

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” ____ 20 ____ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 133 – галузеве машинобудування

(код і назва)

на тему: Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою кожухотрубного теплообмінника.

Виконав: студент Пономаренко Артем Миколайович 4 курсу, групи БІ-91_____
(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник: доц.,к.т.н. Костик С.І._____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант: _____
(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент: доц.,к.т.н. Поліщук В.Ю._____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ-2023

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

**на тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з
розробкою кожухотрубного теплообмінника»**

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет): Факультет біотехнології і біотехніки
(повна назва)

Кафедра: Кафедра біотехніки та інженерії
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність: 133 – галузеве машинобудування
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ____ ” _____ 20 ____ р.

Завдання
на дипломний проект студенту

Пономаренко Артем Миколайович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проекту: Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою кожухотрубного теплообмінника,

керівник проекту доц., к.т.н. Костик С.І.,
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20 ____ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту: _____

3. Вихідні данні до проекту:

Об'ємна витрата рідини $V = 20 \text{ м}^3/\text{год}$; початкова температура $t_n = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, а кінцева температура $t_k = 36 \text{ }^\circ\text{C}$; теплообмінник кожухотрубчастий

4. Зміст пояснювальної записки, перелік завдань, що їй належить виконати:

Опис технологічного процесу, призначення та область використання кожухотрубного теплообмінника, технічна характеристика, обґрунтування вибору обраної конструкції, розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції, рекомендації з монтажу та експлуатації, висновки, перелік посилань на літературу, додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

Апаратурно-технологічна схема лінії виробництва ітаконової кислоти (A1); складальне креслення: кожухотрубний теплообмінник з нерухомою трубною решіткою; пояснювальна записка (A4).

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

« ____ » _____ 20__ р.

Календарний графік-план

№ п/п	Назва етапів виконання курсового проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Опис технологічного процесу виробництва ітаконової кислоти.	04.01.2023-25.01.2022	
2	Апаратурно-технологічна схема лінії виробництва ітаконової кислоти.	27.01.2023-14.02.2023	
3	Опис та обґрунтування обраної конструкції.	16.02.2023-04.03.2023	
4	Патентний пошук	06.03.2023-17.03.2023	
5	Розрахунки, що підтверджують працездатність.	19.03.2023-23.04.2023	
6	Рекомендації з монтажу та експлуатації.	25.04.2023-08.05.2023	
7	Складальне креслення кожухотрубного теплообмінника.	10.05.2023-28.05.2023	
8	Оформлення ПЗ.	30.05.2023-09.06.2023	

Студент:

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Керівник проекту:

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Реферат

Дипломний проект на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, на тему: «Лінія виробництва ітаконової кислоти з розробкою ферментеру».

Об'єм дипломного проекту складає 62 сторінок пояснювальної записки та 2 аркуші креслень формату А1. Пояснювальна записка містить: 14 рисунків, 4 таблиці, перелік посилань складається з 12 літературних джерел, зміст пояснювальної записки складається з основних розділів:

1. Призначення теплообмінників та галузь їх застосування.

2. Опис технологічного виробництва ітаконової кислоти.

3. Обґрунтування обраної конструкції.

4. Технічні характеристики

5. Розрахунки на працездатність теплообмінника.

5. Розрахунок на міцність.

6. Стандартизація та уніфікація

7. Поради по експлуатації та монтажу кожухотрубного теплообмінника. У дипломному проекті було досліджено технологічний процес культивування ітаконової кислоти, проведено розробку кожухотрубного теплообмінника з нерухомою трубною решіткою, зроблено розрахунки, що підтверджують працездатність, надійність апарату та можливість його вдосконалення.

Ключові слова: Кожухотрубний теплообмінник, теплообмін, ітаконова кислота, трубна решітка.

Abstract

Bachelor's degree thesis in the field of Industrial Engineering, specialty 133 - Industrial Machinery, on the topic: "Production Line of Itaconic Acid with Fermenter Development."

The volume of the thesis consists of 62 pages of explanatory notes and 2 sheets of A1-sized drawings. The explanatory notes include: 14 figures, 4 tables, and a reference list composed of 12 literary sources. The content of the explanatory notes is structured into the following main sections:

Purpose of heat exchangers and their industry applications.

Description of the technological production of itaconic acid.

Justification of the chosen design.

Technical specifications.

Performance calculations of the heat exchanger.

Strength calculations.

Standardization and unification.

Recommendations for the operation and installation of the shell and tube heat exchanger.

The thesis project involved the investigation of the technological process of itaconic acid cultivation, the development of a shell and tube heat exchanger with a stationary tube bundle, and the conduction of calculations confirming the functionality, reliability, and potential for improvement of the apparatus.

Keywords: Shell and tube heat exchanger, heat transfer, itaconic acid, tube bundle.

Зміст

Перелік скорочень	2
Вступ	5
1. Призначення теплообмінників та галузь їх застосування.	7
1.1. Призначення теплообмінника і галузь його застосування	7
1.2. Характеристика кінцевої продукції.	7
2. Опис технологічного виробництва ітаконової кислоти.....	9
3. Обґрунтування обраної конструкції.....	13
Обґрунтування обраної конструкції.....	13
3.2 Принцип дії.....	22
3.3 Патентний пошук	23
4. Технічні характеристики	25
5. Розрахунки на працездатність теплообмінника.	26
5.1. Технічне завдання.	26
5.2 Розміри теплообмінника.	28
5.3. Встановлення сегментованих перегородок.	28
5.4 Розрахунок на міцність.	30
5.5 Гідравлічний розрахунок теплообмінника.....	50
5.6 Розрахунок розмірів елементів деталей, складальних одиниць, кріпильних засобів та перевірка їх на міцність.	52
5.7 Комп'ютерне моделювання кожухотрубного теплообмінника.	53
6. Стандартизація та уніфікація.	55
6.1. Переваги стандартних виробів.....	55
6.3. Розрахунок на стандартизацію та уніфікацію.	56
7. Поради по експлуатації та монтажу кожухотрубного теплообмінника.....	57
Висновки	58
Література:	60

					БІ9110.602311.000-40 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Пономаренко А.М			Теплообмінник кожухотрубний		Лит.	Лист
Провер.		Костик С.І.						1
							КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Н. Контр.		Мельник В.М.					БІ-91	
Утв.		Мельник В.М.						

Перелік скорочень

В.т. – вода технічна;

T – теплообмінник;

V_k – об'ємні витрати, $\text{м}^3/\text{с}$;

G_k – масові витрати, $\text{кг}/\text{с}$;

t_k – кінцева температура, $^{\circ}\text{C}$;

t_n – початкова температура, $^{\circ}\text{C}$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$;

c – питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$;

ρ – густина, $\text{кг}/\text{м}^3$;

P_1 – тиск субстрату, Па ;

Q_1 – кількість теплоти, яка була віддана субстратом, Вт ;

Q_2 – кількість теплоти передана воді, Вт .

c_2 – питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

G_1 – витрати субстрату, $\text{кг}/\text{с}$;

K – коефіцієнта теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

α_1 – коефіцієнти тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

α_2 – коефіцієнти тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

Nu – число Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Pr – критерій Прандтля;

Pr_{cm} – критерій Прандтля при температурі стінки;

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		2

ω – швидкість руху рідини, $м/с$;

$d_{вн}$ – внутрішній діаметр труби, $м$;

g – прискорення вільного падіння, $м/с^2$;

h – висота труб, приймаємо, $м$;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості пари, $м^2/с$;

t_c – температура субстрату, $^{\circ}C$;

$t_{ст}$ – температура стінки, $^{\circ}C$;

δ – товщина стінки труби, $м$;

$\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки, $Вт/(м \cdot ^{\circ}C)$;

$d_{в}$ – внутрішній діаметр, $м$;

$d_{н}$ – зовнішній діаметр, $м$;

$d_{ср}$ – середній діаметр, $м$;

ϕ – коефіцієнт використання поверхні теплообміну;

$K_{д}$ – дійсний коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(м^2 \cdot ^{\circ}C)$;

$\Delta t_{ср}$ – середня різниця температур теплоносіїв, $^{\circ}C$;

Δt_{δ} – різниці температур між гарячим теплоносієм, $^{\circ}C$;

$\Delta t_{м}$ – різниці температур між холодним теплоносієм, $^{\circ}C$;

$t_{см1}$ – дійсна температура стінки зі сторони гарячого теплоносія, $^{\circ}C$;

F – необхідна поверхня теплообміну, $м^2$;

$F_{н}$ – поверхня теплообміну, $м^2$;

D_{δ} – діаметр корпусу апарата, $мм$;

l – довжина теплообмінних труб, $мм$;

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		3

f_m – площа одного ходу по трубам, m^2 ;

f_{mt} – площа найвужчого поперечного перерізу міжтрубного простору, m^2 ;

$D_{вн}$ – внутрішній діаметр, mm ;

Q – реакція опор апарату, H ;

k – катет зварного шву, mm ;

$l_{ш}$ – загальна довжина швів, mm ;

φ – коефіцієнт міцності зварного шву;

S – виконавча товщина стінки тонкостінної гладкої обичайки, mm .

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
						4

Вступ

У сучасних галузях, таких як фармацевтика, мікробіологія, харчова промисловість, медицина та сільське господарство, біотехнологія займає провідне місце у використанні отриманої продукції. Обладнання, використовуване в біотехнологічних процесах, має багато спільного з обладнанням, що використовується в хімічній та харчовій промисловості. У цьому курсовому проекті презентована лінія виробництва ітаконової кислоти. Метою проектування є розробка кожухотрубного двоходового теплообмінника. [1]

Кожухотрубний теплообмінник - це тип теплового апарата рекуперативного типу, в якому проходить теплообмін між двома незмішуваними середовищами, які роз'єднані стінками прохідних каналів. Назва цього апарата пов'язана з особливостями його конструкції, у якій внутрішня труба (або пучок труб), по якій прокачується один теплоносіє, розташована всередині більшої зовнішньої труби, відомої як кожух, по якій прокачується інший теплоносіє.

Внутрішній простір теплообмінних труб відомий як внутрішній трубний простір, тоді як простір всередині кожуха називається міжтрубним простором кожухотрубного теплообмінника. Тепловий обмін між двома середовищами відбувається через стінки внутрішніх труб або трубок внутрішнього пучка. Велика труба-кожух виконує одночасно функцію зовнішнього корпусу такого теплообмінника.

