\mu'_{cm2} = 282 \cdot 10^{-6} Pa \cdot c$  - коефіцієнт динамічної в'язкості води при температурі  $T_{cm2}$  [10];

$\lambda'_{cm2} = 0,683 \frac{Вт}{м \cdot K}$  - коефіцієнт теплопровідності води, при температурі  $T_{cm2}$  [10];

$C'_{cm2} = 4230 \frac{Дж}{кг \cdot K}$  - теплоємність води, при температурі  $T_{cm2}$  [10].

Рівняння процесу тепловіддачі при турбулентному режимі руху в трубах ( $Re > 10000$ ) має вигляд, причому  $Nu_2$  - критерій Нусельта, який характеризує теплообмін на границі "стінка-речовина":

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,021 \cdot \varepsilon_l \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm2}} \right)^{0,25} = \\ &= 0,021 \cdot 13910^{0,8} \cdot 1,5^{0,43} \cdot \left( \frac{1,5}{1,747} \right)^{0,25} = 51 \end{aligned}$$

де  $\varepsilon_l$  коефіцієнт, що враховує вплив відношення довжини трубки до її

$$\text{діаметру } L/d = 6 / 0,021 = 286 > 50, \quad \varepsilon_l = 1;$$

$Re_2 = 13910$  - критерій Рейнольдса, що характеризує співвідношення сил інерції і сил в'язкості в потоці рідини;



$Pr_2 = 1,5$  - критерій Прандтля для води при  $T_{cm2}$ , що враховує теплофізичні властивості теплоносія; [10]

$\left(\frac{Pr_2}{Pr_{cm2}}\right)^{0,25}$  - поправка Міхеєва, що враховує напрям теплового потоку;

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі холодного теплоносія – води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{внутр}} = \frac{51 \cdot 0,683}{0,021} = 1650 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

де  $d_{внутр} = 0,021$  м - внутрішній діаметр труб;

$\lambda_2 = 0,683 \frac{Вт}{м \cdot К}$  - коефіцієнт теплопровідності води [10].

Визначаємо критерій Прандтля для дизельного палива при  $T_1 = 425,074K$ :

$$Pr_1 = \frac{C'_1 \cdot \mu'_1}{\lambda'_1} = \frac{2050 \cdot 820 \cdot 10^{-6}}{0,08} = 21,12$$

де  $\mu'_1 = 820 \cdot 10^{-6} Па \cdot с$  – коефіцієнт динамічної в'язкості дизельного палива при температурі  $T_1$ ;

$\lambda'_1 = 0,08 \frac{Вт}{м \cdot К}$  – коефіцієнт теплопровідності дизельного палива, при температурі  $T_1$  [11];

$C'_1 = 2050 \frac{Дж}{кг \cdot К}$  – теплоємність дизельного палива, при температурі  $T_1$  [11].

Визначаємо критерій Прандтля для дизельного палива при  $T_{cm1} = 493K \ 220^\circ C$ :

$$Pr_{cm1} = \frac{C'_{cm1} \cdot \mu'_{cm1}}{\lambda'_{cm1}} = \frac{2072 \cdot 850 \cdot 10^{-6}}{0,078} = 22,06$$

де  $\mu'_{cm1} = 850 \cdot 10^{-6} Па \cdot с$  – коефіцієнт динамічної в'язкості дизельного палива при температурі  $T_{cm1}$  [11];

$\lambda'_{cm1} = 0,078 \frac{Вт}{м \cdot К}$  – коефіцієнт теплопровідності дизельного палива, при температурі  $T_{cm1}$  [11];

$C'_{cm1} = 2072 \frac{Дж}{кг \cdot K}$  - теплоємність дизельного палива, при температурі  $T_{cm1}$   
 [10].

Рівняння процесу тепловіддачі при шаховому розташуванні пучків труб, і при ( $Re > 1000$ ) має вигляд:

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,4 \cdot \varepsilon_\varphi \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm2}} \right)^{0,25} = \\ &= 0,4 \cdot 0,6 \cdot 9510^{0,6} \cdot \left( \frac{21,12}{22,06} \right)^{0,36} \cdot 0,95^{0,25} = 172 \end{aligned}$$

де  $\varepsilon_\varphi = 0,6$  – коефіцієнт, що враховує вплив кута атаки  $\varphi = 90^\circ$  [10];

$Re_1 = 9510$  - критерій Рейнольдса, що характеризує співвідношення сил інерції і сил в'язкості в потоці рідини;

$\left( \frac{Pr_1}{Pr_{cm1}} \right)^{0,25}$  – поправка Міхеєва, що враховує напрям теплового потоку;

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі гарячого теплоносія – дизельного палива:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{екв}} = \frac{171,919 \cdot 0,108}{0,088} = 212 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$$

де  $d_{екв} = 0,088 м$  - еквівалентний діаметр трубок;

$\lambda_1 = 0,108 \frac{Вт}{м \cdot K}$  - коефіцієнт теплопровідності дизельного палива [24].

Визначаємо термічний опір стінки та забруднень:

$$\sum r_{cm} = \frac{1}{r_{забр1}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{r_{забр2}} = \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{2900} = 5,6 \cdot 10^{-4} \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

де, за таблицею ХХХІ [10]:  $r_{забр1} = 5800 \text{ Вт/} м^2 \cdot K$  - теплова провідність забруднень стінки зі сторони дизельного палива;

$r_{забр2} = 2900 \text{ Вт/} м^2 \cdot K$  - теплова провідність забруднень стінки з боку води [10];

$\delta_{ст} = 0,002 м$  - товщина стінки трубки [10];

$\lambda_{ст} = 46,5 \text{ Вт/ м} \cdot \text{К}$  - теплопровідність сталі [10].

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{212} + 5,6 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{1650}} = 170 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перевіряємо прийняті раніше значення співвідношень коефіцієнтів теплопередачі до коефіцієнтів тепловіддачі:

$$A'_1 = \frac{K}{\alpha_1} = \frac{170}{212} = 0,8$$

$$\varepsilon_1 = \frac{A_1 - A'_1}{A_1} \cdot 100\% = \left| \frac{0,7 - 0,8}{0,7} \right| \cdot 100\% = 14\%$$

$$A'_2 = \frac{K}{\alpha_2} = \frac{170}{1650} = 0,1$$

$$\varepsilon_2 = \frac{A_2 - A'_2}{A_2} \cdot 100\% = \left| \frac{0,1 - 0,103}{0,1} \right| \cdot 100\% = 3\%$$

Визначаємо поверхневу густину теплового потоку:

$$q = K \cdot \Delta T_{cp} = 170 \cdot 97 = 16453 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Визначаємо площу поверхні теплообмінного апарату:

$$F_{роз} = \frac{Q}{q} = \frac{1119300}{16450} = 68 \text{ м}^2$$

Визначаємо довжину труб:

$$L' = \frac{F_{роз}}{\pi \cdot d_{ср} \cdot n} = \frac{68}{3,14 \cdot 0,023 \cdot 198} = 5,$$

де  $d_{ср} = 0,023 \text{ м}$  - середній діаметр труб;

$n = 198$  - кількість труб.

Результати розрахунку:

|   |        |
|---|--------|
| кількість труб, $n$                             | 198;   |
| кількість ходів, $z$                            | 6;     |
| число Рейнольдса в міжтрубному просторі, $Re_1$ | 9510;  |
| число Рейнольдса в трубному просторі, $Re_2$    | 13910; |

|   |        |
|---|--------|
| коефіцієнт тепловіддачі дизельного палива $\alpha_1$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К | 212;   |
| коефіцієнт тепловіддачі води $\alpha_2$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К              | 1650;  |
| коефіцієнт теплопередачі $K$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К                         | 170;   |
| витрати води $G_2$ , кг/с   | 3,816; |
| площа теплообміну $F_{розр}$ , м <sup>2</sup>                               | 68;    |
| довжина труб $L$ , м  | 5,0.   |

За результатами розрахунку визначена площа поверхні теплообміну  $F_{роз} = 68 \text{ м}^2$  та довжина труб  $L = 5,0 \text{ м}$ . За цими даними за ГОСТ 15118-79 вибираємо найближчий нормалізований теплообмінник: горизонтальний, шестиходовий теплообмінник з кожухом, діаметром  $D_{внутр} = 0,6 \text{ м}$ , умовним тиском в кожусі і трубах  $P = 0,3 \text{ МПа}$ . Поверхня теплообміну теплообмінника  $F = 91 \text{ м}^2$ , що забезпечує запас поверхні теплообміну.

Величина запасу становить:

$$\Delta F = \frac{F - F_{розр}}{F} \cdot 100\% = \frac{91 - 68}{91} \cdot 100\% = 25\%$$

Висновок: В результаті розрахунку визначена площа поверхні теплообміну, та вибраний нормалізований горизонтальний, шестиходовий теплообмінник з поверхнею теплообміну  $F = 91 \text{ м}^2$ .

## ДОДАТОК 3. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАРОГЕНЕРАТОРА

### 2 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції парогенератора

#### 2.1 Визначення поверхні теплопередачі

Метою розрахунку є визначення теплового навантаження парогенератора, розрахунок поверхні теплообміну, вибір типового парогенератора.

Вихідні дані:

Тиск  $P$ , МПа 0,476;

вода:

температура води на вході  $t_{\text{пв}}$ , К 423;

температура водяної пари на виході  $t_{\text{кв}}$ , К 423;

витрати пари  $G_{\text{п}}$ , кг/с 2,1;

димові гази:

температура димових газів на вході  $t_{\text{пд}}$ , К 923;

температура димових газів на виході  $t_{\text{кд}}$ , К 523;

геометричні параметри труб:

діаметр трубки  $d$ , м 0,025.

Розрахункова схема апарата зображена на рисунку 4.1.

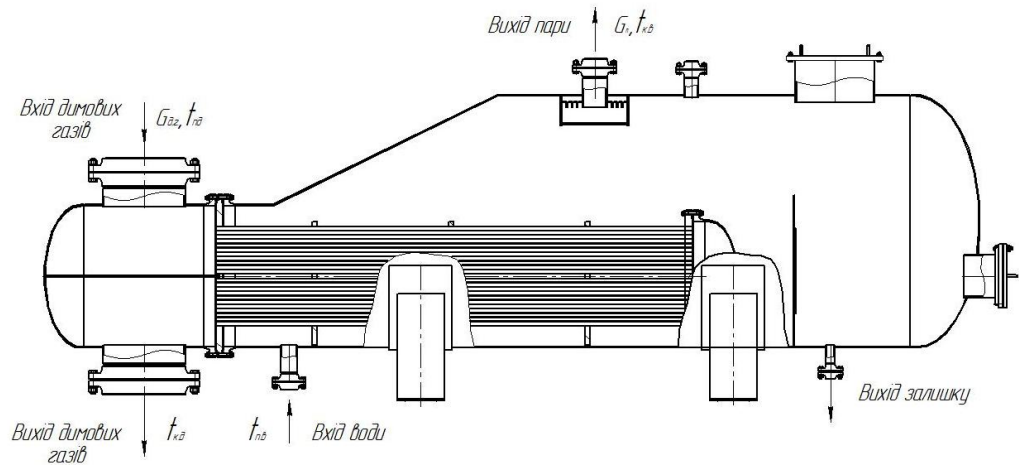


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема парогенератора

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [11 (Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.И. Расчеты процессов та аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е пер. та доп. Л., «Химия», 1974. 344 с.)].

Теплове навантаження парогенератора.

Розглянемо процес фазового переходу води з рідкого до газоподібного стану. Процес відбувається при температурі димових газів від  $t_{\text{пд}} = 923 \text{ К}$  до температури  $t_{\text{кд}} = 523 \text{ К}$ .

Визначаємо кількість теплоти необхідної для переходу води з рідкого до газоподібного стану:

$$Q = G_n \cdot r = 2,1 \cdot 1856 = 3897600 \text{ Вт}$$

де  $G_n$  - витрати водяної пари,  $G_n = 2,1 \text{ кг/с}$ ;

$r$  - теплота пароутворення,  $r = 1856 \text{ кДж/кг}$ .

Витрати димових газів визначимо з наступної рівності:

$$G_{\text{д.г.}} = \frac{Q}{c_{\text{р.д.г.}} \cdot (t_{\text{пд}} - t_{\text{кд}})} = \frac{3897600}{1,168 \cdot 10^3 \cdot (923 - 523)} = 7,34 \text{ кг/с,}$$

де  $G_{\text{д.г.}}$  - кількість димових газів;

$c_{\text{р.д.г.}}$  - теплоємність димових газів,  $c_p = 1,168 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$  при  $t_{\text{ср.д.г.}} = 723 \text{ К}$ .

Температурний напір по поверхні нагріву парогенератора:

Визначаємо більшу та меншу середні температури:

$$\Delta t_B = t_{\text{пд}} - t_{\text{пв}} = 923 - 423 = 500 \text{ К,}$$

$$\Delta t_M = t_{\text{кд}} - t_{\text{кв}} = 523 - 423 = 100 \text{ К,}$$

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{(\Delta t_B - \Delta t_M)}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}} = \frac{(500 - 100)}{\ln \frac{500}{100}} = 250$$

Визначаємо швидкість димових газів в трубному просторі:

Приймаємо  $Re = 12000$ , визначаємо швидкість в трубах

$$\omega = \frac{Re \mu}{d \cdot \rho_{\text{д.г.}}} = \frac{12000 \cdot 0,000033}{0,021 \cdot 0,491} = 38,4 \text{ м/с,}$$

де  $Re$  - орієнтовне значення критерія Рейнольдса,  $Re = 12000$ ;

де  $\rho_{\text{д.г.}}$  - густина димових газів,  $\rho_{\text{д.г.}} = 0,491 \text{ кг/м}^3$  при  $\Delta t_{\text{ср.д.г.}} = 723 \text{ К}$ .