У популярній конструкції одноходового кожухотрубного теплообмінника внутрішній трубний простір формується за допомогою пучка труб, які знаходяться між двома трубними решітками. Ці решітки мають діаметр, що відповідає діаметру кожуха, і щільно прилягають до нього. Внутрішній трубний простір закривається двома торцевими кришками, до яких підключені патрубки - впускний та випускний. Теплоносіє подається внутрішнім трубним простором через впускний патрубок, розподіляється по окремим трубкам у пучку, проходить через них і виходить через випускний патрубок, який

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

розташований на другій кришці. Міжтрубний простір для другого теплоносія виникає внаслідок розташування бічних стінок кожуха та зворотних сторін трубних решіток. Зазвичай патрубки для впуску та випуску другого теплоносія знаходяться на корпусі пристрою.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. Призначення теплообмінників та галузь їх застосування.

1.1. Призначення теплообмінника і галузь його застосування

Одним з обмежень одноходового кожухотрубного теплообмінника є обмежена швидкість руху теплоносія у внутрішньому просторі широкого кожуха. Ця обмеженість має вплив на інтенсивність теплообміну та обмежує передачу теплової потужності. Для покращення ефективності теплообміну та збільшення передачі теплової потужності використовується багатоходова конструкція кожухотрубного теплообмінника.

В цій конструкції внутрішній простір кожуха поділяється перегородками, які виконують функцію опори для пучка труб і створюють поперечні канали для міжтрубного середовища. Поперечні перегородки мають значно менший сечіння, ніж у прямотного одноходового кожуха, що сприяє швидкому переміщенню міжтрубного середовища через теплообмінник. Ці перегородки також сприяють утворенню сильної турбулентності (перемішування) міжтрубного середовища, що сприяє покращенню його теплообміну. Крім того, для забезпечення турбулентного руху теплоносія внутрішнім трубним простором, використовуються спеціально профільовані гелікоїдні трубки замість гладкостінних. [4]

1.2. Характеристика кінцевої продукції.

Ітаконова кислота, яка також відома під різними назвами, такими як метиленбутандіова кислота, метиленбурштинова кислота, 3-карбокси-3-бутенова кислота або пропілендикарбонова кислота, є органічною кислотою, що містить дві карбоксильні групи і має хімічну формулу $C_5H_6O_4$. Вона знайшла широке застосування як кополімер у карбоксилатних каучуках. У сфері органічного синтезу вона використовується для проведення гетероциклічних реакцій з метою отримання піролідонів, бутиролактону, метилбутандіолу, детергентів, гербіцидів, стирен-бутадієнових полімерів, нітрільних латексів та розчинників. Ітаконова кислота має білий кристалічний

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

вигляд і немає запаху, а її молекулярна маса складає 130,1. Температура плавлення становить 167-168 °С, а точка кипіння - 268 °С. Вона розчиняється у воді з різною концентрацією: 8,3 г/л (при 20 °С), 29,3 г/л (при 50 °С) та 72,6 г/л (при 70 °С). Крім того, кислота розчинна в етанолі, метанолі, тетрагідрофурані та діоксані, але її розчинність обмежена у диетиловому ефірі та бензолі. Лимонна або аконітова кислота можуть бути використані як початкові речовини для отримання ітаконової кислоти. Загальний обсяг світового виробництва перевищує 40 тисяч тонн щороку, а основними споживачами є хімічні компанії, які виробляють полімери. Ітаконову кислоту використовують у виробництві карбоксильного стирен-бутадієнового латексу, пластиків, високоміцного скла, а також у виробництві адгезивів, фарбуючих агентів та карбоксильної акрилової смоли.

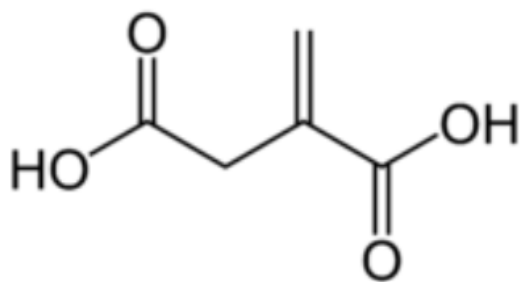


Рисунок 1.1 Структурна форма ітаконової кислоти.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

2. Опис технологічного виробництва ітаконової кислоти.

Ітаконова кислота, яка має формулу $C_5H_6O_4$, є ненасиченою двухосновною органічною кислотою з двома карбоксильними групами та активною метиленовою групою. Ця речовина знайшла широке застосування у виробництві синтетичних волокон, смол, поверхнево-активних речовин, барвників та інших складних органічних сполук. Для отримання ітаконової кислоти можуть використовуватись певні штами мікроскопічних грибів роду *Aspergillus*, зокрема *Asp. Terreus* і *Asp. Itaconicus*. Ці гриби культивуються на спеціальних середовищах, які мають сахарозу, мелясу або навіть продукти гідролізу деревини. Процес виробництва ітаконової кислоти складається з цих зальних етапів: отримання посівного матеріалу, глибинне культивування грибів та виділення ітаконової кислоти.

Для отримання ітаконової кислоти методом глибинного культивування використовують підібрані штами *Asp. terreus* і *Asp. itaconicus*. Початковий матеріал для культивування розмножують на агаровому середовищі у пробірках, після чого переносять у колби з рідким поживним середовищем. Тривалість кожної стадії культивування становить від 2 до 6 днів, а оптимальна температура для процесу складає 30-32 °C. Культивування *Asp. terreus* проводять методом глибинного культивування. Під час виробництва ітаконової кислоти методом глибинного культивування можуть використовуватись середовища з однаковим складом, але різною концентрацією компонентів на етапах підрощування міцелію та ферментації. Зазвичай, живильне середовище для підрощування міцелію засівають шляхом замочування конідій у середовищі на протязі 10-12 годин з розрахунку 0,75 г конідій на 1 м3 середовища.

Біосинтез ітаконової кислоти має найвищу інтенсивність під час вирощування культури *Asp. terreus* у виробничому ферментаторі на кінцевій

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

фазі логарифмічного зростання, що триває близько 30 годин. У процесі формування кислоти в ферментаторі використовується постійне перемішування і аерація середовища за температури 33-36 °С протягом 72 годин. Кінцевий вміст ітаконової кислоти в розчині досягає 37-38 г/л, а загальна концентрація кислот у ферментованому розчині становить 38,5-39,0 г/л.

Під час процесу поверхневого бродіння розчину сахарози за допомогою культури *Asp. terreus* (12 см шар) протягом 10-12 днів виділяється 55-59% ітаконової кислоти, вирахованої відносно маси цукру. Важливо зазначити, що ітаконова кислота складає від 94 до 97% від загальної кількості утворених кислот, у тому числі фумарової, щавлевої та бурштинової кислоти. Зброджені розчини, у загальному, містять від 2 до 7% ітаконової кислоти, від 0,5 до 1,5% незброджених цукрів, від 0,3 до 0,6% других органічних кислот, а також малий вміст різноманітних солей та фарбувальних речовин.

Після зброджування, грибний міцелій видаляють з киплячого розчину і обробляють активованим вугіллям (0,3-0,5%), після чого проводять фільтрацію. Отриманий фільтрат піддають упарюванню при температурі 49-61 °С до 1/4-1/10 початкового об'єму. Після упарювання, розчин направляють у кристалізатор, де охолоджують його до 13-15 °С. У цьому процесі кристалізується приблизно 75-80% ітаконової кислоти, яка відповідає її вмісту у розчині. Далі, технічну ітаконову кислоту відокремлюють за допомогою центрифуги. У цій кислоті міститься 3-6% води, 1-3% решта органічних кислот та 2-5% різних домішок.

Щоб клерувати технічної ітаконову кислоту, проводять розчинення у гарячій воді до 25% концентрації та здійснюють освітлення активованим вугіллям (5-8% від маси кислоти). Після цього, гарячий розчин проходить фільтрування та кристалізацію. При центрифугуванні, кислотні кристали

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

промивають дистильованою водою. Сухим кристалам притаманний такий склад і властивості (у відсотках): волога - 3-6%, інші органічні кислоти - 1-3%, домішки - 2-5%.

Розчин маточний після повторної кристалізації випаровують до 30-40% від початкового об'єму і піддають другій кристалізації. Для цього розчин з підвищеною температурою повторно фільтрують і концентрують. Отриманий концентрат повільно охолоджують, а потім проводять його центрифугування. Кристали ітаконової кислоти, які утворилися, промивають дистильованою водою та піддають сушці. Третій етап очищення включає обробку маткових і зброджених розчинів згідно з вказаною послідовністю. Якщо зброджені розчини містять велику кількість залишкових цукрів та інших домішок, рекомендується використовувати іонообмінні смоли для вилучення ітаконової кислоти. Застосування аніонітної смоли Еде-10П дозволяє виділити 94-100% ітаконової кислоти від загальної кількості, яка міститься у збродженому розчині, при використанні 5-8 г аніоніту на 1 г очищеної кислоти. Регенерацію використаного іоніту здійснюють за допомогою соляної кислоти, а повернення до основної форми здійснюють шляхом обробки розчином аміаку. [6]

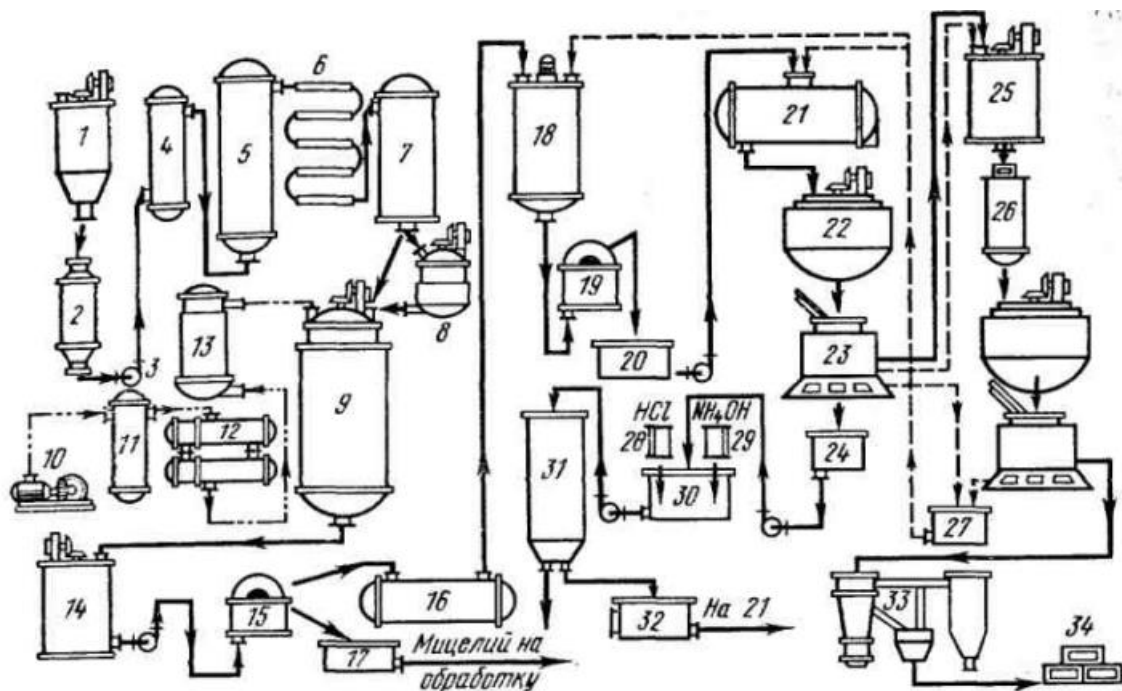


рисунок (2.1) схема біосинтезу ітаконової кислоти.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Розберемо лінію біосинтезу ітаконової кислоти

У реакторі Р-1, який діє як гомогенізатор, проводиться обробка бурякової меляси, очищеної води та солей (нітрат амонію, сульфат магнію, сульфат цинку), з метою отримання 12% розчину меляси. Реактор Р-1 має об'єм 63 м³ і обладнаний теплообмінною сорочкою та механічною лопатевою мішалкою.

Поживне середовище перекачується з реактора Р-1 до колонки швидкісного нагріву А-3 за допомогою відцентрового насоса неперервної дії Н-2 потужністю 5 кВт. У колонці А-3 проводиться циклічна стерилізація поживного середовища за допомогою водяної пари температурою 140°C і тиску 1 атмосфери. Попереднє нагрівання поживного середовища до температури 70°C здійснюється в пластинчастому теплообміннику-рекуператорі Т-5 з поверхнею теплообміну 50 м². Стерильне поживне середовище потім проходить через 3-х корпусний теплообмінник-витримувач Т-4 об'ємом 1,7 м³, де його утримують протягом 30 хвилин, після чого воно повертається до теплообмінника-рекуператора Т-5. Субстрат з температурою 70°C виходить з теплообмінника Т-5 і надалі поступає на кожухотрубчастий теплообмінник Т-6 для охолодження. Теплообмінник Т-6 має поверхню теплообміну 42,415 м², і на його виході отримується субстрат з температурою 36°C.

Паралельно з стерилізацією поживного середовища, у пробірці ПР-7 з рідким поживним середовищем здійснюється посів культури *Asp. terreus*, яка потім культивується в колбах К-8 та К-9 об'ємом 0,5 і 2,5 літри відповідно. Після підвощування, культура переміщується до термостата ТС-10, де відбувається подальше підвощування посівного матеріалу.

Після висушування, концентровані мікроорганізми потрапляють до інокулятора Р-12 об'ємом 10 м³, оснащеного теплообмінною сорочкою, барботером та турбінною мішалкою з потужністю перемішування 35 кВт для

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

подальшого підвощування культури *Asp. terreus* при температурі 36°C протягом 36 годин.

По завершенні експоненціального росту, культура перекачується з інокулятора в промисловий ферментер Р-14 об'ємом 63 м³. Ферментер Р-14 оснащений багатосекційною теплообмінною сорочкою для охолодження, барботером та пропелерною мішалкою з потужністю 55 кВт. У ферментері відбувається культивування культури при температурі 36°C протягом 72 годин. Після завершення культивування, культуральна рідина направляється на лінію очищення та виділення готового продукту [7].

3. Обґрунтування обранної конструкції.

Обґрунтування обранної конструкції.

Теплообмінник "труба в трубі" є базовим типом теплообмінної апаратури, який використовується в різних галузях промисловості, таких як хімічна, нафтопереробна, харчова, теплоенергетична тощо, для процесів з невеликими тепловими навантаженнями та обмеженими поверхнями теплообміну.

У цьому типі теплообмінника відбувається проточний теплообмін в протилежних напрямках між спиртом, що проходить по внутрішній трубці, і охолоджуючим агентом, що протікає по зовнішній трубці. Рідина протікає всередині внутрішньої трубки, а зовнішні стінки трубки омиваються охолоджуючим агентом, який протікає ззовні. Завдяки невеликому поперечному перерізу цього типу теплообмінника, можна досягти високих швидкостей теплоносіїв у внутрішніх трубках та міжтрубному просторі. У разі потреби великої кількості теплоносіїв, теплообмінники можуть складатися з кількох паралельних секцій, які приєднуються до загальних колекторів.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Цей тип теплообмінника складається з горизонтальних труб, які розташовані паралельно одна одній. Зовнішні трубки з'єднані між собою за допомогою тангенційних патрубків з фланцями, а внутрішні трубки також з'єднані за допомогою тангенційних патрубків з фланцями.

Для охолодження зазвичай використовується холодна вода, яка подається в міжтрубний простір.

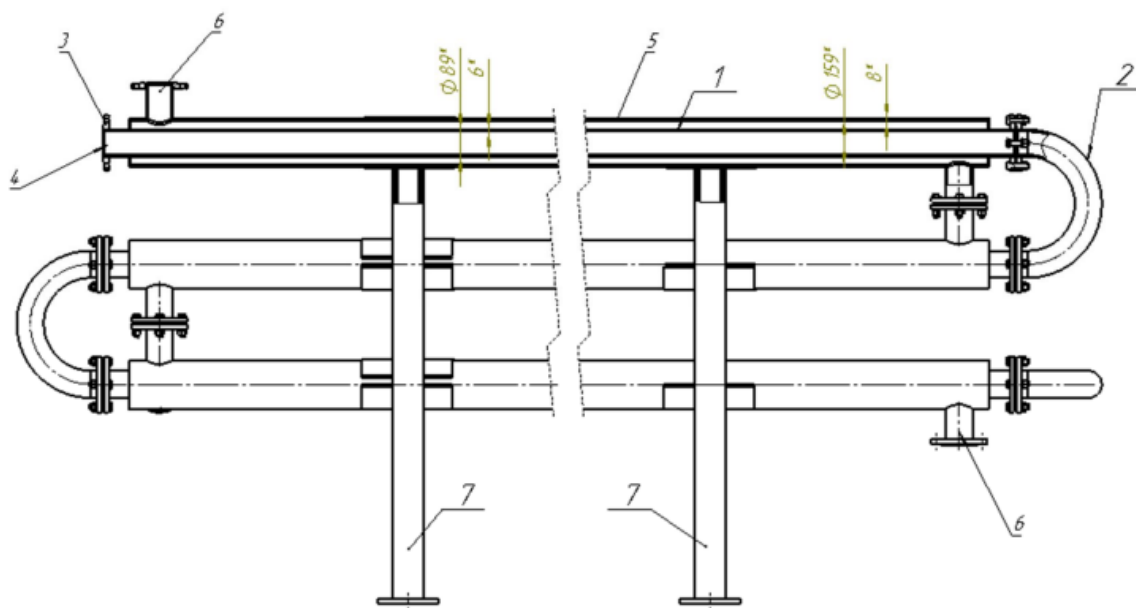


Рисунок 3.0 – Теплообмінник «труба в трубі»

1 – труба для теплообміну; 2 – коліно; 3 – плоский приварний фланець; 4 – штуцери для входу та виходу середовища; 5 – кожухова труба; 6 – штуцери для підведення та відведення теплоносія, 7 – опори.

Теплообмінники класифікують за різними ознаками, зокрема за конструкцією (трубні, пластинчасті, спіральні, неметалеві), призначенням (холодильники, теплообмінники, випарники, конденсатори), взаємним напрямком робочих середовищ (протитечійні, прямотечійні, змішаного току) та іншими характеристиками.

Кожухотрубні теплообмінники можна класифікувати за призначенням (Т, Х, К, І), конструкцією (тип Н, тип К, з розширником, з плаваючою головкою, тип У, тип ПК), розташуванням у просторі (вертикальні, горизонтальні), числом ходів у трубному просторі (одно- та багатоходові), компонованням (одинарні, здвоєні) та матеріальним виконанням (вуглецева сталь, низьколегована сталь, корозійностійка сталь, латунь, титан).

Кожухотрубні теплообмінники з нерухомими трубними решітками зображений на рис.3.1 є простими за конструкцією та зручними у використанні і ремонті. Їх можна легко очистити зсередини та замінити пошкоджені труби. Проте, їх застосування обмежується невеликою різницею в температурі між кожухом та теплообмінними трубами (до 30-60 °С) та неможливістю механічної очистки зовнішньої поверхні труб. Кожухотрубні теплообмінні апарати з температурним (лінзовим) компенсатором на кожусі використовуються для більш високих різниць в температурі, проте це може призвести до зниження умовного тиску в міжтрубному просторі та ускладнення конструкції апарата.

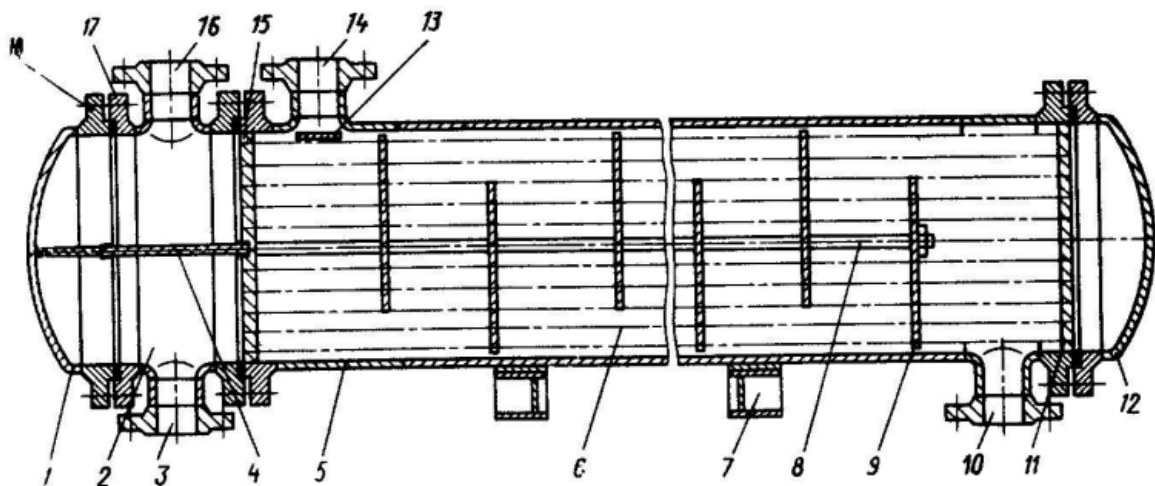


Рисунок 3.1 теплообмінник кожухотрубний двоходовий

Опис кожухотрубного теплообмінника з двома ходами зображений на Рисунку 3.1 На рисунку зображені наступні елементи: кришка (днище) з номерами 1 та 12, розподільна камера з номером 2, штуцера для введення і виведення

теплоносія в трубний простір з номерами 3 та 16, перегородка з номером 4, кожух з номером 5, трубний пучок з номером 6, сідловидна опора з номером 7, стяжка з номером 8, сегментна перегородка з номером 9, штуцера для введення і виведення теплоносія в міжтрубний простір з номерами 10 та 14, трубна решітка з номерами 11 та 15, відбійник з номером 13, та фланці з номерами 17 та 18.