Визначаємо кількість труб:

$$n = \frac{4G_{\text{д.г.}}}{\pi \cdot \rho \cdot d^2 \cdot \omega} = \frac{4 \cdot 7,34}{3,14 \cdot 0,491 \cdot 0,021^2 \cdot 38,4} = 1124,5$$

$d$  - внутрішній діаметр теплообмінних труб;

$\mu$  - коефіцієнт динамічної в'язкості димових газів,  $\mu = 0,000033 \text{ Па} \cdot \text{с}$

при  $t_{\text{ср.д.г.}} = 723 \text{ К}$ .

Попередньо вибираємо парогенератор з теплообмінними трубами  $25 \times 2$ , кількість яких  $n_1 = 1048$ .

Уточнюємо значення критерія Рейнольдса для димових газів в трубному просторі:

$$Re = \frac{n_1}{n} \cdot Re = \frac{1048}{1124,5} \cdot 12000 = 12998,25$$

Визначаємо значення критерія Нуссельта для димових газів:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,45} = 12998^{0,8} \cdot 0,57^{0,45} = 38,5$$

де  $\varepsilon_1$  - коефіцієнт який показує відношення критерія Рейнольдса до  $(l/d)$ ,  $\varepsilon_1 = 1$ ;

$Pr$  – критерій Прандтля.

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  зі сторони димових газів:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_{д.г.}}{d} = \frac{38,5 \cdot 0,052}{0,021} = 95,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К},$$

де  $\lambda_{д.г.}$  – коефіцієнт теплопровідності димових газів,  $\lambda_{д.г.} = 0,052 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$   
при  $t_{ср д.г} = 523 \text{ К}$ .

Коефіцієнт тепловіддачі на поверхні труб для бульбашкового кипіння:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= A \cdot q^{0,7} = 0,075 \cdot [1 + 10 \cdot (\frac{\rho_p}{\rho_n} - 1)^{-0,7}] \cdot (\frac{\lambda_p^2 - \rho_p}{\mu_p \cdot \sigma \cdot T_{кип}})^{0,3} \cdot q^{0,7} = \\ &= 0,075 \cdot [1 + 10 \cdot (\frac{887}{5,16} - 1)^{-0,7}] \cdot (\frac{0,675^2 \cdot 887}{0,0153 \cdot 0,0442 \cdot 150})^{0,3} \cdot q^{0,7} = \\ &= 1,099 \cdot q^{0,7}, \end{aligned}$$

де  $\rho_p = 887 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – густина води;

$\rho_n = 5,16 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – густина пари;

$\lambda_2 = 0,675 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  – коефіцієнт теплопровідності води;

$\mu_p = 1,35 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$  – коефіцієнт динамічної в'язкості води.

$\sigma = 0,0422 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  – поверхневий натяг води;

$T_{кип} = 150^\circ\text{З}$  – температура кипіння води;

$q$  – густина теплового потоку,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

Коефіцієнт теплопередачі.

З урахуванням опору стінки і забруднення її з обох поверхонь коефіцієнт теплопередачі визначимо з рівняння:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_{ст1} + r_{ст2} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де  $\delta_{ст}$  – товщина стінки труби, м,  $\delta_{ст} = 0,0025 \text{ м}$ ;



$\lambda_{ст}$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки труби,  $\lambda_{ст} = 46,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [10];

$r_{ст1}$  - теплова провідність забрудненої стінки зі сторони димових газів,  
 $r_{ст1} = \frac{1}{2900}$  м<sup>2</sup>·К/Вт [23];

$r_{ст2}$  - теплова провідність забрудненої стінки зі сторони води середньої якості,  $r_{ст2} = \frac{1}{2400}$  м<sup>2</sup>·К/Вт [23].

Визначення теплового напруження поверхні нагріву

Приймаємо ряд величин теплового навантаження,  $q, \text{Вт/м}^2$ , визначаємо коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ , коефіцієнт теплопередачі  $K, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$  та середню температуру  $\Delta t_{cp}, \text{К}$ . Результати розрахунків заносимо у таблицю 4.1. За даними таблиці 4.1 будуємо графік залежності  $q - \Delta t_{cp}$  (рисунок 4.2), який має назву навантажувальна характеристика парогенератора, будуємо апроксимуючий поліном та за величиною середньої температури  $\Delta t_{cp}, \text{К}$  – визначаємо теплове напруження поверхні нагріву  $q, \text{Вт/м}^2$ .

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків

| Величини  | Результати розрахунків |          |        |
|---|------------------------|----------|--------|
|   | 1                      | 2        | 3      |
| $q, \text{Вт/м}^2$ (приймається)                            | 25000                  | 20000    | 15000  |
| $\alpha_1, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$                    | 95,3                   | 95,3     | 95,3   |
| $\alpha_2 = 1,099 \cdot q^{0,7},$<br>Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | 1316,909               | 1126,468 | 921,00 |
| $K, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$                           | 88,628                 | 87,631   | 86,136 |
| $\Delta t_{cp} = q/k, \text{К}$                             | 282,077                | 228,229  | 174,14 |
|   |                        |          | 3      |

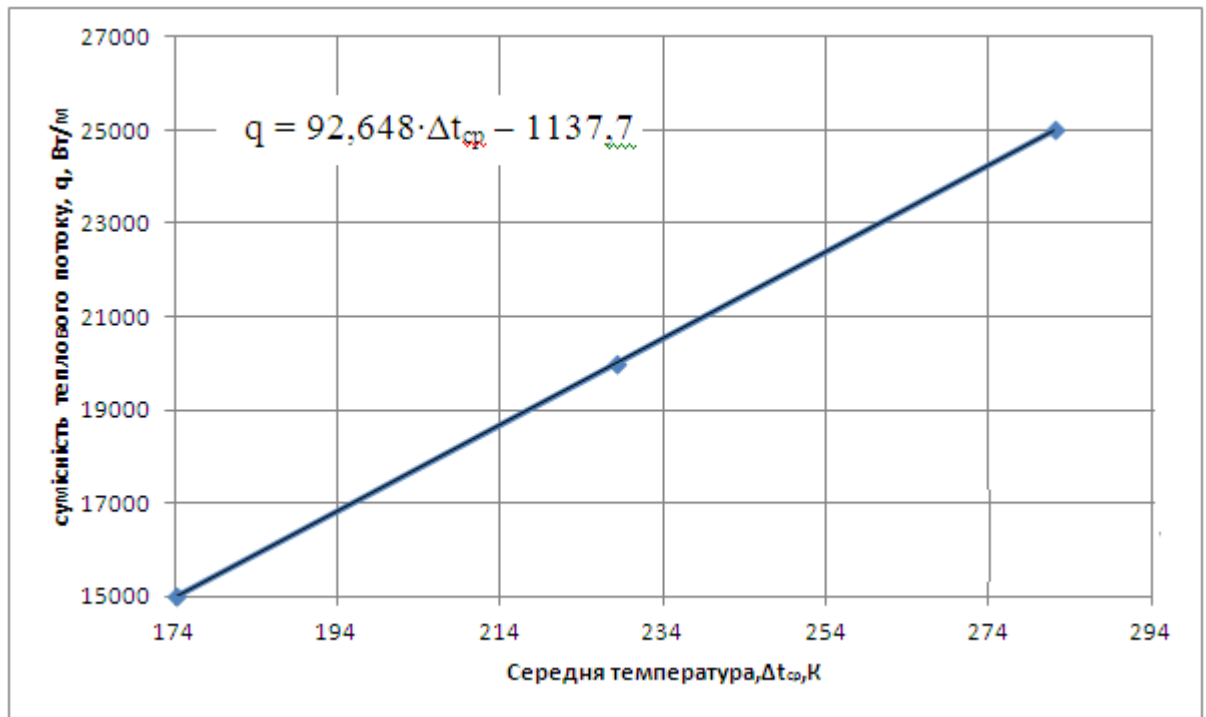


Рисунок 4.2 – Навантажувальна характеристика парогенератора.

В даному парогенераторі середній температурний напір  $\Delta t_{cp} = 250$  К, звідси за функцією апроксимації знаходимо теплове напруження поверхні нагріву

$$q = 92,648 \cdot \Delta t_{cp} - 1137,7 = 92,648 \cdot 250 - 1137,7 = 21863 \text{ Вт/м}^2.$$

Коефіцієнт теплопередачі в парогенераторі:

$$K = \frac{q}{\Delta T_{cp}} = \frac{21863}{250} = 87,24 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Розраховуємо необхідну площу поверхні теплообміну для нормального протікання процесу із запасом у 10%:

$$F_n = \frac{1,1 \cdot Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1,1 \cdot 3897600}{87,24 \cdot 250} = 196,57 \text{ м}^2.$$

Знайдемо оптимальну довжину труб:

$$L = \frac{F_n}{\pi \cdot d_{cp} \cdot n} = \frac{196,57}{3,14 \cdot 0,023 \cdot 1048} = 2,6 \text{ м,}$$

Приймаємо  $L = 3$  м.

Тоді реальна площа парогенератора:

$$F_p = \pi \cdot d_{cp} \cdot 2n \cdot L = 3,14 \cdot 0,023 \cdot 3 \cdot 1048 = 207 \text{ м}^2.$$

За необхідною площею теплообміну за ГОСТ 14248-79 вибираємо стандартний парогенератор з паровим простором у якого діаметр кожуха складає 1600 мм, кількість трубочок в трубному пучку  $n = 873$ , довжина труб  $L = 3\text{ м}$  із площею теплообміну  $F = 199,32 \text{ м}^2$ . Труби –  $25 \times 2$  мм.

Перевіряємо отримане значення площі теплообміну з площею вибраного теплообмінника:

$$\Delta F = \frac{|F_n - F_p|}{F_p} = \frac{|196,57 - 207|}{207} \cdot 100\% = 3,92\% < [5\%].$$

В ході розрахунків визначили площу теплообміну для нормального протікання процесу теплопередачі та різницю температури між кожухом та трубами. Площа теплообміну складає  $F = 207 \text{ м}^2$ . Відхилення від площі стандартного парогенератора типу ІІІ складає 3,92%, що в межах інженерної точності.

## ДОДАТОК К. ПРИКЛАД КОНСТРУКТИВНОГО РОЗРАХУНКУ

### 2.2 Конструктивний розрахунок

Метою розрахунку є за відомою кількістю трубок і кроком між ними розрахувати діаметр трубної решітки та корпусу апарата.

При розміщенні труб в трубних ґратках необхідно забезпечити максимальну компактність, зручність розміщення трубних ґраток, надійність закріплення трубок. З точки зору задоволення цих вимог найбільш зручною є схема розміщення трубок у вершинах правильних трикутників – шаховий пучок (рисунок 4.3).

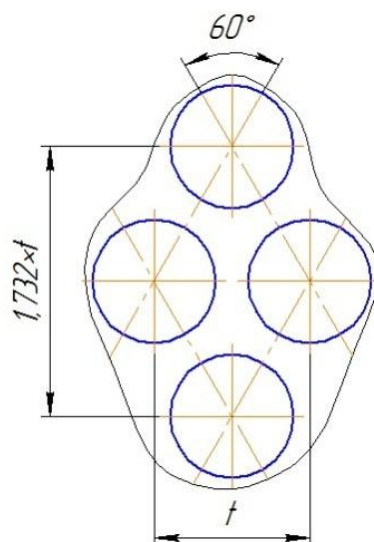


Рисунок 4.3 – Схема розміщення трубок

Вихідні дані:

|   |        |
|---|--------|
| загальна кількість трубок, $n$                      | 1048;  |
| число труб на діагоналі, $b$                        | 23;    |
| продуктивність в міжтрубному просторі, $G_m$ , кг/с | 2,1;   |
| продуктивність в трубному просторі, $G_r$ , кг/с    | 5,233. |

Методика розрахунку наведена в [10 (Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры та задачи по курсу процесів та апаратів химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.)].

Для такого розміщення, яке широко застосовують в промисловій практиці як найбільш компактну схему, зв'язок між загальною кількістю трубок  $n$ , числом труб на діагоналі  $b$  і числом трубок на стороні найбільшого трикутника виражається співвідношенням:

$$n = 3 \cdot a \cdot (a-1) + 1$$

$$1048 = 3 \cdot a^2 - 3 \cdot a + 1$$

$$3 \cdot a^2 - 3 \cdot a - 1048 = 0$$

Розв'яжемо рівняння і отримаємо:

$$a = 12$$

$$b = 2a - 1 = 23.$$

Визначаємо дійсну кількість трубок :

$$n = 3a(a - 1) + 1 = 3 \cdot 12(12 - 1) + 1 = 1048.$$

Отже, необхідно прибрати 12 трубок при компонуванні трубної ґратки, оскільки необхідна кількість 1048.

Міжтрубний крок:  $t = 1,3 \cdot d_{\text{зн}} = 1,3 \cdot 0,025 = 0,032$  м.

Висновки: при розрахунку кількості труб в трубних решітках 12 отворів будуть закриті заглушками. Невикористані отвори будуть рівномірно розміщені по всьому діаметру решітки.

## ДОДАТОК Л. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ШТУЦЕРІВ

### 2.2 Розрахунок штуцерів

Метою розрахунку є визначення основних параметрів і вибір стандартних штуцерів. Розрахункова схема зображена на рисунку 2.4.