Вище зазначений апарат має наступні переваги:

- Широкий діапазон температур. Кожухотрубні теплообмінники можуть працювати при високих температурах, що робить їх ідеальним вибором для використання в процесах з високою температурою, наприклад, у хімічній, біотехнологічній та нафтогазовій промисловості. Пластинчасті теплообмінники мають обмеження в термічній стійкості, що обмежує їх застосування в деяких високотемпературних умовах.
- Висока тискостійкість. Кожухотрубні теплообмінники можуть працювати при високому тиску, що робить їх ідеальними для використання в газових та нафтових процесах з високим тиском. У порівнянні з цим, пластинчасті теплообмінники мають обмежену тискостійкість, що може обмежити їх використання в певних процесах з високим тиском.
- Ємність на великі об'єми. Кожухотрубні теплообмінники можуть бути виготовлені з великими діаметрами, що забезпечує велику ефективну площу теплообміну і може забезпечити велику потужність. Пластинчасті теплообмінники мають обмеження на розмір, що обмежує їх застосування в деяких великих об'ємах.
- Простота у підтримці та ремонті. Кожухотрубні теплообмінники мають менше деталей, що робить їх простішими у підтримці та ремонті. Пластинчасті теплообмінники мають складну конструкцію, що може призвести до складнощів у підтримці та ремонті.
- Широкий спектр матеріалів. Кожухотрубні теплообмінники можуть бути виготовлені з різних матеріалів, що дозволяє їм працювати з

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

різними типами рідин та газів. Пластинчасті теплообмінники мають обмеження в матеріалах, які можна використовувати, що обмежує їх застосування у деяких умовах.

Кожухотрубні теплообмінні апарати з розширником на кожусі (рис.3.2) є вдосконаленою версією апаратів з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі. За технічними вимогами, вони виробляються діаметром 900 і 1300 мм. Нововведення включають:

- Додавання площі теплообміну зарахунок розширників у області штуцерів і трубам з звуженими кінцями у рядах коло вздовжніх перегородок у розподільній камері, що дозволяє більш повно заповнити міжтрубний простір трубами;
- Покращення коефіцієнта теплопередачі завдяки спеціальним кільцевим відбійникам, які спрямовують середовище міжтрубного простору на трубну решітку. Це дозволяє уникнути застійних зон і забезпечує участь у теплообміні всієї поверхні. Такі апарати зберігають всі переваги апаратів з нерухомими трубними решітками та температурним компенсатором на кожусі, але при цьому ще й підвищують теплову ефективність.

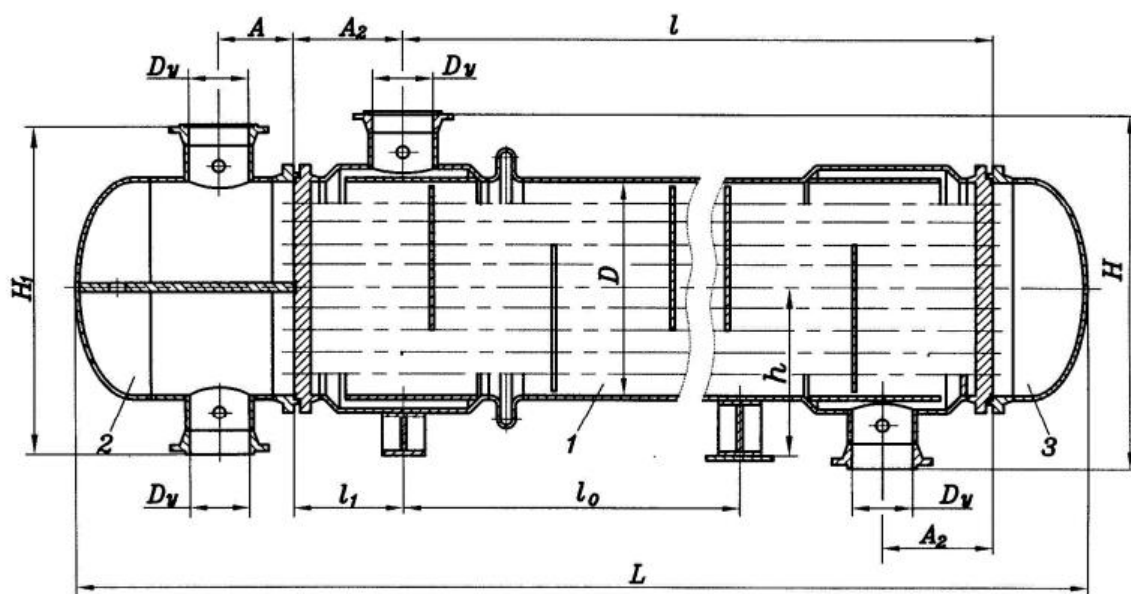


Рис. 3.2. Кожухотрубний теплообмінник з розширником і компенсатором на кожусі горизонтальний двоходовий по трубам

Кожухотрубні теплообмінні апарати обладнані плаваючою головкою (тип П), зображені на рис. 3.3, можуть бути використані в широкому діапазоні температурних різниць між трубами і кожухом, а також у випадках, коли необхідно очищення зовнішніх і внутрішніх поверхонь труб. Вони також надають можливість заміни пошкоджених труб. Однак, у порівнянні з апаратами типів Н і К, апарати типу П мають більш складну конструкцію.

Для виготовлення кожухів теплообмінних апаратів з плаваючою головкою використовуються труби з зовнішнім діаметром 325 мм і листовий прокат з різними діаметрами. У каталозі та технічних умовах вказано, що листовий прокат доступний з діаметрами 400, 500, 600, 800, 1000 і 1200 мм. Такі апарати можуть бути використані для теплообміну в різних середовищах з температурою від мінус 30 до плюс 450 °С та

умовним тиском в трубах і кожуху від 2,5 до 6,3 МПа

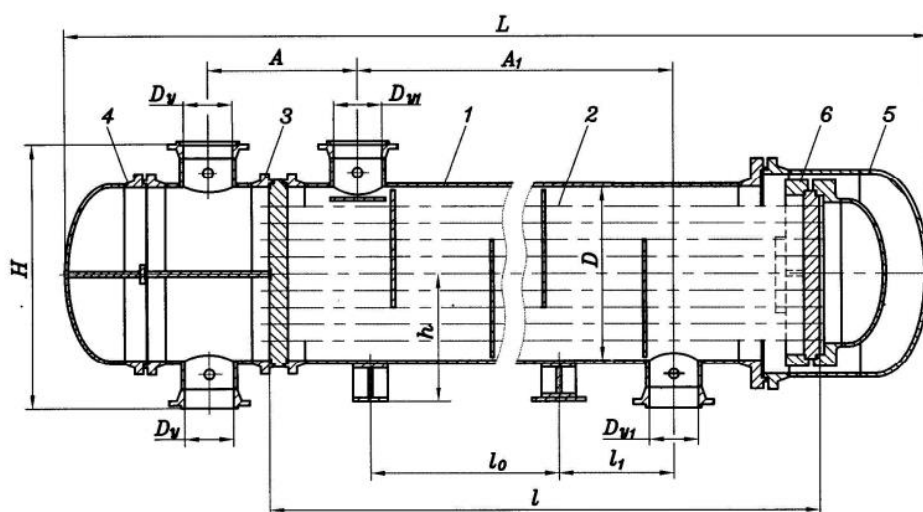


Рис. 3.3. Кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою горизонтальний двоходовий по трубах

Теплообмінні апарати з U-подібними трубами (рис. 3.4) знаходять своє застосування у випадках, коли необхідно забезпечити ефективний теплообмін при значних температурних різницях між трубами і кожухом, у порівнянні з апаратами, що мають температурний компенсатор на кожусі, і не вимагають механічного очищення зовнішніх та внутрішніх поверхонь труб. Однак, слід відзначити, що заміна пошкоджених труб у таких апаратах практично неможлива. В порівнянні з апаратами типу ТП, апарати типу ТУ мають більш просту конструкцію.

Теплообмінні апарати з U-подібними трубами виготовляються з кожухом, зовнішній діаметр якого становить 325 мм, а внутрішній діаметр коливається в межах від 400 до 1400 мм, згідно з технічними умовами. Ці апарати типу ТУ призначені для забезпечення ефективного теплообміну у різноманітних середовищах з температурою від мінус 30 до плюс 450 °С, а умовний тиск в трубах та кожусі може складати 1,6;

2,5;

4,0

і

6,3

МПа.

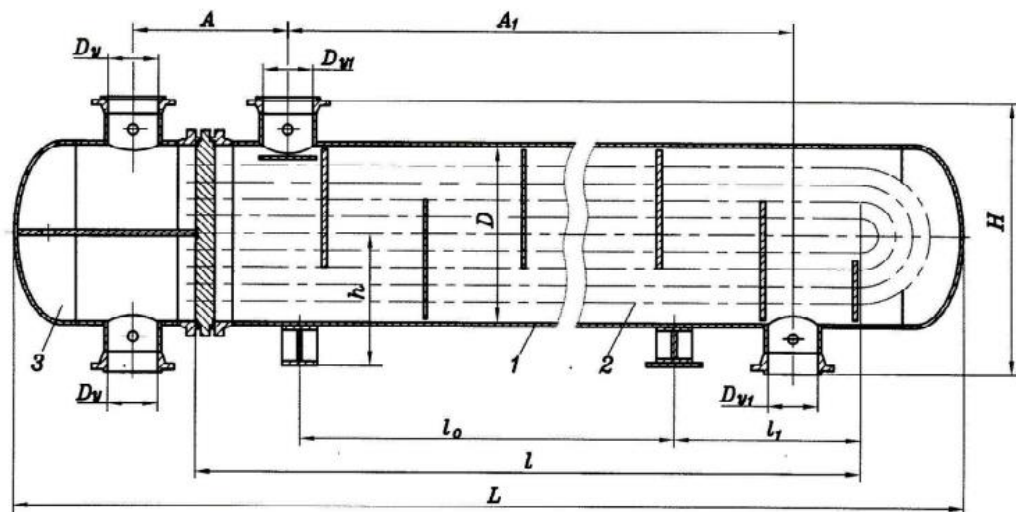
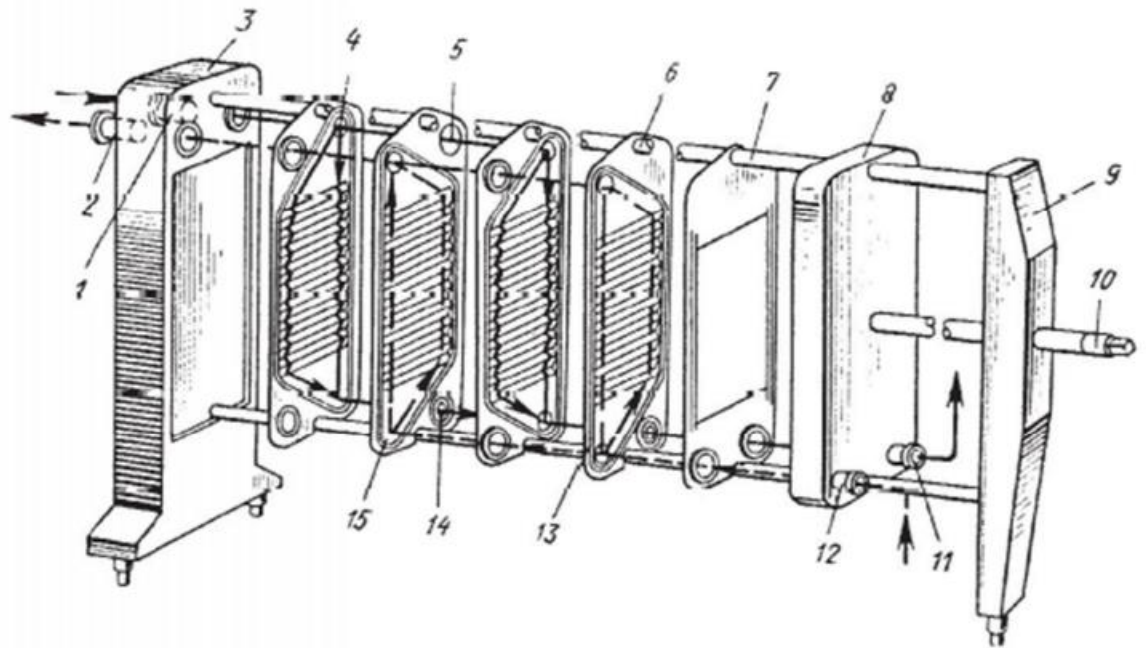


Рис.3.4. Кожухотрубний теплообмінник з U-подібними трубами

Теплообмінні апарати типу пластинчатих зазвичай складаються з пластин малої товщини, які можуть мати гладку або гофровану поверхню. Ці пластини можуть бути розташовані плоско або накручені у теплообміннику. Пластинчаті теплообмінники зазвичай не підходять для високих тисків, температур або перепадів тиску та температури. Вони можуть бути розбірними, напіврозбірними або нерозбірними, в залежності від рівня необхідної герметичності. Існують різні типи пластинчатих теплообмінних апаратів, такі як спіральні, ламельні, з друкованою схемою та з тисненою панеллю.

Пластинчасті теплообмінні апарати - це певний вид поверхневих рекуперативних теплообмінних апаратів, в яких поверхня теплообміну складається з тонких теплообмінних пластин. Пластини мають різні виштамповки, завдяки яким створюються вузькі канали ширини від 3 до 6 мм, по яких протікає рідина.

Розбірні пластинчасті теплообмінники є найбільш поширеними в промисловості. Вони застосовуються у випадках, коли апарат потрібно регулярно розбирати та очищати. У цих теплообмінниках можна легко змінити теплообмінну поверхню, збільшивши або зменшивши кількість пластин при зміні технологічного режиму виробництва. Також є можливість швидко замінити пластини, які вийшли з ладу внаслідок корозії або ерозії. Рисунок 3.4 демонструє такий тип теплообмінників.



На рисунку 3.5 зображена схема пластинчастого теплообмінного апарата, де показані його основні елементи, такі як штуцери (патрубки) під номерами 1, 2, 11 та 13, передня стійка під номером 3, верхній кутовий отвір під номером 4, кільцева прокладка під номером 5, гранична пластина під номером 6, штанга під номером 7, натискна плита під номером 8, задня стійка під номером 9, гвинт під номером 10, прокладка пластин під номером 13, нижній кутовий отвір під номером 14 та теплообмінна пластина під номером 15.

Отже, у порівнянні з пластинчастими теплообмінниками, кожухотрубні теплообмінники мають переваги щодо термічної стійкості, тискової

стійкості, ємності на великі об'єми, простоти у підтримці та ремонті, а також щодо широкого спектру матеріалів, які можна використовувати.

3.2 Принцип дії

У кожухотрубному теплообміннику гарячий і холодний теплоносії перебувають у власних каналах, і теплообмін між ними відбувається через стінки цих каналів..

Кожухотрубні теплообмінники, які класифікуються в залежності від напрямку руху теплоносія, відносяться до рекуперативних теплообмінників.

- Перекрестноточні, де гарячий і холодний теплоносії рухаються перпендикулярно один до одного.
- Протиточні, де гарячий і холодний теплоносії рухаються в протилежних напрямках, назустріч один одному.
- Прямоструминні, де гарячий і холодний теплоносії рухаються паралельно один одному у тій же самій напрямній.

Основними компонентами кожухотрубчастих теплообмінників є пучки труб, трубні решітки, корпус, кришки та патрубки. Кінці труб кріпляться у трубних решітках за допомогою розвальцювання, зварювання або пайки. Кількість трубок, що знаходяться всередині кожуха, впливає на швидкість руху речовини. Швидкість руху речовини, в свою чергу, впливає на коефіцієнт теплопередачі.

Існують різні типи кожухотрубних теплообмінників, такі як:

- Кожухотрубні системи U-образного типу зі знімним кожухом.
- Кожухотрубні системи з плаваючою трубною ґратою, які мають знімний кожух.
- Кожухотрубні системи з неоребренними трубами або трубами з низьким ребрами.
- Кожухотрубні системи з оребренними трубами.
- Кожухотрубні системи з трубами з внутрішнім оребренням.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

3.3 Патентний пошук

Найменування теми: Кожухотрубний теплообмінник

Етап: Проектування кожухотрубного теплообмінника

Обґрунтування регламенту пошуку:

Предмет пошуку: Кожухотрубний теплообмінник.

Мета пошуку інформації: визначення патентної ситуації щодо кожухотрубного теплообмінника (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці)

Визначення держав пошуку: встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США, Європа.

Ретроспективність: регламент пошуку встановлюємо: 2017–2023 рр.

Класифікаційні індекси: міжнародна патентна класифікація МПК – C12M 1/00, 1/02, 1/04, 1/06, 1/12, 1/21, 1/24 (2006.01); C12N 1/14 (2006.01).

Уніфікована десяткова класифікація: УДК 665.612.2

Джерела інформації: Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей; Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій; United States Patent and Trademark Office.

Табл3. 3.1 Патентна документація за темою

	Документи на об'єкти промислової власності
--	--

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

ОГД, його складові частини	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
Кожухотруб ний теплообмін ник	Кожухотрубний теплообмінник / Гулієнко Сергій Валерійович (Ua); Заявка № u201809717, 25.04.2019; Опубл.: 25.04.2019; бюл. № 8.	Не діє

Кожухотру бний теплообмін ник	Кожухотрубний теплообмінник / Шахунов Михайло Олександрович (Ua); Заявка № u201810308, 25.03.2019; Опубл.: 25.03.2019; бюл. № 6.	Не діє
Кожухотру бний теплообмін ник	Кожухотрубний теплообмінник /Андрєєв Ігор Анатолійович (Ua); Заявка № u201804092, 10.10.2018; Опубл 10.10.2018; бюл. № 19.	Не діє
Кожухотру бний теплообмін ник	Кожухотрубний теплообмінник / Степанюк Андрій Романович (Ua); Заявка № u201804529, 10.12.2018; Опубл.: 10.12.2018; бюл. № 23..	Не діє
Кожухотру бний теплообмін ник	Кожухотрубний теплообмінник / Кичак Руслан Віталійович (Ua); Заявка № u201800882, 10.10.2018; Опубл.: 10.10.2018; бюл. № 19.	Не діє

4. Технічні характеристики

- Продуктивність теплообмінника – $1000 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$

- Площа поверхні теплообміну – 47м^2

- Тиск: в трубному просторі – 1,6 МПа

в міжтрубному просторі – 1,6 МПа

- Швидкість руху:

в трубному просторі – 0,327 м/с

в міжтрубному просторі – 0,608 м/с

- Середовище:

в трубному просторі – субстрат

в міжтрубному просторі – вода

- Габаритні розміри:

Висота – 726 мм

довжина – 6770 мм

ширина – 425 мм

- Маса теплообмінника – 2130 кг

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Розрахунки на працездатність теплообмінника.

5.1. Технічне завдання.

Кожухотрубний теплообмінник двоходовий.

Процес охолодження субстрату у трубному просторі:

$$t_{c1} = 70\text{ }^{\circ}\text{C на вході}$$

$$t_{c2} = 36\text{ }^{\circ}\text{C на виході}$$

Витрата в сек:

$$G_{пт} = \frac{20}{3600} = 0,006 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Тиск у міжтрубному просторі $P_1 = 0,101\text{ МПа}$.

Процес нагрівання води у міжтрубному просторі:

$$t_{в1} = 15\text{ }^{\circ}\text{C на вході}$$

$$t_{в2} = 30\text{ }^{\circ}\text{C на виході}$$

Теплофізичні властивості

Для субстрату:

$$\rho = 1032,6\text{ кг/м}^3$$

$$c = 3912\text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\mu = 0,922 \cdot 10^{-3}\text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\lambda = 0,572\text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

Для води:

$$\rho = 999\text{ кг/м}^3$$

$$c = 4187\text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

$$\mu = 1155 \cdot 10^{-6}\text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\lambda = 0,587\text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

$$Pr = 8,27$$

5.2. Тепловий розрахунок.