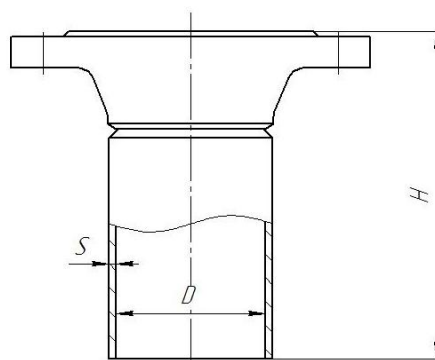


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема штуцера

Вихідні дані:

|  |        |
|--|--------|
| Довжина труб $L$ , м                           | 3;     |
| тиск в середині апарата $P$ , МПа              | 1;     |
| масова витрата пари $G_p$ , кг/с               | 2,1;   |
| масова витрата димових газів $G_{д.г.}$ , кг/с | 5,233. |

Методика розрахунку згідно [10 (Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры та задачи по курсу процесів та апаратів химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.)].

Розрахунок передбачає вибір стандартних штуцерів за тиском і умовним діаметром, що далі визначається.

Розраховуємо діаметр штуцера для димових газів:

$$d_{штд} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_{д.г.}}{\rho_{газ} \cdot \omega_{д.г.}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{5,233}{0,491 \cdot 42,292}} = 0,567 \text{ м} = 567 \text{ мм},$$

де  $\omega_{д.г.}$  – рекомендована швидкість для газів,  $\omega_{д.г.} = 42,292 \text{ м/з}$  [10

(Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры та задачи по курсу процесів та аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.);

$\rho_{\text{газ}}$  – густина димових газів,  $\rho_{\text{д.г.}} = 0,491 \text{ кг/м}^3$  [10].

Обчислюємо діаметр штуцерів для входу води:

$$d_{\text{штв}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_n + 0,1 \cdot G_p}{\rho_p \cdot \omega_p}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,25 + 0,1 \cdot 1,25}{887 \cdot 0,5}} = 0,063 \text{ м} = 63 \text{ мм},$$

де  $\omega_{\text{в}}$  – рекомендована швидкість для води,  $\omega_{\text{в}} = 0,5 \text{ м/з}$  [10];

$\rho_p$  – густина води,  $\rho_p = 887 \text{ кг/м}^3$  [24];

Обчислюємо діаметр штуцерів для виходу водяної пари:

$$d_{\text{штп}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_n}{\rho_n \cdot \omega_n}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,25}{5,16 \cdot 15}} = 0,144 \text{ м} = 144 \text{ мм},$$

де  $\omega_n$  – рекомендована швидкість для пари,  $\omega_n = 15 \text{ м/з}$  [10];

$\rho_n$  – густина пари,  $\rho_n = 5,16 \text{ кг/м}^3$  [24];

Обчислюємо діаметр штуцерів для виходу залишку води:

$$d_{\text{штв}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot G_p}{\rho_p \cdot \omega_p}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot 1,25}{887 \cdot 0,5}} = 0,020 \text{ м} = 20 \text{ мм},$$

де  $\omega_{\text{в}}$  – рекомендована швидкість для води,  $\omega_{\text{в}} = 0,5 \text{ м/з}$  [10];

$\rho_p$  – густина води,  $\rho_p = 887 \text{ кг/м}^3$  [24];

Розміри нормалізованих штуцерів за [1]:

1) 2 штуцери 500 – 12 – 200 – 12X18Н10Т – 10 ОСТ 26-1404 – 76

для входу і виходу димових газів, що має наступні параметри:

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| Номінальний діаметр $D_y$ , м | 0,500; |
| Діаметр отвору $d_t$ , м      | 0,530; |
| Товщина стінки $S_t$ , м      | 0,012; |
| Висота штуцера $H_t$ , м      | 0,206; |

2) штуцер 100 – 6 – 220 – 12X18Н10Т – 10 ОСТ 26-1404 – 76 для

входу води, що має наступні параметри:

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| Номінальний діаметр $D_y$ , м | 0,100; |
|-------------------------------|--------|

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| Діаметр отвору $d_T$ , м | 0,108; |
| Товщина стінки $S_T$ , м | 0,006; |
| Висота штуцера $H_T$ , м | 0,217; |

3) штуцер 150 – 6 – 170 – 12X18Н10Т – 10 ОСТ 26-1404 – 76 для виходу водяної пари, що має наступні параметри:

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| Номінальний діаметр $D_y$ , м | 0,150; |
| Діаметр отвору $d_T$ , м      | 0,159; |
| Товщина стінки $S_T$ , м      | 0,006; |
| Висота штуцера $H_T$ , м      | 0,170; |

4) штуцер 50 – 3 – 155 – 12X18Н10Т – 10 ОСТ 26-1404 – 76 для виходу залишку води, що має наступні параметри:

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| Номінальний діаметр $D_y$ , м | 0,050;  |
| Діаметр отвору $d_T$ , м      | 0,055;  |
| Товщина стінки $S_T$ , м      | 0,0035; |
| Висота штуцера $H_T$ , м      | 0,155.  |



## ДОДАТОК М. ПРИКЛАД ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ПАРОГЕНЕРАТОРА

### 2.4 Розрахунок гідравлічного опору парогенератора

Метою розрахунку є визначення гідравлічного опору трубного простору парогенератора.

Розрахункова схема зображена на рисунку 2.5.

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр трубки  $d_{\text{вн}}$ , м 0,021;

довжина труб  $L$ , м 2,6.

Розрахунок здійснюємо за методикою [23].

Розрахунок гідравлічного опору в трубному просторі:

Сумарні місцеві втрати:

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 2,5 + 1,0 \cdot 2 + 2,0 \cdot 2 = 8,5,$$

де  $\varepsilon_1$  - місцеві втрати при повороті теплоносія на  $90^\circ$ ,  $\varepsilon_1 = 2,5$ ;

$\varepsilon_2$  - місцеві втрати при вході і виході теплоносія,  $\varepsilon_2 = 1,0$ ;

$\varepsilon_3$  - місцеві втрати при повороті через коліно,  $\varepsilon_3 = 2,0$ .

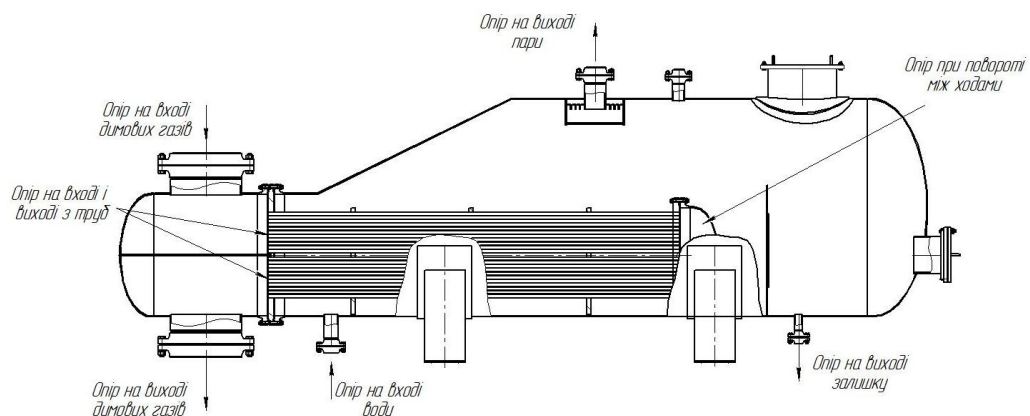


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема гідравлічного опору парогенератора

Швидкість димових газів у трубах:

$$w_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot G_{\text{д.г.}}}{\rho_{\text{д.г.}} \cdot \pi \cdot d_{\text{шт}}^2} = \frac{4 \cdot 5,233}{0,491 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2} = 27,154 \text{ м/с,}$$

де  $\rho_{\text{д.г.}}$  - густина газу,  $\rho_{\text{д.г.}} = 0,491 \text{ кг/м}^3$  [25];

$d_{шт}$  - діаметр штуцера для входу димових газів,  $d_{шт} = 0,5$  м.

Відносна шорсткість труб:

$$e = \frac{\Delta}{d_{вн}} = \frac{0,2}{21} = 0,0095,$$

де  $\Delta$  - висота виступів шорсткостей,  $\Delta = 0,2$  мм [24].

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{тр} = \frac{w_{тр} \cdot d_{вн}}{\nu_p} = \frac{27,154 \cdot 0,021}{68,34 \cdot 10^{-6}} = 8344 ,$$

де  $\nu_p$  - кінематичний коефіцієнт в'язкості,  $\nu_p = 68,34 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/з [25].

При значенні  $2000 < Re < 112000$  коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left[ e + \left( \frac{68}{Re_{тр}} \right)^{0,25} \right] = 0,11 \cdot \left[ 0,015 + \left( \frac{68}{8344} \right)^{0,25} \right] = 0,035.$$

Гідравлічний опір трубного простору:

$$\Delta p_{тр} = \left( \frac{\lambda}{d_{вн}} + \sum \varepsilon \right) \cdot \frac{w_{тр}^2 \cdot \rho}{2} = \left( \frac{0,035}{0,013} + 8,5 \right) \cdot \frac{27,154^2 \cdot 0,491}{2} = 2026 \text{ Па.}$$

Висновок: визначено гідравлічний опір трубного простору парогенератора  $\Delta P_{тр} = 2026$  Па .

## ДОДАТОК Н. ПРИКЛАД РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

Розрахунок проводимо аналітичним шляхом по методиці приведені в[1].

Нехай температура повітря на вході в сушарку  $t_1 = 110^\circ\text{C}$ , а на виході  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ . Коефіцієнт заповнення барабана  $\beta = 0,14\%$ .

Нехай для зимових умов середня температура  $t_0 = -2^\circ\text{C}$ , а відносна вологість  $\varphi_0 = 84\%$ . Припускаючи, що барометричний тиск в даній місцевості  $B = 762$  мм.рт.ст. ( $10360$  кгс/м<sup>2</sup>). Визначаємо аналітично  $b_0$  і  $I_0$ .

Вологовміст зовнішнього повітря:

$$d_0 = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} = 622 \cdot \frac{0,84 \cdot 52,7}{10360 - 0,84 \cdot 52,7} = 2,669 \text{ г/кг} = 0,02669 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$
$$p_n = 52,7 \text{ кгс/м}^2$$

Тепловміст зовнішнього повітря:

$$I_0 = 0,24t_0 + (595 + 0,47t_0) \frac{d_0}{1000} = 0,24 \cdot (-2) + (595 - 0,47 \cdot 2) \frac{2,669}{1000} = 1,106 \text{ ккал/кг} = 4,63 \text{ кДж/кг}$$

Стан повітря на виході із калорифера характеризується параметрами

$$t_1 = 110^\circ\text{C}, d_0 = d_1 = 2,669 \text{ г/кг} = 0,02669 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$I_1 = 0,24t_1 + (595 + 0,47t_1) \frac{d_1}{1000} = 0,24 \cdot 110 + (595 + 0,47 \cdot 110) \frac{2,669}{1000} = 27,99 \text{ ккал/кг} = 117,17 \text{ кДж/кг}$$

Параметри повітря на виході із сушарки: задаємось

$t_2 = 60^\circ\text{C}$  і  $\varphi_2 = 17\%$ . При  $60^\circ\text{C}$   $p_n = 2031$  кгс/м<sup>2</sup>, тоді

$$d_2 = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} = 622 \cdot \frac{0,17 \cdot 2031}{10360 - 0,17 \cdot 2031} = 21,44 \text{ г/кг} = 0,02144 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$I_2 = 0,24t_2 + (595 + 0,47t_2) \frac{d_2}{1000} = 0,24 \cdot 60 + (595 + 0,47 \cdot 60) \frac{21,44}{1000} = 27,76 \text{ ккал / кг} =$$

$$= 116,2 \text{ кДж / кг}$$

Нехай для літніх умов  $t_0 = 21,4^\circ \text{C}$ ,  $\varphi_0 = 66\%$ .