Різниця температур на кінцях теплообмінника:

$$\Delta t_1 = t_{c1} - t_{B2} = 70 - 30 = 40^\circ\text{C} \quad (5.2.1)$$

$$\Delta t_2 = t_{c2} - t_{B1} = 36 - 15 = 21^\circ\text{C}$$

Розрахунок температурного напору.

$$\Delta t_c = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)} = \frac{40 - 21}{\ln \left(\frac{40}{21} \right)} = 25,489^\circ\text{C} \quad (5.2.2)$$

Для субстрату:

$$\Delta t_{cc} = \frac{t_{B1} + t_{B2}}{2} + \Delta t_c = 47,989^\circ\text{C} \quad (5.2.3)$$

Для води:

$$\Delta t_{BC} = \frac{t_{B1} + t_{B2}}{2} = 22,5^\circ\text{C} \quad (5.2.4)$$

Тепловий баланс теплообмінника:

$$G_c = G_{cm} \cdot \rho_{\Pi} = 0,006 \cdot 1032,6 = 5,737 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (5.2.5)$$

Теплове навантаження:

$$Q = G_c \cdot C_{p\Pi} (t_{c1} - t_{c2}) = 5,737 \cdot 3912 \cdot (70 - 36) = 7,63 \cdot 10^5 \text{ Вт} \quad (5.2.6)$$

Витрата води:

$$G_B = \frac{Q}{C_{p_B} (t_{B2} - t_{B1})} = \frac{7,63 \cdot 10^5}{4,187 \cdot 10^3 \cdot 15} = 12,149 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (5.2.7)$$

Характеристика труб:

$d_3 = 0,025$ м – зовнішній діаметр труб.

Товщина стінки: $\delta_{CT} = 0,002$ м.

Внутрішній діаметр: $d_{BH} = 0,025 - 0,002 \cdot 2 = 0,0021$ м

Матеріал – 10X17H13M2T:

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$\lambda_{\text{л}} = 17 \frac{\text{В}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}}$$

5.2 Розміри теплообмінника.

Приблизний коеф. теплопередачі:

$$k_{\text{ор}} = 900 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}} \right)$$

Приблизна площа теплообмінника:

$$F_{\text{ор}} = \frac{Q}{k_{\text{ор}} \cdot \Delta t_c} = \frac{7,63 \cdot 10^5}{900 \cdot 25,489} = 33,2 \text{ м}^2 \quad (5.2.8)$$

Приблизну швидкість води у трубах приймаємо $W_{\text{в.ор}} = 0,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Оскільки теплообмінник двоходовий, рахуємо довжину труб для нього та їх кількість через одноходовий.

Кількість труб для одноходового:

$$n = 4 \frac{G_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} \cdot W_{\text{в.ор}} \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2} = 4 \frac{12,149}{999 \cdot 0,6 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2} = 58,54 \text{ шт.} \quad (5.2.9)$$

Приблизна довжина труби:

За стандартами найбільш підходящою є $n_{\text{тр}} = 100$ шт. та внутрішній діаметр обичайкт $D_{\text{вн}} = 0,4$.

5.3. Встановлення сегментованих перегородок.

Рисунок

(5.3,1)

Беремо загальні співвідношення для перегородок:

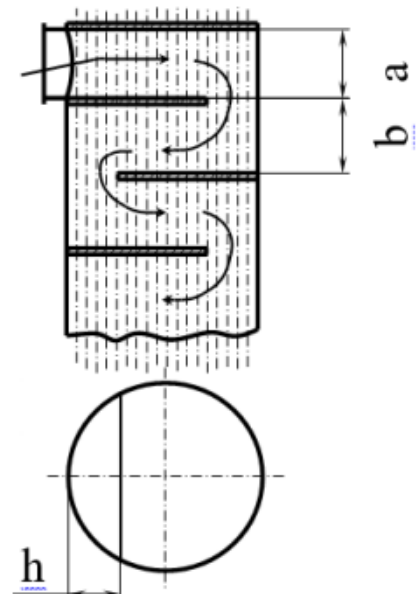
$$a = b = 0,8 \times D_{\text{вн}} = 0,8 \times 0,4 = 0,32 \text{ м} \quad (5.2.10)$$

$$h = 0,4 \times D_{\text{вн}} = 0,4 \times 0,4 = 0,16 \text{ м} \quad (5.2.11)$$

Площа розрахункового вільного міжтрубного простору для проходження води:

$$S_{\text{вн}} = D_{\text{вн}}^2 - \pi \frac{d_3^2}{4} n_{\text{тр}} = 0,4^2 - 3,14 \cdot \frac{0,025^2}{4} 100 = 0,020 \text{ м}^2 \quad (5.2.12)$$

Швидкість в міжтрубному просторі:



$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot S_{BH}} = \frac{12,149}{999 \cdot 0,020} = 0,608 \frac{м}{с} \quad (5.2.14)$$

Уточнення швидкості в трубах.

Загальна площа всіх труб:

$$S_{тр} = \pi \frac{d_{BH}^2}{4} \cdot \frac{n_{тр}}{2} = 3,14 \frac{0,021^2}{4} \cdot \frac{100}{2} = 0,017 м^2 \quad (5.2.15)$$

Швидкість:

$$w_c = \frac{G_c}{\rho_c \cdot S_{тр}} = \frac{5,737}{1032,6 \cdot 0,017} = 0,327 \frac{м}{с} \quad (5.2.16)$$

Уточнення коеф. теплопередачі.

Число Рейнольдса:

$$Re_B = \frac{w_B \cdot d_{екв} \cdot \rho_B}{\mu_B} = \frac{0,6 \cdot 0,034 \cdot 999}{1115 \cdot 10^{-6}} = 1,788 \cdot 10^4 \quad (5.2.17)$$

Критерій Прандля:

$$Pr_B = 8,27$$

5.4. Температура стінки

$$\Delta t_{ст} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Критерій Нуссельта для води:

$$Nu = 0,23 \cdot Re_B^{0,8} \cdot Pr_B^{0,4} \left(\frac{Pr_B}{Pr_{стп}} \right)^{0,25} = 141,25 \quad (5.2.18)$$

Коеф. теплопередачі в міжтрубному просторі:

$$\alpha_B = \frac{Nu_B \cdot \lambda_B}{D_{екв}} = \frac{141,25 \cdot 58 \cdot 10^{-2}}{0,034} = 2439 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ\text{C}} \quad (5.2.19)$$

Число Рейнольдса для субстрату:

$$Re_c = \frac{w_c \cdot d_{BH} \cdot \rho_c}{\mu_c} = \frac{0,327 \cdot 0,021 \cdot 1032,6}{0,922 \cdot 10^{-3}} = 7,686 \cdot 10^3 \quad (5.2.20)$$

Критерій Прандля для субстрату:

$$Pr_c = \frac{c_{p,c} \mu_c}{\lambda_c} = \frac{3912 \cdot 0,922 \cdot 10^{-3}}{0,572} = 6,306 \quad (5.2.21)$$

Критерій Нуссельта для субстрату:

$$Nu = 0,023 \cdot Re_c^{0,8} \cdot Pr_c^{0,4} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} = 60,268 \quad (5.2.22)$$

Коеф. теплопередачі в трубах:

$$\alpha_c = \frac{Nu_c \cdot \lambda_c}{d_{BH}} = \frac{60,268 \cdot 0,572}{0,021} = 1642 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ\text{C}} \quad (5.2.23)$$

Відповідно до стандарту приймемо теплопровідність з сторони 12% субстрату $1/r_{забр1} = 1400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, теплопровідність з боку холодної технічної води $1/r_{забр2} = 1900 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$

Зашальний термічний опір стінки та забруднень

$$\sum r_{cm} = \frac{1}{\frac{1}{r_{забр1}} + \frac{\delta}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{r_{забр2}}} = \frac{1}{1400 + \frac{0,002}{17,5} + 1900} = 3,03 \cdot 10^{-4} \quad (5.2.24)$$

Коеф. теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} = 577,412 \quad (5.2.25)$$

Площа поверхні теплообміну:

$$F_{розр.} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_c} = \frac{7,63 \cdot 10^5}{577,412 \cdot 25,48} = 56,914 \text{ м}^2 \quad (5.2.26)$$

Запас площі теплообміну:

$$\Delta = \frac{|F_{розр.} - F_{ор}|}{F_{розр.}} \cdot 100 = \frac{56,914 - 33,2}{56,914} \cdot 100 = 41,66\% \quad (5.2.27)$$

5.4 Розрахунок на міцність.

Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість

Розрахункова температура

Для визначення розрахункової температури розподільної камери (t^*_k , °С) використовується наступна формула:

$$t_{кам} = 2t_m - t_k = 2 \cdot 70 - 50 = 90(^{\circ}\text{C})$$

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

Ми приймаємо, що розрахункова температура ізольованих апаратних фланців та фланців штуцерів розподільної камери теплообмінника дорівнює температурі самої розподільної камери, тобто:

$$t_{\phi} = t_{\text{кам}} = 90^{\circ}\text{C}$$

Ми використовуємо розрахункову температуру для визначення температури болтів фланцевих з'єднань корпусів та фланців штуцерів розподільної камери:

$$t_6 = 0,97t_{\text{кам}} = 0,97 \cdot 90 = 87,3(^{\circ}\text{C})$$

Ми використовуємо розрахункову температуру для визначення температури болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

$$t_6 = 0,97t_k = 0,97 \cdot 50 = 48,5(^{\circ}\text{C})$$

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

Допустимі напруження.

Таблиця 5.1

Допустимі напруження матеріалів елементів теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напруження, МПа		Відношення допустимих напружень $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20 °C $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі $[\sigma]$	
Кожух	10X17H13M2T	184	178	1,033
Трубна решітка	10X17H13M2T	184	178	1,033
Труби	10X17H13M2T	184	178	1,033
Фланці апаратні	10X17H13M2T	184	178	1,033
Фланці штуцерів трубного простору	10X17H13M2T	184	178	1,033
Фланці штуцерів кожуха	Сталь 20	147	144	1,02
Болти та гайки апаратних фланців та штуцерів	Сталь 20	147	144	1,02

трубного простору				
Болти фланцевих з'єднань штуцерів кожуха	Сталь 20	147	144	1,02
Гайки фланцевих з'єднань штуцерів кожуха	Сталь 20	147	144	1,02

Пробний тиск, при випробування апарата, визначаємо за формулою.

$$P_{\text{пр}} = 1,25P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$$

Відношення $\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$ обираємо із використовуваних матеріалів елементів всіх порожнин апарата, для яких воно є найменшим.

Для трубного простору при найменшому відношенні і допустимих напружень $\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,154$ пробний тиск складає.

$$P_{\text{пр.т}} = 1,25P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 1,033 = 2,06 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при якому відбувається випробування трубного простору теплообмінника складає

$$P_{\text{г.тр}} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H_{\text{с}} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,55 = 1,51 \cdot 10^{-2} \text{ МПа}$$

де $H_{\text{с}}$ – висота стовпа води у трубному просторі (відстань між фланцями штуцерів у розподільній камері)

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{\text{г.тр}} = 0,015 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{\text{г.тр}} = 0,05 \cdot 2,3 = 0,10 \text{ МПа}$$

складає менше 5% від пробного, отже за розрахунковий тиск в умовах випробувань приймаємо пробний

$$P_{\text{пр.т}} = 2,06 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{\text{i.т}} = 2,06 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_{\text{м}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot 1,033 = 2,23 \text{ МПа}$$

виконується, отже потреби в розрахунках елементів трубного простору в умовах гідравлічного випробувань немає.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

Для міжтрубного простору при відношенні допустимих напружень

$$\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,033 \text{ пробний тиск складає.}$$

$$P_{\text{к.пр}} = 1,25 \cdot P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 1,033 = 2,06$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{\text{г.тр}} = \rho_v \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,57 = 0,015 <$$

$$< 0,05 \cdot P_{\text{к.пр}} = 0,05 \cdot 2,06 = 0,1 \text{ МПа}$$

складає менше 5% від пробного, тому за розрахунковий тиск в умовах випробувань приймаємо пробний

$$P_{\text{к.пр}} = 2,06 \text{ МПа}$$

Вимога

$$P_{\text{і.к}} = 2,06 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot 1,033 = 2,23 \text{ МПа}$$

виконується, отже потреби в розрахунках елементів міжтрубного простору в умовах гідравлічних випробувань немає.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Коефіцієнти міцності зварних швів

Трубні і міжтрубні простори теплообмінника за розрахунковим тиском, температурою та особливостями робочого середовища відноситься до 1 групи посудин, для яких довжина контрольованих зварних швів складає 100 % від їх загальної довжини. Для стикових зварних швів з двобічним повним проваром, зроблених автоматичним зваренням, коефіцієнт міцності зварних швів приймаємо рівним $\varphi_p = 1,0$.

Для стикових (кільцевих) швів, які можуть бути зваренні лише з однієї сторони та мають в процесі зварення металеву підкладку з боку кореня шва, яка прилягає по всій довжині шва до основного металу, при контрольованій довжині швів 100 %, коефіцієнт міцності зварних кільцевих швів кожуха приймаємо рівним $\varphi_m = 1,0$.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

Добавки до розрахункових величин

Формула суми добавок до розрахункових величин визначаємо за:

$$C = C_1 + C_2$$

, де C_1 – добавка для компенсації корозії та ерозії, мм;

C_2 – добавка для компенсації мінусового допуску, мм.

Добавку для компенсації корозії та ерозії C_1 розраховуємо за формулою:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau \cdot C_e$$

де Π – швидкість проникнення корозії, мм/рік; τ – розрахунковий строк служби теплообмінника, років; C_e – добавка для компенсації ерозії, мм.

Добавку для компенсації ерозії не враховуємо, приймаючи, що теплообмінник працює з чистими рідкими середовищами (без твердих абразивних частинок).

Швидкість проникнення корозії для матеріалу міжтрубного простору приймаємо $\Pi_k = 0,05$ мм/рік, а трубного – $\Pi_m = 0$ мм/рік.

Добавка для компенсації корозії складає:

для труб з боку трубного та міжтрубного просторів

$$C_{1m} = 0 \text{ мм};$$

для кожуха

$$C_{1k} = \Pi_k \cdot \tau = 0,05 \cdot 25 = 1,25 \text{ мм}$$

Добавку для компенсації мінусового допуску C_2 , мм, приймаємо за стандартом.

Розрахунок кожуха теплообмінника

Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки кожуха теплообмінника

Розрахункову товщину стінки кожуха від дії внутрішнього тиску визначаємо за формулою:

$$S_{pk} = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_p - P_k}$$

P_k - розрахунковий тиск у міжтрубному просторі теплообмінника при розрахунковій температурі, МПа;

D - внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

φ_p - коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів.

$$S_{pk} = \frac{1,6 \cdot 400}{2 \cdot 178 \cdot 1 - 1,6} = 1,8 \text{ мм}$$

Відповідно до галузевого стандарту виконавчу товщину стінки кожуха приймаємо рівною $S_k = 6$ мм. Додаток для компенсації мінусового допуску для сталевих листів товщиною 6 мм складає $C_2 = 0,6$ мм. Додаток

$$C_2 = 0,6 > 0,05 \cdot S = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ мм}$$

враховуємо, так як перевищує 5% від номінальної товщини листа.

Сума додатків до розрахункової товщини стінки кожуха складає

$$C_k = C_{1k} + C_{2k} = 0,6 + 1,25 = 1,85 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо за формулою

$$S_k \geq S_{pk} + C_k = 6 + 1,85 = 7,85 \text{ мм}$$

Остаточно приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха рівною $S_k = 8$ мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск в кожусі визначаємо за формулою

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 178 \cdot 1 \cdot (8 - 1,85)}{400 + (8 - 1,85)} = 5,39 \text{ МПа}$$

Умова міцності

$$P_K = 1,6 \leq [P]_K = 5,39 \text{ МПа}$$

виконується.

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{8 - 2,88}{400} = 0.012 \leq 0.1$$

виконується.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
						39

Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки розширника

Розрахункову товщину стінки обичайки розширника від дії внутрішнього надлишкового тиску розраховуємо за формулою:

$$S_{p \text{ рш}} = \frac{P_k \cdot D_p}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_p - P_k} = \frac{1,6 \cdot 500}{2 \cdot 178 \cdot 1 - 1,6} = 2,257 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки розширника складає

$$S_{\text{рш}} \geq S_{p \text{ рш}} + C_{\text{рш}} = 1,85 + 2,257 = 4,01 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки розширника рівною товщині стінки кожуха $S_{\text{рш}} = 8 \text{ мм}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск розширника

$$[P]_{\text{рш}} = \frac{2[\sigma]\varphi_p(S_{\text{рш}} - C_{\text{рш}})}{D_p + (S_{\text{рш}} - C_{\text{рш}})} = \frac{2 \cdot 178 \cdot 1 \cdot (8 - 1,85)}{500 + (8 - 1,85)} = 4,32 \text{ МПа}$$

Умова міцності

$$P_k = 1,6 \leq [P]_{\text{рш}} = 4,32 \text{ МПа}$$

виконується

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{S_{\text{рш}} - C_{\text{рш}}}{D_p} = \frac{8 - 1,85}{500} = 0,012 \leq 0,1$$

виконується

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

Визначення товщини трубної решітки

Товщину трубної решітки приймаємо рівною 20 мм із наступною перевіркою на міцність та жорсткість.

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою:

$$P = \max\{P_m; P_k; (P_m - P_k)\} = \max\{1,6; 1,6; (1,6 - 1,6)\} = 1,6 \text{ МПа}$$

Розрахункову товщину трубної решітки за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо за формулою (7.2)

$$S_{pp} = 0,5 \cdot D_e \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_p}} = 0,5 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{1,6}{184}} = 0,93 \text{ мм.}$$

де D_e – діаметр окружності, яка вписана в максимальну безтрубну зону , визначаємо конструктивно.

Виконавчу товщину трубної решітки за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо за формулою

$$S_p \geq S_{pp} + C_p = 0,93 + 1,85 = 2,7 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт ослаблення трубної решітки визначаємо за формулою

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_0}{t_p} = 1 - \frac{25,25}{32} = 0,210$$

де величини розмірів t_p , t_n , d_0 визначаємо з таблиці 5.2

Зовнішній діаметр труби d_m	Крок роз- ташування отворів в решітці t_p	Крок роз- ташування отворів в зоні паза t_n	Діаметр отвору в решітці d_0			
			Клас точності з'єднання труба-трубна решітка			
			1	2	3	4
20	26	45	20,15	20,25	20,35	20,50

25	32	55,4	25,15	25,25	25,35	25,50
----	----	------	-------	-------	-------	-------

Табл. 5.2

Розрахункову товщину трубної решітки в перерізі канавки під подовжню перегородку визначаємо за формулою

$$\begin{aligned}
 S_{np} &= S_{pp} \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_n} \left(\frac{t_n}{t_p} - 1 \right)}; \sqrt{\varphi_p} \right\} = \\
 &= 0,93 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{25,25}{8} \left(\frac{55,4}{32} - 1 \right)}; \sqrt{0,210} \right\} = \\
 &= 0,93 \cdot \max \{-1,3; 0,458\} = 0,42
 \end{aligned}$$

Товщина трубної решітки в перерізі під подовжню перегородку в розподільній камері має бути не менше

$$S_n \geq S_{np} + C_p = 0,42 + 1,85 = 2,27 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань приймаємо товщину трубної решітки в перерізі канавки під подовжню перегородку в розподільній камері рівною 3 мм.