Вологовміст зовнішнього повітря:

$$d_0 = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} = 622 \cdot \frac{0,66 \cdot 28}{10360 - 0,66 \cdot 28} = 1,111 \text{ г / кг} = 0,0111 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$p_n = 28 \text{ кгс / м}^2$$

Тепловміст зовнішнього повітря:

$$I_0 = 0,24t_0 + (595 + 0,47t_0) \frac{d_0}{1000} = 0,24 \cdot 21,4 + (595 + 0,47 \cdot 21,4) \frac{1,111}{1000} = 5,64 \text{ ккал / кг} =$$

$$= 23,61 \text{ кДж / кг}$$

Стан повітря на виході із калорифера характеризується параметрами:

$$t_1 = 110^\circ \text{C}, \quad d_0 = d_1 = 1,111 \text{ г / кг} = 0,0111 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$I_1 = 0,24t_1 + (595 + 0,47t_1) \frac{d_1}{1000} = 0,24 \cdot 110 + (595 + 0,47 \cdot 110) \frac{1,111}{1000} = 27,12 \text{ ккал / кг} =$$

$$= 113,52 \text{ кДж / кг}$$

$p_n = 81 \text{ кгс / м}^2$ , тоді

$$d_2 = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} = 622 \cdot \frac{0,66 \cdot 81}{10360 - 0,66 \cdot 81} = 3,226 \text{ г / кг} =$$

$$= 0,03226 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$I_2 = 0,24t_2 + (595 + 0,47t_2) \frac{d_2}{1000} = 0,24 \cdot 60 + (595 + 0,47 \cdot 60) \frac{3,226}{1000} = 27,76 \text{ ккал / кг} =$$

$$= 116,2 \text{ кДж / кг}$$

### Матеріальний баланс сушарки

Визначення кількості видаленої вологи за одиницю часу.

$$1 \text{ кг / с} = 3600 \text{ кг / год}$$

4.1.1 Кількість вологого матеріалу, який поступає на сушку:

$$G_1 = G_{\text{сyx}} \frac{100}{100 - \omega_1} = 3600 \cdot \frac{100}{100 - 4} = 3750 \text{ кг / год}$$

4.1.2 Кількість висушеного матеріалу:

$$G_2 = G_{\text{сyx}} \frac{100}{100 - \omega_2} = 3600 \cdot \frac{100}{100 - 0,3} = 3610,83 \text{ кг / год}$$

4.1.3 Кількість видаленої води:

$$W = G_1 - G_2 = 3750 - 3610,83 = 139,17 \text{ кг / год}$$

Кількість води, яка видалена в сушарці:

$$W = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} = 3750 \cdot \frac{4 - 0,3}{100 - 0,3} = 139,168 \text{ кг / год}$$

### Попередній вибір основних габаритних розмірів барабана

Об'єм барабана:

Задаємо  $A_v = 6 \text{ кг / (м}^3 \cdot \text{год)}$ ,  $D_6 = 1600 \text{ мм}$

$$V_6 = \frac{W}{A_v} = \frac{139,17}{6} = 23,2 \text{ м}^3$$

Довжина барабана:

$$L_6 = \frac{V_6}{0,785 \cdot D_6^2} = \frac{23,2}{0,785 \cdot 1,6^2} = 11,54 \text{ м}$$

Приймаємо  $L_6 = 11 \text{ м}$ ,  $\frac{L_6}{D_6} = \frac{11}{1,6} = 6,875$ ; Це допустимо, так як

$3,5 < 6,875 < 7,0$ .

### Розрахунок сушарки

- для літніх умов

Питомі витрати сухого повітря на 1 кг води:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1} = \frac{1000}{0,0323 - 0,011} = 47,2 \text{ кг}$$

Годинні витрати повітря:

$$L = l \cdot W = 42,2 \cdot 139,17 = 6568,8 \text{ кг} / \text{год}$$

Об'єм повітря на вході в сушарку:

$$V_1 = v_1 L = 1,11 \cdot 6568,8 = 7291,37 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де  $v_1 = 1,11 \text{ м}^3 / \text{год}$  - питомий об'єм вологого повітря при  $t_1 = 110^\circ\text{C}$  .

Об'єм повітря на виході із сушарки:

$$V_2 = v_2 L = 0,99 \cdot 6568,8 = 6503 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де  $v_2 = 0,99 \text{ м}^3 / \text{год}$  - питомий об'єм вологого повітря при  $t_2 = 60^\circ\text{C}$  .

Витрати тепла на підігрів повітря в калорифері:

$$q_k = l(I_1 - I_0) = 47,2 \cdot (27,12 - 5,64) = 1013,86 \text{ ккал} = 4244,02 \text{ кДж}$$

Годинні витрати тепла:

$$Q_r = q_k W = 1013,86 \cdot 139,17 = 141098,34 \text{ ккал} / \text{год} = 590637,7 \text{ кДж} / \text{год}$$

- для зимових умов

Питомі витрати сухого повітря на 1 кг вологи:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1} = \frac{1000}{21,44 - 2,669} = 53,3 \text{ кг}$$

Годинні витрати повітря:

$$L = l \cdot W = 53,3 \cdot 139,17 = 7417,76 \text{ кг} / \text{год}$$

Об'єм повітря на вході в сушарку:

$$V_1 = v_1 L = 1,11 \cdot 7417,76 = 8233,7 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де  $v_1 = 1,11 \text{ м}^3 / \text{год}$  - питомий об'єм вологого повітря при  $t_1 = 110^\circ\text{C}$  .

Об'єм повітря на виході із сушарки:

$$V_2 = v_2 L = 0,99 \cdot 7417,76 = 7343 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де  $v_2 = 0,99 \text{ м}^3 / \text{год}$  - питомий об'єм вологого повітря при  $t_2 = 60^\circ\text{C}$  .

Витрати тепла на підігрів повітря в калорифері:

$$q_k = l(I_1 - I_0) = 53,3 \cdot (27,98 - 1,106) = 1432,38 \text{ ккал} = 5995,94 \text{ кДж}$$

Годинні витрати тепла:

$$Q_r = q_k W = 1432,38 \cdot 139,17 = 199344,91 \text{ ккал} / \text{год} = 834457,8 \text{ кДж} / \text{год}$$

### Втрати теплоти в навколишнє середовище

- для літніх умов

Середня швидкість повітря в сушарці:

$$\omega_b^{\text{cp}} = \frac{0,5 \cdot (V_1 + V_2)}{F_6 \cdot (1 - \beta)} = \frac{0,5 \cdot (7291 + 6503)}{0,785 \cdot 1,6^2 (1 - 0,15 \cdot 3600)} = 1,098 \text{ м} / \text{с}$$

Середня температура

$$t_f = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{110 + 60}{2} = 85^\circ \text{C}$$

де  $\nu = 21,595 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$  - кінематична в'язкість

$\lambda = 2,655 \cdot 10^{-2} \text{ ккал} / (\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,088 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$  - коефіцієнт теплопровідності

Для визначення режиму руху повітря знаходимо:

$$\text{Re} = \frac{\omega_b D_6}{\nu} = \frac{1,098 \cdot 1,6}{21,595 \cdot 10^{-6}} = 8,14 \cdot 10^4$$

Так як  $\text{Re} > 10^4$  то коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінки за рахунок вимушеної конвекції:

$$\text{Nu}_f = 0,018 \cdot (\text{Re})^{0,8} \cdot \varepsilon = 0,018 \cdot (8,14 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 1,16 = 177,1$$

$$\varepsilon = 1,16$$

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_f \cdot \lambda}{D_6} = \frac{177,1 \cdot 2,655 \cdot 10^{-2}}{1,6} = 2,94 \text{ ккал} / (\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,42 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

- для зимових умов

Середня швидкість повітря в сушарці:

$$\omega_B^{\text{cp}} = \frac{0,5 \cdot (V1 + V2)}{F_6 \cdot (1 - \beta)} = \frac{0,5 \cdot (8234 + 7344)}{0,785 \cdot 1,6^2 (1 - 0,15 \cdot 3600)} = 1,26 \text{ м/с}$$

Середня температура

$$t_f = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{110 + 60}{2} = 85^\circ \text{C}$$

де  $\nu = 21,595 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  - кінематична в'язкість

$\lambda = 2,655 \cdot 10^{-2} \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,088 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  - коефіцієнт теплопровідності

Для визначення режиму руху повітря знаходимо:

$$\text{Re} = \frac{\omega_6 D_6}{\nu} = \frac{1,26 \cdot 1,6}{21,595 \cdot 10^{-6}} = 9,34 \cdot 10^4$$

Так як  $\text{Re} > 10^4$  то коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря за рахунок вимушеної конвекції може бути розрахований за рівнянням:

$$\text{Nu}_f = 0,018 \cdot (\text{Re})^{0,8} \cdot \varepsilon = 0,018 \cdot (9,34 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 1,16 = 197,7$$

$$\varepsilon = 1,16$$

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_f \cdot \lambda}{D_6} = \frac{197,7 \cdot 2,655 \cdot 10^{-2}}{1,6} = 3,28 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,815 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі за рахунок звичайної конвекції:

$$\text{Nu}_f = 0,47 \cdot (\text{Cr})^{0,25} = 0,47 \cdot (2 \cdot 10^{10})^{0,25} = 176,75$$

Критерій Грасгофа:

$$\text{Cr} = \frac{g \cdot D_6^3 \cdot \Delta t}{\nu^2 \cdot T} = \frac{9,81 \cdot 1,6^3 \cdot 85}{(21,595 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 358} = 2 \cdot 10^{10}$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_1'' = \frac{176,75 \cdot 2,655 \cdot 10^{-2}}{1,6} = 2,93 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,408 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінки:



$$\alpha_1 = 1,25 \cdot (\alpha_1'' + \alpha_1) = 1,25 \cdot (2,93 + 2,94) = 7,34 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = \\ = 8,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Припускаємо, що температура в цеху -  $t_u = 15^\circ \text{C}$ , а температура ізолюваної зовнішньої стінки барабана -  $t_{w^2} = 30^\circ \text{C}$

Середня температура пограничного шару повітря біля стінки:

$$t_{n.шар.} = \frac{30 + 15}{2} = 22^\circ \text{C}$$

при цих умовах

$$\nu = 15,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$$

$$\lambda = 2,25 \cdot 10^{-2} \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 2,617 \cdot 10^{-2} /(\text{м} \cdot \text{К})$$

Критерій Грасгофа:

$$Cr = \frac{9,81 \cdot 1,7^3 \cdot 15}{(1,51 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 288} = 107 \cdot 10^8$$

Приймаємо із урахуванням товщини стінки і шару ізоляції:

$$D_n = 1,7 \text{ м}$$

Тоді

$$(Cr \cdot Pr) = (107 \cdot 10^8 \cdot 0,7) = 75 \cdot 10^8 > 2 \cdot 10^6$$

Знаходимо критерій Нусельта:

$$Nu_T = 0,135 \cdot \sqrt[3]{Cr \cdot Pr} = 0,135 \cdot \sqrt[3]{75 \cdot 10^8} = 263$$

Тоді

$$\alpha_2' = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_n} = \frac{263 \cdot 2,25 \cdot 10^{-2}}{1,7} = 3,48 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 4,047 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Променевий коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2'' = \frac{\varepsilon_n \cdot C_0 \left[ \left( \frac{T_{cm}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{cp}}{100} \right)^4 \right]}{T_{cm} - T_{cp}} = \frac{0,95 \cdot 4,96 \left[ \left( \frac{273+30}{100} \right)^4 - \left( \frac{273+15}{100} \right)^4 \right]}{30-15} =$$

$$= 4,76 \text{ ккал} / (\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 5,536 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Тут  $\varepsilon_n = 0,95$  - ступінь чорноти для поверхні;

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки барабана до повітря:

$$\alpha_2 = \alpha_2' + \alpha_2'' = 3,48 + 4,76 = 8,24 \text{ ккал} / (\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 9,583 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Питомий тепловий потік:

$$q_l = \pi \cdot D_6 \cdot \alpha_1 \cdot (t_f - t_{w_1}) = 3,14 \cdot 1,6 \cdot 7,36 \cdot (85 - 60) = 924,42 \text{ ккал} / (\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) =$$

$$= 1075,1 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$$

$$t_{w_1} = 60^\circ \text{C}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{(\delta_1 + \delta_3)}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{7,36} + \frac{1}{8,24} + \frac{(0,01 + 0,001)}{39} + \frac{0,03}{0,095}} = 1,74 \text{ ккал} / (\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) =$$

$$= 2,024 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Площа поверхні теплообміну:

$$F = \pi \cdot D_n \cdot L_6 + 2 \cdot 0,785 \cdot D_n^2 = 3,14 \cdot 1,6 \cdot 11 + 2 \cdot 0,785 \cdot 1,6^2 = 59,28 \text{ м}^2$$

Втрати тепла в навколишнє середовище на 1 кг вологи:

$$q_n = \frac{K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}}{W} = \frac{1,74 \cdot 59,28 \cdot 85}{139,17} = 63 \text{ ккал} = 263,72 \text{ кДж}$$

### Тепловий баланс сушарки

- для літніх умов

Прихід тепла в ккал на 1 кг вологи:

$$1) \text{ з повітрям } q = l \cdot I_0 = 47,2 \cdot 5,64 = 266,21 \text{ ккал} = 1114,36 \text{ кДж}$$

2) з вологістю матеріала  $q = 1 \cdot \theta_1 = 30 \text{ ккал} = 125,6 \text{ кДж}$

3) з матеріалом

$$q = \frac{G_2}{W} \cdot c_m'' \cdot \theta_1 = \frac{3610,83}{139,17} \cdot 0,23 \cdot 30 = 179 \text{ ккал} = 749,3 \text{ кДж}$$

Де теплоємність на виході із сушарки визначена по такій формулі:

$$c_m'' = 0,23 \cdot \frac{100 - 0,1}{100} + \frac{0,1}{100} = 0,23 \text{ ккал / кг} \cdot ^\circ \text{C} = 0,963 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{K)}$$

4) від створювача тепла  $q_k = 1013,86 \text{ ккал} = 4244,02 \text{ кДж}$

Сума:  $1489,1 \text{ ккал / кг} = 6234,21 \text{ кДж / кг}$

Витрати теплоти в ккал на 1 кг вологи:

1) з повітрям  $q = l \cdot l_2 = 47,2 \cdot 27,76 = 1310,27 \text{ ккал} = 5484,8 \text{ кДж}$

2) з матеріалом  $q_m = \frac{3610,83}{139,17} \cdot 0,23 \cdot 30 = 179 \text{ ккал} = 749,3 \text{ кДж}$

1) Витрати в навколишнє середовище  $q_{\text{вт}} = 65,89 \text{ ккал} = 275,82 \text{ кДж}$

Сума:  $1555,2 \text{ ккал / кг} = 6510,067 \text{ кДж / кг}$

• ДЛЯ ЗИМОВИХ УМОВ

Прихід тепла в ккал на 1 кг вологи:

1) з повітрям  $q = l \cdot I_0 = 53,3 \cdot 1,106 = 58,95 \text{ ккал} = 246,76 \text{ кДж}$

2) з вологістю матеріала  $q = 1 \cdot \theta_1 = 20 \text{ ккал} = 83,72 \text{ кДж}$

3) з матеріалом

$$q = \frac{G_2}{W} \cdot c_m'' \cdot \theta_1 = \frac{3610,83}{139,17} \cdot 0,23 \cdot 20 = 119,35 \text{ ккал} = 499,6 \text{ кДж}$$

Де теплоємність на виході із сушарки визначена по такій формулі:

$$c_m'' = 0,23 \cdot \frac{100 - 0,1}{100} + \frac{0,1}{100} = 0,23 \text{ ккал / кг} \cdot ^\circ \text{C} = 0,963 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{K)}$$

2) від створювача тепла  $q_k = 1432,38 \text{ ккал} = 5995,94 \text{ кДж}$

Сума:  $1630,91 \text{ ккал} / \text{кг} = 6826,99 \text{ кДж} / \text{кг}$

Витрати теплоти в ккал на 1 кг вологи:

1) з повітрям  $q = 53,3 \cdot 27,76 = 1479,61 \text{ ккал} = 6193,65 \text{ кДж}$

2) з матеріалом  $q_m = \frac{3610,83}{139,17} \cdot 0,23 \cdot 20 = 119,35 \text{ ккал} = 499,6 \text{ кДж}$

3) Витрати в навколишнє середовище  $q_{\text{вт}} = 65,89 \text{ ккал} = 275,82 \text{ кДж}$

Сума:  $1664,85 \text{ ккал} / \text{кг} = 6969,06 \text{ кДж} / \text{кг}$

### Визначення тривалості сушіння

Час сушки нітрату амонію можна розрахувати по формулі:

$$\tau = 120 \cdot \frac{\beta \cdot \rho \cdot (\omega_1 - \omega_2)}{A_v \cdot [100 - (\omega_1 + \omega_2)]} = 120 \cdot \frac{0,14 \cdot 800 \cdot (4 - 0,3)}{7 \cdot [100 - (4 + 0,3)]} = 36,3 \text{ хв}$$

де  $\rho = 800 \text{ кг} / \text{м}^3$  - насипна маса матеріала

Перевіряємо розрахунок часу сушіння:

$$V_0 = 0,785 \cdot D_0^2 \cdot L_0 = 0,785 \cdot 1,6^2 \cdot 11,54 = 23,2 \text{ м}^3$$

Хвилинна об'ємна подача матеріала:

$$V = \frac{G_1}{60 \cdot \rho} = \frac{3750}{60 \cdot 800} = 0,07813 \text{ м}^3 / \text{хв}$$

Час сушіння:

$$\tau = \frac{V_0 \cdot \beta}{V} = \frac{23,2 \cdot 0,14}{0,07813} = 41,57 \text{ хв}$$

## ДОДАТОК О. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАСИЧЕНОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ

| Температура | Абсолютний тиск | Густина                    | Питома теплота пароутворення |
|-------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|
| t, К, (°С)  | p, МПа          | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | r, кДж/кг                    |
| 373, (100)  | 0,1013          | 0,598                      | 2256,8                       |
| 383, (110)  | 0,1430          | 0,826                      | 2230,0                       |
| 393, (120)  | 0,1980          | 1,121                      | 2202,8                       |
| 403, (130)  | 0,2700          | 1,496                      | 2174,3                       |
| 413, (140)  | 0,3610          | 1,966                      | 2145,0                       |
| 423, (150)  | 0,4760          | 2,547                      | 2114,4                       |

## ДОДАТОК П. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИМОВИХ ГАЗІВ

$P_B = 760 \text{ мм рт. ст.} \approx 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}; \overline{P_{\text{CO}_2}} = 0,13; \overline{P_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,11; \overline{P_{\text{N}_2}} = 0,76$

| $t, \text{ }^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{ кг/м}^3$ | $c_p, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda \cdot 10^3, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$ | $\mu \cdot 10^6, \text{ Па}\cdot\text{с}$ | $\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$ | Pr   |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|--|------|
| 0                           | 1,295                  | 1,042                                | 2,28  | 16,9                                 | 15,8                                      | 12,20                                  | 0,72 |
| 100                         | 0,950                  | 1,068                                | 3,13  | 30,8                                 | 20,4                                      | 21,54                                  | 0,69 |
| 200                         | 0,748                  | 1,097                                | 4,01  | 48,9                                 | 24,5                                      | 32,80                                  | 0,67 |
| 300                         | 0,617                  | 1,122                                | 4,84  | 69,9                                 | 28,2                                      | 45,81                                  | 0,65 |
| 400                         | 0,525                  | 1,151                                | 5,70  | 94,3                                 | 31,7                                      | 60,38                                  | 0,64 |
| 500                         | 0,457                  | 1,185                                | 6,56  | 121,1                                | 34,8                                      | 76,30                                  | 0,63 |
| 600                         | 0,405                  | 1,214                                | 7,42  | 150,9                                | 37,9                                      | 93,61                                  | 0,62 |
| 700                         | 0,363                  | 1,239                                | 8,27  | 183,8                                | 40,7                                      | 112,1                                  | 0,61 |
| 800                         | 0,330                  | 1,264                                | 9,15  | 219,7                                | 43,4                                      | 131,8                                  | 0,60 |
| 900                         | 0,301                  | 1,290                                | 10,0  | 258,0                                | 45,9                                      | 152,5                                  | 0,59 |
| 1000                        | 0,275                  | 1,306                                | 10,90   | 303,4                                | 48,4                                      | 174,3                                  | 0,58 |
| 1100                        | 0,257                  | 1,323                                | 11,75   | 345,5                                | 50,7                                      | 197,1                                  | 0,57 |
| 1200                        | 0,240                  | 1,340                                | 12,62   | 392,4                                | 53,0                                      | 221,0                                  | 0,56 |

## ДОДАТОК Р. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ

| Темпе-<br>ратура | Густина                    | Питома масова<br>теплоємність | Коефіцієнт<br>теплопровідності | Кінематична<br>в'язкість             | Коефіцієнт<br>об'ємного<br>розширення |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| t, К, (°С)       | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | c, Дж/(кг·К)                  | $\lambda$ , Вт/(м·К)           | $\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с | $\beta \cdot 10^3$ , К <sup>-1</sup>  |
| 273, (0)         | 999,6                      | 4212                          | 0,551                          | 1,789                                | -0,06                                 |
| 283, (10)        | 999,7                      | 4191                          | 0,575                          | 1,306                                | 0,08                                  |
| 293, (20)        | 998,2                      | 4183                          | 0,599                          | 1,006                                | 0,21                                  |
| 303, (30)        | 995,7                      | 4174                          | 0,618                          | 0,805                                | 0,30                                  |
| 313, (40)        | 992,2                      | 4174                          | 0,634                          | 0,659                                | 0,39                                  |
| 323, (50)        | 988,1                      | 4174                          | 0,648                          | 0,556                                | 0,43                                  |
| 333, (60)        | 983,2                      | 4179                          | 0,659                          | 0,478                                | 0,53                                  |
| 343, (70)        | 977,8                      | 4187                          | 0,668                          | 0,415                                | 0,58                                  |
| 353, (80)        | 971,8                      | 4195                          | 0,675                          | 0,365                                | 0,63                                  |
| 363, (90)        | 965,3                      | 4208                          | 0,680                          | 0,326                                | 0,69                                  |
| 373, (100)       | 958,4                      | 4220                          | 0,683                          | 0,285                                | 0,75                                  |

## ДОДАТОК С. ПОКАЗНИКИ ДЕЯКИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛОБІМНІКІВ

| Тип теплообмінника                                | Ефективність                                       |   |  |  | Технологічність  |  |   | Працездатність          |                               |                                   | Компактність і металоемкість                        |  |  |
|---|--|---|--|--|--|--|---|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|--|--|
|   | здійснення декількох ходів по межтрубному просторі | Можливість здійснення чистого протікання току | Можливість одержання більших швидкостей поза трубами | Можливість одержання більших швидкостей у трубах | Можливість виготовлення із чавуну та легких матеріалів | Зручність і можливість виготовлення зі сталі й пластичних матеріалів | Доступність для чистення міжтрубного простору | Доступність для ремонту | Доступність для чистення труб | Вага на 1 м <sup>2</sup> поверхні | Поверхня на об'єму в м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> | Витрата матеріалу на одиницю тепла, що передається |  |
| Зрошувальні                                       | ■  | ▼   | □  | □  | ■  | ■  | □   | ■                       | ■                             | 3-6                               | 45-60   | 0,5-2  |  |
| Труба в трубі (не рознімні)                       | ■  | ■   | ■  | □  | ■  | □  | □   | □                       | □                             | 4-15                              | 175   | 1,5-3  |  |
| Труба в трубі (рознімні)                          | ■  | ■   | ■  | □  | ■  | ■  | ■   | ■                       | ■                             | 4-10                              | 200   | 2-4,5  |  |
| Кожухотрубні жосткі та з лінзовими компенсаторами | ■  | ▼   | ▼  | ▼  | ■  | □  | ■   | □                       | ▼                             | 18-40                             | 35-80   | 1  |  |
| Кожухотрубні з пучком, що виймаються              | ■  | ▼   | ▼  | ▼  | ■  | ▼  | ■   | ■                       | ▼                             | 18-40                             | 30-50   | 1  |  |
| Спіральні   | ■  | ■   | ■  | □  | ■  | ▼  | □   | □                       | ▼                             | 34-72                             |   | 0,2-0,9  |  |

1. Позначення примітки:

2. У графах "компактність і металоемкість" наведені дані В.М. Рамма [2], (витрати металу на кожухотрубні теплообмінники приймаються рівними одиниці).

■ - повністю задовольняють умовам, ▼ - частково задовольняють умовам, □ - не відповідають конструктивним умовам



## ДОДАТОК Т. ТЕПЛООБМІННИКИ ТИПУ "ТРУБА В ТРУБІ"

| Основні параметри                                 | Апарат                                     |  |                       |                              |                         |
|---|--|--|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
|   | Розбірні одно- і дво-поточні малогабаритні | Нероз-бірні одно-поточні малогабаритні | Розбірні однопоточні  | Нерозбірні одно-поточні      | Розбірні багато-поточні |
| Зовнішній діаметр теплообмінних труб, мм          | 25; 38; 48; 57                             |  | 76; 89; 108; 133; 169 |                              | 38; 48; 57              |
| Зовнішній діаметр кожухових труб, мм              | 57; 76; 89; 108                            |  | 108; 133; 159; 219    |                              | 89; 108                 |
| Довжина кожухових труб, мм                        | 1,5; 3,0; 6,0; 4,5                         |  | 4,5; 6,0; 9,0         | 6,0; 9,0; 12,0               | 3,0; 6,0; 9,0           |
| Поверхня теплообміну, м <sup>2</sup>              | 0,5 - 5,0                                  | 0,1 - 1,0                              | 5,0-18,0              | 1,5- 6,0                     | 5,0-93,0                |
| Прохідні розрізи, м <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup> |  |  |                       |                              |                         |
| Всередині теплообмінних труб                      | 2,5-35,0                                   | 2,5-17,5                               | 5,0- 170              | 45 – 170                     | 35-400                  |
| Зовні теплообмінних труб                          | 6,0- 100                                   | 6,0- 60                                | 50-195                | 50 - 195                     | 150- 1000               |
| Умовний тиск, МПа                                 |  |  |                       |                              |                         |
| Всередині теплообмінних труб                      | 6,4; 10,0; 16,0<br>1,6; 4,0; 6,4           | 6,4; 10,0<br>16,0                      | 1,6; 4,0              | 1,6; 4,0; 6,4;<br>10,0; 16,0 | 1,6; 4,0                |
| Зовні теплообмінних труб                          |  | 4,0; 6,4;<br>10,0; 16,4                | 1,6; 4,0              | 1,6; 4,0; 6,4;<br>10,0       | 1,6; 4,0                |

**ДОДАТОК У. ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ АПАРАТІВ  
ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ АПАРАТІВ ТИПУ АВГ 35**

(число трубних секцій в апараті  $n_c = 3$  )

| Число рядів труб в секції | Число ходів по трубах<br>$n_x$ | Коефіцієнт «ореб – рення» $\phi$ | Число труб |           | Повна зовнішня «оребрена» поверхність апарата $F, \text{ м}^2$ |      | Сумарна площа найбільш вузького міжтрубного перетину $S, \text{ м}^2$ |       |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------|-----------|--|------|---|-------|
|                           |                                |                                  | в секції   | в апараті | Довжина труб (l, м)  |      |   |       |
|                           |                                |                                  |            |           | 4  | 8    | 4   | 8     |
| 4                         | 1, 2, 4                        | 9                                | 94         | 282       | 875  | 1770 | 5,35  | 11,02 |
|                           |                                | 14,6                             | 82         | 246       | 1250   | 2500 | 5,55  | 11,40 |
| 6                         | 1, 2, 3, 6                     | 9                                | 141        | 423       | 1320   | 2640 | 5,35  | 11,02 |
|                           |                                | 14,6                             | 123        | 369       | 1870   | 3800 | 5,3   | 11,40 |
| 8                         | 1, 2, 4, 8                     | 9                                | 188        | 564       | 1740   | 3500 | 5,3   | 11,02 |
|                           |                                | 14,6                             | 164        | 492       | 2500   | 5100 | 5,3   | 11,40 |

**ДОДАТОК Ф. ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ АПАРАТІВ  
ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ТИПУ АВЗ**

( число труб                      , довжина труб l =6 м)

| Число рядів труб | Коефіцієнт зребрення труб | Загальне число труб | Поверхня теплообміну при різному внутрішньому діаметрі $d_{вн}$ , м <sup>2</sup> |                  |                  |                      |                  |                  |
|------------------|---------------------------|---------------------|--|------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|
|                  |                           |                     | повна  | Внутрішня        |                  | повна                | Внутрішня        |                  |
|                  |                           |                     |  | $d_{вн} = 21$ мм | $d_{вн} = 22$ мм |                      | $d_{вн} = 21$ мм | $d_{вн} = 22$ мм |
|                  |                           |                     | Довжина труб 4000 мм   |                  |                  | Довжина труб 8000 мм |                  |                  |
| 4                | 9                         | 94/282              | 32/97  | 25/75            | 26/78            | 66/197               | 50/150           | 52/156           |
|                  |                           |                     | (290/875)  |                  |                  | (590/1770)           |                  |                  |
|                  | 14,6                      | 82/246              | 28/85  | 22/66            | 23/70            | 57/170               | 43/130           | 45/135           |
|                  |                           |                     | (415/1250)   |                  |                  | (830/2500)           |                  |                  |
| 6                | 9                         | 141/423             | 49/147   | 37/111           | 39/117           | 98/285               | 74/222           | 78/234           |
|                  |                           |                     | (440/1320)   |                  |                  | (880/2640)           |                  |                  |
|                  | 14.6                      | 123/369             | 43/129   | 32/96            | 34/102           | 85/285               | 65/195           | 67/202           |
|                  |                           |                     | (620/1870)   |                  |                  | (1260/3800)          |                  |                  |

**ДОДАТОК X. ОРІЄНТОВНІ ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ  
ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ Й ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

| Вид охолодження  | $K$   | $q$ (Вт/м <sup>2</sup> ) при $t_k - t_n$ (K) |         |          |           |
|--|-------|--|---------|----------|-----------|
|  |       | 8-15   | 15-20   | 20-40    | 40-75     |
| Охолодження рідин  | 17-37 | До 470                                       | 470-700 | 700-1000 | 1000-1750 |
| Охолодження газів  | 9-30  | 290 - 350                                    | 350-480 | 480-700  | --        |
| Конденсація перегрітої пари хладагентів  | 14-30 | 130-230                                      | 230-350 | 350-640  | --        |
| Конденсація насиченої пари   | 32-42 | --   | До 700  | 700-870  | 870-2100  |
| Охолодження парогазової суміші з конденсацією одного або декількох компонентів | 21-32 | --   | 400-580 | 580-750  | 750-1000  |

## ДОДАТОК Ц. ПАРАМЕТРИ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

| Параметр теплообмінника   | Тип пластини |         |          |
|---|--------------|---------|----------|
|   | Пр-0,3       | Пр-0,5Е | Пр1-0,5М |
| Розміри пластин, мм   |              |         |          |
| Довжина L, мм   | 1370,00      | 1380,00 | 1380,0   |
| Ширина В, мм  | 300,00       | 500,00  | 500,0    |
| Площа поверхні теплообміну однієї пластини $F_1$ , м <sup>2</sup> | 0,30         | 0,50    | 0,5      |
| Еквівалентний діаметр каналу $d_e \cdot 10^3$ , м                 | 8,00         | 8,00    | 9,6      |
| Площа перерізу каналу $f_k \cdot 10^3$ , м <sup>2</sup>           | 1,10         | 1,80    | 2,4      |
| Приведена довжина каналу $l_k$ , м                                | 1,12         | 1,05    | 1,0      |
| Товщина пластини, мм  | 1,00         | 1,00    | 1,0      |
| Діаметр штуцера, що приєднується $d_w$ , мм                       | 50,00        | 150,00  | 150,0    |

**ДОДАТОК Ч. ПОВЕРХНЯ ТЕПЛООБМІНУ (ПО  $D_{30В}$ ) ВИПАРНИКА ИН  
І ИК І КОНДЕНСАТОРІВ ИК ТА КК З ТРУБАМИ 25×2 ММ ЗА**

| Діаметр<br>кожуха<br>(внутрішній),<br>мм | Число труб |                | Довжина труб   |     |     |     | Типи апаратів       |
|--|------------|----------------|--|-----|-----|-----|---------------------|
|  | загальне   | на один<br>хід | 2  | 3   | 4   | 5   |                     |
|  |            |                | Площа поверхні теплообміну м <sup>2</sup><br>(по $d_{30В}$ ) |     |     |     |                     |
| <b>Одноходові</b>                        |            |                |  |     |     |     |                     |
| 600                                      | 261        | 261            | 40   | 61  | 81  | -   | Випарники<br>ИН, ИК |
| 800                                      | 473        | 473            | 74   | 112 | 150 | -   |                     |
| 1000                                     | 783        | 783            | 121  | 182 | 244 | -   |                     |
| 1200                                     | 1125       | 1125           | -  | 260 | 348 | -   |                     |
| 1400                                     | 1549       | 1549           | -  | 358 | 480 | -   |                     |
| <b>Двоходові</b>                         |            |                |  |     |     |     |                     |
| 600                                      | 244        | 122            | -  | 57  | 76  | 114 |                     |

**ГОСТ 15119-79 І ГОСТ 15121-79**

|      |      |     |   |     |     |     |                        |
|------|------|-----|---|-----|-----|-----|------------------------|
| 800  | 450  | 225 | - | 106 | 142 | 212 | Конденсатори<br>ИК, КК |
| 1000 | 754  | 377 | - | 175 | 234 | 353 |                        |
| 1200 | 1090 | 545 | - | -   | 338 | 509 |                        |
| 1400 | 1508 | 754 | - | -   | -   | 706 |                        |

Чотирьохходові

|      |      |       |   |     |     |     |                        |
|------|------|-------|---|-----|-----|-----|------------------------|
| 600  | 210  | 52,5  | - | 49  | 65  | 98  | Конденсатори<br>ИК, КК |
| 800  | 408  | 102   | - | 96  | 128 | 193 |                        |
| 1000 | 702  | 175,5 | - | 163 | 218 | 329 |                        |
| 1200 | 1028 | 257   | - | -   | 318 | 479 |                        |
| 1400 | 1434 | 358,5 | - | -   | -   | 672 |                        |

Шестиходові

|      |      |       |   |     |     |     |                        |
|------|------|-------|---|-----|-----|-----|------------------------|
| 600  | 198  | 33    | - | 46  | 62  | 93  | Конденсатори<br>ИК, КК |
| 800  | 392  | 65,3  | - | 93  | 123 | 185 |                        |
| 1000 | 678  | 113   | - | 160 | 213 | 319 |                        |
| 1200 | 1000 | 166,6 | - | -   | 314 | 471 |                        |
| 1400 | 1400 | 233,3 | - | -   | -   | 659 |                        |

### ДОДАТОК Ш. ПАРАМЕТРИ ТЕПЛООБМІННИКІВ

Кількість ходів по трубах  $K$ , загальне число труб  $n$ , площа прохідних перетинів одного ходу по трубах  $S_T$  і перерізі перегородки  $S_{С.Ж.}$  відстані по діагоналі до хорди сегменту  $h_1$  та допустима різниця температур кожуха ( $t_K$ ) і труб ( $t_T$ ) при  $P_y \leq 1,0$  МПа і  $t_T \leq 250$  °З для труб 25×2 мм з кроком 32 мм для Сталі 10 і 20.

| Діаметр кожуха (внутрішній), мм | $K$ | $n$         | $S_T$ | $S_{С.Ж.}$ | $h_1$ | $(t_K - t)_{\text{макс}}$ , К (для ТН, ХН, КН, ИН) |
|---------------------------------|-----|-------------|-------|------------|-------|--|
| 150                             | 1   | 13          | 0,4   | 0,5        | 25    | Для ХН 20<br>Для ТН 30                             |
| 259                             | 1   | 37          | 1,4   | 1,3        | 40    |  |
| 325                             | 1   | 61          | 2,1   | 1,4        | 55    |  |
|                                 | 2   | 52          | 0,9   |            |       |  |
| 400                             | 1   | 111         | 3,8   | 2,2        | 68    | 30   |
|                                 | 2   | 100         | 1,7   |            |       |  |
| 600                             | 1   | 261 (279)   | 9,0   | 4,9        | 111   | 40   |
|                                 | 2   | 244 (262)   | 4,2   |            | 166   |  |
|                                 | 4   | 210 (228)   | 1,8   |            |       |  |
|                                 | 6   | 198 (216)   | 1,14  |            |       |  |
| 800                             | 1   | 473 (507)   | 16,7  | 7,7        | 166   |  |
|                                 | 2   | 450 (484)   | 7,8   |            |       |  |
|                                 | 4   | 408 (442)   | 3,1   |            | 194   |  |
|                                 | 6   | 392 (426)   | 2,2   |            |       |  |
| 1000                            | 1   | 783 (813)   | 27,0  | 12,1       | 194   | 50<br>Для ТН 60                                    |
|                                 | 2   | 754 (784)   | 13,1  |            |       |  |
|                                 | 4   | 702 (732)   | 6,0   |            | 250   |  |
|                                 | 6   | 678 (708)   | 3,8   |            |       |  |
| 1200                            | 1   | 1125 (1175) | 39,0  | 16,8       | 222   | 60   |
|                                 | 2   | 1090 (1140) | 13,9  |            |       |  |
|                                 | 4   | 1028 (1078) | 8,5   |            | 305   |  |
|                                 | 6   | 1000 (1050) | 5,7   |            |       |  |

Примітка: 1. У дужках вказано загальна кількість труб для випадку, коли немає відбійників і труби добавлено з двох сторін див. ГОСТ 15118-79.

2. Значення  $h$ , приведено для теплообмінників і холодильників.



## ДОДАТОК Щ. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООБМІННИКІВ ТН І ТК; ХОЛОДИЛЬНИКІВ ХН І ХК З ТРУБАМИ 25Х2 ММ

(ГОСТ 15118-79, ГОСТ 15120-79, 15122-79,  $n_p$  – чило рядів труб по вертикалі для горизонтальних апаратів - по ГОСТ 15118-79;  $h$  – відстань між перегородками

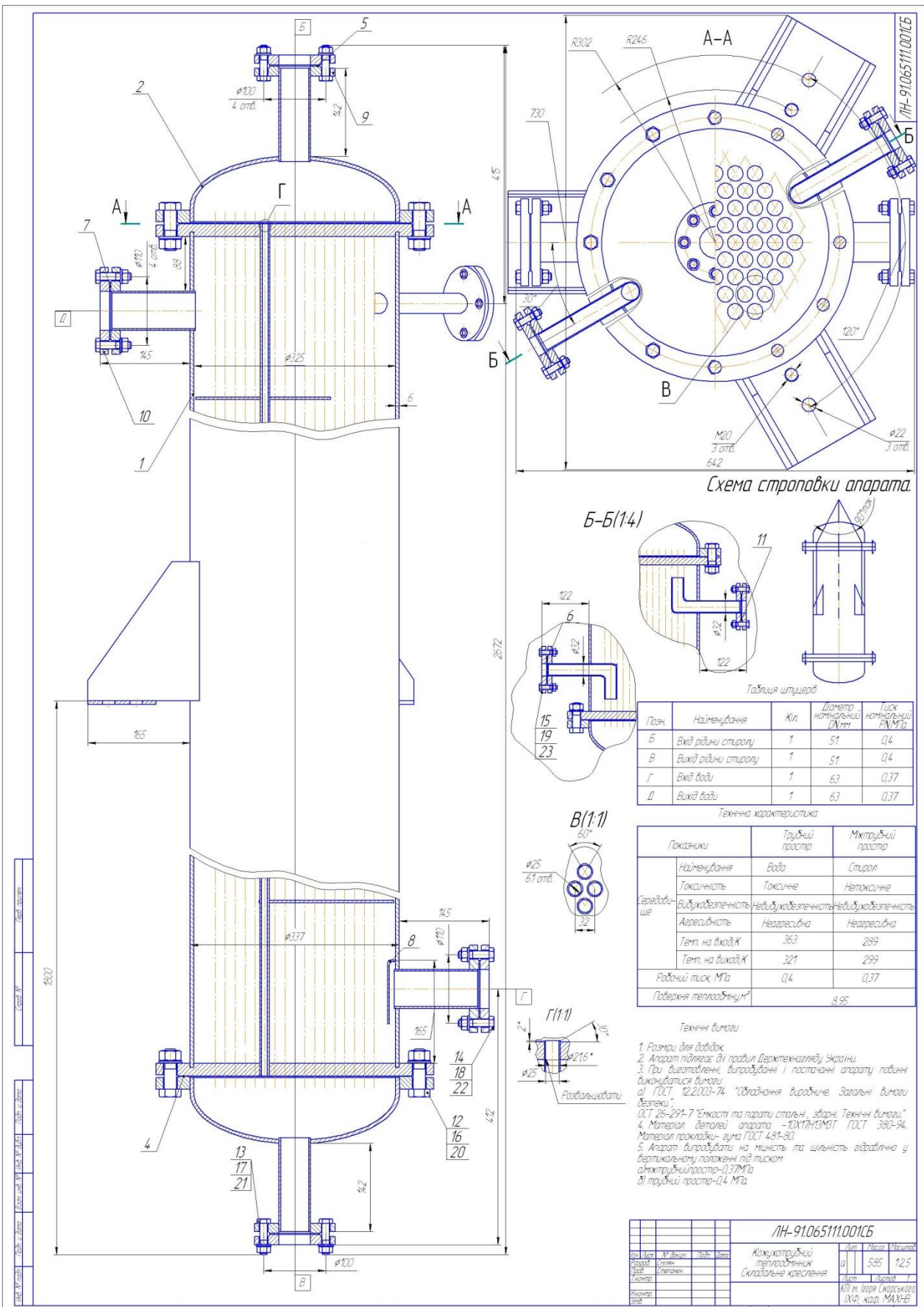
| Діаметр кожуха внутрішній D, мм | Число труб n | Довжина труб l, м                      |     |      |      |      |     |     | Прохідний переріз, м <sup>2</sup> |                  |                       | $n_p$ | h, мм |
|---------------------------------|--------------|--|-----|------|------|------|-----|-----|-----------------------------------|------------------|-----------------------|-------|-------|
|                                 |              | 1,0                                    | 1,5 | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 6,0 | 9,0 | $S_T \cdot 10^2$                  | $S_M \cdot 10^2$ | $S_{B.P.} \cdot 10^2$ |       |       |
|                                 |              | Поверхня теплообміну F, м <sup>2</sup> |     |      |      |      |     |     | 4                                 | 5                | 6                     |       |       |
| 1                               | 2            | 3                                      |     |      |      |      |     |     | 4                                 | 5                | 6                     | 7     | 8     |
| <b>Одноходові</b>               |              |  |     |      |      |      |     |     |                                   |                  |                       |       |       |
| 159*                            | 13           | 1,0                                    | 1,5 | 2,0  | 3,0  | -    | -   | -   | 0,5                               | 0,8              | 0,4                   | 5     | 100   |
| 273*                            | 37           | 3,0                                    | 4,5 | 6,0  | 9,0  | -    | -   | -   | 1,3                               | 1,1              | 0,9                   | 7     | 130   |
| 325*                            | 62           | -                                      | 7,5 | 10,0 | 14,5 | 19,5 | -   | -   | 2,1                               | 2,9              | 1,3                   | 9     | 180   |
| 400                             | 111          | -                                      | -   | 17   | 26   | 35   | 52  | -   | 3,8                               | 3,1              | 2,0                   | 11    | 250   |
| 600                             | 257          | -                                      | -   | 40   | 61   | 81   | 121 | -   | 8,9                               | 5,3              | 4,0                   | 17    | 300   |
| 800                             | 465          | -                                      | -   | 73   | 109  | 146  | 219 | 329 | 16,1                              | 7,9              | 6,9                   | 23    | 350   |
| 1000                            | 747          | -                                      | -   | -    | 176  | 235  | 352 | 528 | 25,9                              | 14,3             | 10,6                  | 29    | 520   |
| 1200                            | 1083         | -                                      | -   | -    | -    | 340  | 510 | 765 | 37,5                              | 17,9             | 16,4                  | 35    | 550   |
| <b>Двоходові</b>                |              |  |     |      |      |      |     |     |                                   |                  |                       |       |       |
| 325*                            | 56           | -                                      | 6,5 | 9,0  | 13,0 | 17,5 | -   | -   | 1,0                               | 1,5              | 1,3                   | 8     | 180   |
| 400                             | 100          | -                                      | -   | 16,0 | 24,0 | 31,0 | 47  | -   | 1,7                               | 2,5              | 2,0                   | 10    | 250   |
| 600                             | 240          | -                                      | -   | 38   | 57   | 75   | 113 | -   | 4,2                               | 4,5              | 4,0                   | 16    | 300   |
| 800                             | 442          | -                                      | -   | 69   | 104  | 139  | 208 | 312 | 7,7                               | 7,0              | 6,5                   | 22    | 350   |
| 1000                            | 718          | -                                      | -   | -    | 169  | 226  | 338 | 507 | 12,4                              | 13,0             | 10,6                  | 28    | 520   |
| 1200                            | 1048         | -                                      | -   | -    | -    | 329  | 492 | 740 | 17,9                              | 16,5             | 16,4                  | 34    | 550   |
| <b>Трьохходові</b>              |              |  |     |      |      |      |     |     |                                   |                  |                       |       |       |
| 600                             | 206          | -                                      | -   | 32   | 49   | 65   | 97  | -   | 1,8                               | 4,5              | 4,0                   | 14    | 300   |
| 800                             | 404          | -                                      | -   | 63   | 95   | 127  | 190 | 285 | 3,0                               | 7,0              | 6,5                   | 20    | 350   |
| 1000                            | 666          | -                                      | -   | -    | 157  | 209  | 314 | 471 | 5,5                               | 13,0             | 10,6                  | 26    | 520   |
| 1200                            | 986          | -                                      | -   | -    | -    | 310  | 464 | 697 | 8,4                               | 16,5             | 16,4                  | 32    | 550   |
| <b>Чотирьохходові</b>           |              |  |     |      |      |      |     |     |                                   |                  |                       |       |       |
| 600                             | 196          | -                                      | -   | 31   | 46   | 61   | 91  | -   | 1,1                               | 4,5              | 3,7                   | 14    | 300   |
| 800                             | 384          | -                                      | -   | 60   | 90   | 121  | 181 | 271 | 2,2                               | 7,0              | 7,0                   | 20    | 350   |
| 1000                            | 642          | -                                      | -   | -    | 151  | 202  | 302 | 454 | 3,6                               | 13,0             | 10,2                  | 26    | 520   |
| 1200                            | 958          | -                                      | -   | -    | -    | 301  | 451 | 677 | 5,2                               | 16,5             | 14,2                  | 32    | 550   |

## ДОДАТОК Б. ЗАСТОСУВАННЯ КОЖУХОТРУБЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

Застосування кожухотрубчастих теплообмінних апаратів із сталевими трубами  $P_{\text{раб}}$  – граничний робочий тиск, що залежить від характеристики і температури середовища;  $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$ .

| Тип апарату   | Застосування і норми  |   |
|---|---|---|
|   | В кожусі  | В трубах  |
| Теплообмінники ТН і ТК<br>(ГОСТ 151122-79)                | Нагрів і охолодження рідких та газоподібних середовищ                           |   |
|   | Температура теплообмінюючих середовищ від -70 до +350°C                         |   |
|   | $p_{\text{усл}}$ для ТН від 6 до 25 кгс/см <sup>2</sup>                         | $p_{\text{умовн}}$ від 6 до 16 кгс/см <sup>2</sup>                    |
|   | $p_{\text{умовн}}$ для ТК від 6 до 16 кгс/см <sup>2</sup>                       |   |
| Конденсатори КН та КК<br>(ГОСТ 151121-79)                 | Конденсуюче середовище  |   |
|   | Охолоджуюче середовище  |   |
|   | Температура від 0 до +350 °С  | Вода, чи інша нетоксична, не вибухо- і не пожежонебезпечне середовище |
|   | $p_{\text{умовн}}$ для КН від 6 до 25 кгс/см <sup>2</sup>                       |   |
| $p_{\text{умовн}}$ для КК від 6 до 16 кгс/см <sup>2</sup> |   |   |
| Холодильники ХН і ХК<br>(ГОСТ 151120-79)                  | Охолоджуюче середовище  |   |
|   | Температура від -20 до +300 °С  |   |
|   | $p_{\text{умовн}}$ для ХН від 6 до 40 кгс/см <sup>2</sup>                       | $p_{\text{умовн}}$ до 6 кгс/см <sup>2</sup>                           |
|   | $p_{\text{умовн}}$ для ХК від 6 до 16 кгс/см <sup>2</sup>                       |   |
| Випарники ИН і ИК<br>(ГОСТ 151119-79)                     | Гріюче середовище   |   |
|   | Середовище, що випарюється  |   |
|   | Температура гріючого середовища і середовища, що випарюється від -30 до +350 °С |   |
|   | $p_{\text{умовн}}$ для ИН від 6 до 40 кгс/см <sup>2</sup>                       | $p_{\text{умовн}}$ від 6 до 10 кгс/см <sup>2</sup>                    |
| $p_{\text{умовн}}$ для ИК від 6 до 16 кгс/см <sup>2</sup> |   |   |

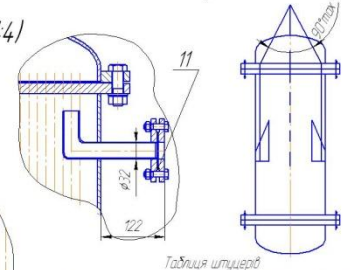
## **ДОДАТОК Ю. ПРИКЛАД СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ**



ЛН-9106511001СБ

Схема строповки апарата.

Б-Б(1/4)



Таблиця штирів

| Позн. | Найменування         | Кіл. | Діаметр номінальний DNmm | Тиск номінальний PNMPa |
|-------|----------------------|------|--------------------------|------------------------|
| Б     | Вихід рідини стиролу | 1    | 51                       | 0,4                    |
| В     | Вихід рідини стиролу | 1    | 51                       | 0,4                    |
| Г     | Вихід води           | 1    | 63                       | 0,37                   |
| Д     | Вихід води           | 1    | 63                       | 0,37                   |

Технічна характеристика

| Показники               | Трубний простір | Міжтрубний простір |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| Найменування            | Вода            | Стирол             |
| Токсичність             | Токсичне        | Нетоксичне         |
| Горючість               | Негорючість     | Негорючість        |
| Агресивність            | Неагресивна     | Неагресивна        |
| Темп. на виході, К      | 363             | 289                |
| Темп. на виході, К      | 321             | 299                |
| Робочий тиск, МПа       | 0,4             | 0,37               |
| Площина теплообміну, м² | 8,95            |                    |

Технічні вимоги

1. Розміри для довідки.
2. Апарат підлягає дві проби Держтехнагляду України.
3. При виготовленні виробу повинні виконуватися вимоги: а) ГОСТ 12.2.003-74 "Обозначення виробів. Загальні вимоги безпеки"; б) ГОСТ 26-297-7 "Ємкості та паролі сталі, зварні. Технічні вимоги"; в) ГОСТ 380-94 "Матеріал прокладок - гума ГОСТ 487-80".
4. Апарат виробляти на місцях та шильність гідралічно у вертикальному положенні під тиском: а) міжтрубний простір - 0,37 МПа; б) трубний простір - 0,4 МПа.

ЛН-9106511001СБ

| № | Ім'я   | Характеристика      | Діаметр | Довжина | Маса |
|---|--------|---------------------|---------|---------|------|
| 1 | Стирол | Комплектуючий       | 51      | 585     | 12,5 |
| 2 | Вода   | Трубопровідник      | 63      |         |      |
| 3 | Стирол | Складовий креслення |         |         |      |

ЛН-9106511001СБ  
ЛН-9106511001СБ

**ДОДАТОК Ю1. ПРИКЛАД СПЕЦИФІКАЦІЇ ДО СКЛАДАЛЬНОГО  
КРЕСЛЕННЯ**

| Формат<br>Зона              | Лист | Обозначение        | Наименование                                  | Кол. | Примечание |
|-----------------------------|------|--------------------|---|------|------------|
|                             |      |                    |   |      |            |
| <i>Документация</i>         |      |                    |   |      |            |
| А1                          |      | ЛН4.1.065111.001СБ | Складальне креслення                          |      |            |
| <i>Сборочные единицы</i>    |      |                    |   |      |            |
| А2                          | 1    | ЛН4.1.065111.102   | Корпус  | 1    |            |
| А3                          | 2    | ЛН4.1.065111.103   | Кришка  | 2    |            |
| <i>Детали</i>               |      |                    |   |      |            |
| А4                          | 3    | ЛН4.1.065111.301   | Прокладка                                     | 2    |            |
| А4                          | 5    | ЛН4.1.065111.302   | Прокладка                                     | 2    |            |
| А4                          | 6    | ЛН4.1.065111.303   | Прокладка                                     | 2    |            |
| А4                          | 7    | ЛН4.1.065111.304   | Прокладка                                     | 2    |            |
|                             | 8    | ЛН4.1.065111.305   | Сифон   | 1    |            |
| А3                          | 9    | ЛН4.1.065111.306   | Фланець                                       | 2    |            |
| А3                          | 10   | ЛН4.1.065111.307   | Фланець                                       | 2    |            |
| А3                          | 11   | ЛН4.1.065111.308   | Фланець                                       | 2    |            |
| <b>ЛН-91.065111.001</b>     |      |                    |   |      |            |
| Изм. / лист                 |      | № докум.           | Подп.   | Дата |            |
| Разраб. / Смілян            |      |                    |   |      |            |
| Проб. / Степанюк            |      |                    |   |      |            |
| Н.контр.                    |      |                    |   |      |            |
| Утв.                        |      |                    |   |      |            |
| Кожухотрубний теплообмінник |      |                    | Лит. / Лист / Листов                          |      |            |
|                             |      |                    | 1 / 1 / 2                                     |      |            |
|                             |      |                    | КПІ ім. Ігоря Сікорського,<br>ІХФ, каф. МАХНВ |      |            |
| Копировав                   |      |                    | Формат А4                                     |      |            |



# ДОДАТОК Я. КЛАСИФІКАТОР ЄСКД

(редагована версія для використання в навчальному процесі)

## КЛАС 06

### ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ

#### ОБЛАДНАННЯ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ, ТЕПЛОВИХ, МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

##### 1.79.100

|   |   |                    |   |   |
|---|---|--------------------|---|---|
| КЛАС<br>060000  | Обладнання гідромеханічних, теплових, масообмінних процесів   |                    |   |   |
| ПІДКЛАС<br>065000   | Обладнання теплових, процесів   |                    |   |   |
| ГРУПА<br>065100   | Апарати та пристрої теплообмінні для нагріву, охолодження, випарювання, конденсації поверхневого типу |                    |   |   |
| ПІДГРУПА  |   | ВИД                |   |   |
| 065110<br>Теплообмінники та<br>холодильники кожухотрубні  | 065111  | Тепло-обмінники    | з нерухомими трубними ґратками          |   |
|   |   | 2                  | з температурним компенсатором на кожусі |   |
|   |   | 3                  | з плаваючою головкою                    | без компенсатора                        |
|   |   | 4                  |   | з компенсатором                         |
|   |   | 5                  | з U-подібними трубами                   |   |
|   |   | 6                  | Холодильники                            | з нерухомими трубними ґратками          |
|   |   | 7                  |   | з температурним компенсатором на кожусі |
|   |   | 8                  |   | з плаваючою головкою                    |
|   |   | 9                  | Інші                                    |   |
| 065120<br>Конденсатори кожухотрубні,<br>кожухозмійовикові | 065121  | Кожухотрубні       | з нерухомими трубними ґратками          |   |
|   |   | 2                  | з температурним компенсатором на кожусі |   |
|   |   | 3                  | з плаваючою головкою                    |   |
|   |   | 4                  | Кожухозмійовикові                       |   |
|   |   | 5                  |   |   |
|   |   | 6                  |   |   |
|   |   | 7                  |   |   |
|   |   | 8                  |   |   |
|   |   | 9                  | Інші                                    |   |
| 065130<br>Випаровувачі кожухотрубні,<br>кожухозмійовикові | 065131  | З гладкими трубами | з нерухомими трубними ґратками          |   |
|   |   | 2                  | з температурним компенсатором на кожусі |   |
|   |   | 3                  | з паровим простором                     | з U-подібними трубами                   |
|   |   | 4                  |   | з плаваючою головкою                    |
|   |   | 5                  | З оребреними трубами                    | з внутрішніми оребренням                |
|   |   | 6                  |   | з зовнішнім оребренням                  |

|   |        |   |  |   |
|---|--------|---|--|---|
|   |        | 7 | Кожухозмійовикові                      |   |
|   |        | 8 |  |   |
|   |        | 9 | Інші                                   |   |
| 065140<br>Теплообмінники, конденсатори, випаровувачі пластинчасті, панельні                             | 065141 | 1 | Пластинчасті<br>нерозбірні<br>розбірні | блочні  |
|   |        | 2 |  | цільнозварні                                    |
|   |        | 3 |  | на консольні рамі                               |
|   |        | 4 |  | на двохопорні рамі                              |
|   |        | 5 |  | на трьохпорні раме                              |
|   |        | 6 |  | на двохопорні рамі з промезною плитою           |
|   |        | 7 |  | Напівзбіжні                                     |
|   |        | 8 | Панельні                               |   |
|   |        | 9 | Інші                                   |   |
| 065150<br>Теплообмінники сотові, "труба в трубі", "посудина в посудині", змійовикові, кожухозмійовикові | 065151 | 1 | Сотові                                 |   |
|   |        | 2 | "Труба в трубі"                        | Одно поточні                                    |
|   |        | 3 |  | двух- та більш поточні                          |
|   |        | 4 | "Посудина в посудині "                 |   |
|   |        | 5 | Змійовикові                            | Погружні  |
|   |        | 6 |  | Зрошувальні                                     |
|   |        | 7 | Кожухозмійовикові                      | з неоребреними поверхнями теплообміну           |
|   |        | 8 |  | з оребреними поверхнями теплообміну             |
|   |        | 9 | Інші                                   |   |
| 065160<br>Теплообмінники графітові блочні, спіральні, оребрени, з оболоню на стінці апаратів            | 065161 | 1 |  | з циліндричними блоками                         |
|   |        | 2 |  | з прямокутними блоками                          |
|   |        | 3 | Кожухоблочні                           |   |
|   |        | 4 | Спіральные                             | з глухими кромками каналу                       |
|   |        | 5 |  | з тупіковими кромками каналу                    |
|   |        | 5 |  | з наскрізними кромками каналу                   |
|   |        | 6 | Оребрени                               |   |
|   |        | 7 | З оболоню на стінці апаратів           |   |
|   |        | 8 |  |   |
| 9   | Інші   |   |  |   |
| 065170<br>Конденсатори (окрім кожухотрубних та змійовикових), повітряохолоджувачі                       | 065171 | 1 | Конденсатори                           | трубчато-ребристи                               |
|   |        | 2 |  | гладкотрубчаті                                  |
|   |        | 3 |  | пластинчасто-ребристі                           |
|   |        | 4 | Повітряохолоджувачі                    | трубчато-ребристі                               |
|   |        | 5 |  | гладкотрубчаті                                  |
|   |        | 6 |  | пластинчасто-ребристі, пластинчасті та панельні |
|   |        | 7 |  |   |
|   |        | 8 |  |   |
|   |        | 9 | Інші                                   |   |
| 065180<br>Повітрянагрівачі з оребреними поверхнями  | 065181 | 1 | Пластинчасті                           | Одноходові                                      |
|   |        | 2 |  | Багатоходові                                    |
|   |        | 3 | Спірально-наливними                    | Одноходові                                      |
|   |        | 4 |  | Багатоходові                                    |
|   |        | 5 | Спірально-накатними                    | Одноходові                                      |
|   |        | 6 |  | Багатоходові                                    |



|   |        |                                     |                         |
|---|--------|-------------------------------------|-------------------------|
|   | 7      |                                     |                         |
|   | 8      |                                     |                         |
|   | 9      |                                     |                         |
| 065190<br>Підігрівачі та випаровувачі<br>вогневі з пальниками та їх блоки | 065191 | Підігрівачі                         | прямого підігріву       |
|   | 2      |                                     | з проміжним теплоносієм |
|   | 3      |                                     | з жаровими трубами      |
|   | 4      | Випаровувачі                        |                         |
|   | 5      | Блоки підігрівачів та випаровувачів |                         |
|   | 6      |                                     |                         |
|   | 7      |                                     |                         |
|   | 8      |                                     |                         |
|   | 9      |                                     |                         |

|   |   |                                |                   |
|---|---|--------------------------------|-------------------|
| КЛАС<br>060000  | ОБЛАДНАННЯ гідромеханічних, теплових, масообмінних процесів |                                |                   |
| ПІДКЛАС<br>065000   | ОБЛАДНАННЯ теплових процесів                                |                                |                   |
| ГРУПА<br>065200   | Апарати повітряного охолодження                             |                                |                   |
|   | ПІДГРУПА  | ВИД                            |                   |
| 065210<br>Горизонтальні   | 065211  | З роз'ємними камерами секцій   | одновентиляторні  |
|   | 2   |                                | двохвентиляторні  |
|   | 3   |                                | трьохвентиляторні |
|   | 4   | З нероз'ємними камерами секцій | одновентиляторні  |
|   | 5   |                                | двохвентиляторні  |
|   | 6   |                                | трьохвентиляторні |
|   | 7   |                                |                   |
|   | 8   |                                |                   |
|   | 9   | Інші                           |                   |
| 065220<br>Горизонтальні з рециркуляцією повітря                                     | 065221  | З роз'ємними камерами секцій   | одновентиляторні  |
|   | 2   |                                | двохвентиляторні  |
|   | 3   |                                | трьохвентиляторні |
|   | 4   | З нероз'ємними камерами секцій | одновентиляторні  |
|   | 5   |                                | двохвентиляторні  |
|   | 6   |                                | трьохвентиляторні |
|   | 7   |                                |                   |
|   | 8   |                                |                   |
|   | 9   | Інші                           |                   |
| 065230<br>Горизонтальні з внутрешнім змеевиком для вязких та високовязких продуктов | 065231  | Одновентиляторні               |                   |
|   | 2   | Двохвентиляторні               |                   |
|   | 3   | Трьохвентиляторні              |                   |
|   | 4   |                                |                   |
|   | 5   |                                |                   |
|   | 6   |                                |                   |
|   | 7   |                                |                   |
|   | 8   |                                |                   |
|   | 9   | Інші                           |                   |

|                                    |        |  |  |
|------------------------------------|--------|--|--|
| 065240<br>Горизонтальні колекторні | 065241 | одновентиляторні<br>2 двохвентиляторні<br>3 трьохвентиляторні<br>4 Четырех- та более вентиляторные<br>5<br>6<br>7<br>8<br>9          |  |
| 065250<br>Зигзагоподібні           | 065251 | 3 роз'ємними камерами секцій<br>4 З нероз'ємними камерами секцій<br>5<br>6<br>7<br>8<br>9 Інші                                       | одновентиляторні<br>двохвентиляторні<br>трьохвентиляторні<br>одновентиляторні<br>двохвентиляторні<br>трьохвентиляторні                         |
| 065260<br>Шатрові                  | 065261 | 3 розташуванням секцій по сторонах шатра<br>4 З зигзагообразным расположением секцій по сторонам шатра<br>5<br>6<br>7<br>8<br>9 Інші | одновентиляторні<br>двохвентиляторні<br>трьохвентиляторні<br>одновентиляторні<br>двохвентиляторні<br>трьохвентиляторні                         |
| 065270<br>Колонні                  | 065271 | одновентиляторні<br>2 двохвентиляторні<br>3 трьох- та більше вентиляторні<br>4<br>5<br>6<br>7<br>8<br>9 Інші                         |  |
| 065280<br>Вертикальні              | 065281 | 3 роз'ємними камерами секцій<br>4 З нероз'ємними камерами секцій<br>5<br>6<br>7<br>8<br>9 Інші                                       | одновентиляторні<br>двохвентиляторні<br>трьох- та більше вентиляторні<br>одновентиляторні<br>двохвентиляторні<br>трьох- та більше вентиляторні |

|                   |   |
|-------------------|---|
| КЛАС<br>060000    | ОБЛАДНАННЯ гідромеханічних, теплових, масообмінних процесів |
| ПІДКЛАС<br>066000 | ОБЛАДНАННЯ масообмінних та хімічних процесів                |
| ГРУПА             | ОБЛАДНАННЯ ректифікаційне, абсорбційне, екстракційне        |

|  |        |                    |                          |
|--|--------|--------------------|--------------------------|
| 066200   |        |                    |                          |
| ПІДГРУПА   |        | ВИД                |                          |
| 066210<br>Колони з тарілками (крім<br>клапанних) | 066211 | Ковпачковими       |                          |
|  | 2      | Ситчатими          | без відбійних елементів  |
|  | 3      |                    | з відбійними елементами  |
|  | 4      | Решітчатими        |                          |
|  | 5      | S -подібними       |                          |
|  | 6      | Центробіжними      |                          |
|  | 7      |                    |                          |
|  | 8      |                    |                          |
|  | 9      | Інші               |                          |
| 066220<br>Колони з клапанними тарілками          | 066221 | Перехресноточними  |                          |
|  | 2      | Прямоточними       |                          |
|  | 3      | Баластними         |                          |
|  | 4      | Трапецієвидними    |                          |
|  | 5      | Жалюзійними        |                          |
|  | 6      | S -подібними       |                          |
|  | 7      | Ситчато-клапанними |                          |
|  | 8      |                    |                          |
|  | 9      | Інші               |                          |
| 066230<br>Колони з нерухомою насадкою            | 066231 | Насипною           |                          |
|  | 2      | Сотовою            |                          |
|  | 3      | Плоскопаралельною  |                          |
|  | 4      | Блочною            |                          |
|  | 5      | Хордовою           |                          |
|  | 6      | Пакетною           |                          |
|  | 7      |                    |                          |
|  | 8      |                    |                          |
|  | 9      | Інші               |                          |
| 066240<br>Колони з нерухомою насадкою            | 066241 | Що                 | дисковою                 |
|  | 2      | обертаються        | лопатевою                |
|  | 3      |                    | комбінованою (секціоною) |
|  | 4      | Вібруючою          |                          |
|  | 5      |                    |                          |
|  | 6      |                    |                          |
|  | 7      |                    |                          |
|  | 8      |                    |                          |
|  | 9      | Інші               |                          |

|   |        |   |  |  |
|---|--------|---|--|--|
| 066250<br>Колони порожнисті   | 066251 | Зі зрошувальними пристроями (струменеві)<br>2 Поличні<br>3 Ультразвукові<br>4 З пристроями для створення киплячого шару<br>5<br>6<br>7<br>8<br>9 Інші   |  |  |
| 066260<br>Установки та апарати для перегонки та дистиляції (крім колон, установок та апаратів опріснення) | 066261 | Простої перегонки<br>2 Азеотропної ректифікації<br>3 Екстрактивної ректифікації<br>4 Молекулярної дистиляції<br>5<br>6<br>7<br>8<br>9 Інші  |  |  |
| 066270<br>Абсорбери (окрім колон) та їх блоки   | 066271 | Поверхневі<br>2 Пластинчасті<br>3 Трубчасті<br>4 Насадочні<br>5<br>6<br>7<br>8<br>9 Інші  |  |  |
| 066280<br>Установки екстракційні та екстрактори (окрім колонних)  | 066281 | Установки екстракційні<br>2 Екстрактори рідині гравітаційні диференціально-контактні ступінчаті<br>3 центро-біжні диференціально-контактні<br>4 ступенчаті<br>5 Екстрактори твердофазні зрошувальні затоплення<br>6<br>7<br>8<br>9 Інші |  |  |