Визначення допоміжних величин

Відстань від осі кожуха до осі найбільш віддаленої труби визначаємо за формулою

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$a_1 = 0,5(D_0 - d_m)$$

D_0 – діаметр окружності, за межу якої не повинні виступати теплообмінні труби.

$$a_1 = 0,5(392 - 25) = 183,5 \text{ мм}$$

Відносну характеристику краю трубної решітки визначаємо за формулою:

$$m_n = 0,5 \cdot \frac{D}{a_1} = 0,5 \cdot \frac{400}{183,5} = 1,08$$

Коефіцієнти впливу тиску на трубну решітку визначаємо за формулами

$$\eta_k = 1 - \frac{i \cdot d_m^2}{4 \cdot a_1^2} = 1 - \frac{100 \cdot 25^2}{4 \cdot 183,5^2} = 0,46$$

$$\eta_m = 1 - \frac{i \cdot (d_m - 2 \cdot S_m)^2}{4 \cdot a_1^2} = 1 - \frac{100 \cdot (25 - 2 \cdot 3)^2}{4 \cdot 183,5^2} = 0,74$$

Коефіцієнт жорсткості трубної решітки визначаємо за формулою:

$$\psi_0 = \eta_m^{2,33} = 0,74^{2,33} = 0,49$$

Модуль пружності основи (системи труб) визначаємо за формулою:

$$K_y = \frac{2 \cdot E_m \cdot (\eta_m - \eta_k)}{l} = \frac{2 \cdot 178 \cdot 10^3 \cdot (0,74 - 0,46)}{6000} = 16,61$$

Зведене відношення жорсткості труб до жорсткості кожуха розраховуємо за формулою:

$$\rho = \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{2 \cdot E_k \cdot S_k} = \frac{16,61 \cdot 183,5 \cdot 6000}{2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 8} = 5,71$$

Значення коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів кожуха α_k і труб α_t приймаємо за нормативним документом.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

Різницю у видовженні кожуха і труб в робочих умовах, яку необхідно скомпенсувати, визначаємо за формулою:

$$\Delta = l \cdot (a_k(t_k - t_0) - a_m(t_m - t_0)) =$$

$$= 6000 \cdot (11,8 \cdot 10^{-6}(70 - 20) - 17 \cdot 10^{-6}(70 - 20)) = 1,56 \text{ мм}$$

Табл 5.3

D у, мм	Компенсуюча здібність однієї лінзи, мм						Жорсткість компенсатора, Ca , Н				
	Загальне число циклів навантаження компенсатора N										
	1000		2000								
	Умовний тиск Py , МПа										
	0,6	1,0	1,6	0,6	1,0	1,6	0,6	1,0	1,6		
400	9,0	5,5	4,3	7,5	4,5	3,6	41150	40800	68600		
500	10,5			9,0			4,5	3,6	51860	45690	77350
600									57620	51260	86780
800									68990	63400	107700
1000									80780	75500	130200
1200									92510	87650	152600

За додатком Б визначаємо компенсуючу здатність однієї лінзи компенсатора при загальному числі циклів навантаження $N = 10^3$, $\Delta_{\text{л}} = 4,3$ мм

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{л}} = \frac{\Delta}{\Delta_{\text{л}}} = \frac{1,56}{4,3} = 0,36$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа, тобто $n_{\text{л}} = 0$.

Жорсткість компенсатора визначаємо за додатком Б, $C_a = 68600$ Н

Коефіцієнт жорсткості компенсатора визначаємо за формулою:

$$K_k = \frac{C_a}{n_a \cdot \Delta_{\text{л}}} = \frac{68600}{1 \cdot 4,3} = 15953,48 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Внутрішній діаметр западини хвилі компенсатора визначаємо за формулою

$$d_k = d_h - 2 \cdot S_{\text{л}} = 408 - 2 \cdot 4 = 400 \text{ мм}$$

де d_h – зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора (додаток А), $d_h = 408$ мм

Коефіцієнти K_q і K_p розраховуємо за формулами:

$$K^*_q = \frac{\pi \cdot D \cdot E_k \cdot S_k}{l \cdot K_k} = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 8}{6000 \cdot 15953,48} = 20,99$$

$$K^*_p = -\frac{\pi \cdot (D_{\text{л}}^2 - d_{\text{к}}^2) \cdot E_k \cdot S_k}{1,2 \cdot D \cdot l \cdot K_k} = \frac{-3,14 \cdot (558^2 - 400^2) \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 8}{1,2 \cdot 400 \cdot 6000 \cdot 15953,48} = -16,55$$

Коефіцієнт β_p обчислюємо за формулою:

$$\beta_p = \frac{400}{500} = 0,8$$

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

Коефіцієнти B_{p2} A_{p2} , A_{p1} , B_{p1} , визначаємо за формулами:

$$A_{p1} = 0,002 - 13,025 \lg(\beta_p) = 0,002 - 13,025 \lg(0,97) = 1,264$$

$$A_{p2} = 2,1 + \beta_p = 2,1 + 0,8 = 2,9$$

$$B_{p1} = -(10^{2,08-2,2\beta}) = -(10^{2,08-2,2 \cdot 0,8}) = -2,08$$

$$B_{p2} = (10^{1,6-2,414\beta}) = (10^{1,6-2,414 \cdot 0,97}) = 0,46$$

Коефіцієнти K_q^{**} і K_p^{**} для розширників розраховуємо за формулами:

$$K_q^{**} = \frac{n_p}{l} \left(D \cdot \left(A_{p1} + A_{p2} \cdot \sqrt{\frac{D_1}{S_k}} \right) (1 - \beta_p) L_p \right) =$$

$$= \frac{1}{6000} \left(400 \cdot \left(1,264 + 2,9 \cdot \sqrt{\frac{500}{8}} \right) (1 - 0,8) \cdot 960 \right) = 309,63$$

$$K_p^{**} = -\frac{n_p \cdot D}{l} \left(B_{p1} + B_{p2} \sqrt{\frac{D_1}{S_k}} \right) =$$

$$= -\frac{1 \cdot 400}{6000} \left(-2,08 + 0,46 \sqrt{\frac{500}{8}} \right) = -0,10$$

Коефіцієнти змінення жорсткості системи труби-кожух визначаємо за формулами:

$$K_q = 1 + K_q^* + K_q^{**} = 1 + 20,99 + 309,63 = 331,62$$

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$K_p = 1 + K_p^* + K_p^{**} = 1 - 16,55 - 0,10 = -15,65$$

Безрозмірний коефіцієнт m_{cp} розраховуємо за формулою:

$$m_{cp} = 0,15 \frac{i \cdot (d_m - S_m)^2}{a_1^2} = 0,15 \frac{100 \cdot (25 - 3)^2}{183,5^2} = 39,56$$

де i – число труб в трубній решітці.

Зведений тиск визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} P_0 &= 0,5(a_k(t_k - t_0) - a_m(t_m - t_0))K_y \cdot l + \\ &+ (\eta_m - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0,5 \cdot \rho \cdot K_q)) \cdot P_m - \\ &- (\eta_k - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0,3 \cdot \rho \cdot K_p)) \cdot P_k = \\ &= 0,5(11,8 \cdot 10^{-6}(70 - 20) - 17 \cdot 10^{-6}(70 - 20))16,61 \cdot 6000 + \\ &+ (0,74 - 1 + 39,56 + 1,08 \cdot (1,08 + 0,5 \cdot 5,71 \cdot 331,62)) \cdot 1,6 - \\ &- (0,46 - 1 + 39,56 + 1,08 \cdot (1,08 + 0,3 \cdot 5,71 \cdot (-15,65))) \cdot 1,6 \\ &= 1679,555 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Коефіцієнт системи решітка-труби розраховуємо за формулою:

$$\beta = \frac{1,82}{S_p} \sqrt{\frac{K_y \cdot S_p}{\psi_0 E_p}} = \frac{1,82}{8} \sqrt{\frac{16,61 \cdot 8}{0,49 \cdot 200 \cdot 10^3}} = 0,043$$

Коефіцієнти системи кожух-решітка і обичайка-фланець камери β_1 і β_2 визначаємо за формулами:

$$\beta_1 = \frac{1,84}{\sqrt{D \cdot S_1}} = \frac{1,84}{\sqrt{400 \cdot 8}} = 0,032$$

$$\beta_2 = \frac{1,84}{\sqrt{D \cdot S_2}} = \frac{1,84}{\sqrt{400 \cdot 8}} = 0,032$$

Радіуси центрів ваги тарілок фланців кожуха і розподільної камери розраховуємо за формулою:

$$R_1 = R_2 = 0,25(D_H + D) = 0,25(500 + 400) = 225 \text{ мм}$$

а ширини фланців – за формулою

$$b_1 = b_2 = 0,5(D_H - D) = 0,5(500 - 400) = 25 \text{ мм}$$

де D_H - зовнішній діаметр фланця.

Коефіцієнти K_1 і K_2 обчислюємо за формулами:

$$K_1 = \frac{\beta_1 \cdot D \cdot E_k \cdot S_1^3}{11 \cdot R_1} = \frac{0,032 \cdot 400 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 8^3}{11 \cdot 225} = 5,29 \cdot 10^5$$

$$K_2 = \frac{\beta_2 \cdot D \cdot E_k \cdot S_2^3}{11 \cdot R_2} = \frac{0,032 \cdot 400 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 8^3}{11 \cdot 225} = 5,29 \cdot 10^5$$

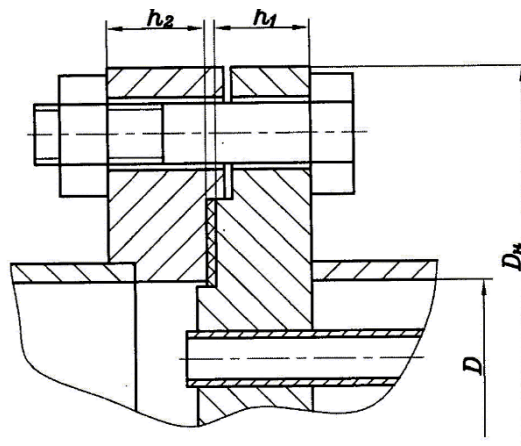


Рис. 5.2.

Товщини фланців трубного пучка і розподільної камери (рисунок В.2) складають відповідно $h_1 = 35$ мм, $h_2 = 30$ мм.

$$K_{\phi 1} = \frac{E_1 h_1^3 b_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \left(1 + \frac{\beta_1 h_1}{2} \right) =$$

$$= \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 35^3 \cdot 25}{12 \cdot 225^2} + 5,29 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,032 \cdot 35}{2} \right) = 11,78 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$K_{\phi 2} = \frac{E_2 h_2^3 b_2}{12 \cdot R_2^2} + K_2 \left(1 + \frac{\beta_2 h_2}{2} \right) =$$

$$= \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 30^3 \cdot 25}{12 \cdot 225^2} + 5,29 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,032 \cdot 30}{2} \right) = 10,05 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання при згині розраховуємо за формулою:

$$K_{\phi} = K_{\phi 2} + K_{\phi 1} = 11,78 \cdot 10^5 + 10,05 \cdot 10^5 = 2,18 \cdot 10^6$$

Коефіцієнти впливу тиску на згин фланців розраховуємо за формулами:

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 h_1}{2\beta_1^2} = \frac{1 + 0,032 \cdot 35}{2 \cdot 0,032^2} = 1035 \text{ мм}^2$$

$$m_2 = \frac{1 + \beta_2 h_2}{2\beta_2^2} = \frac{1 + 0,032 \cdot 30}{2 \cdot 0,032^2} = 957 \text{ мм}^2$$

Зведене відношення жорсткості труб до жорсткості фланцевого з'єднання розраховуємо за формулою:

$$\rho_1 = \frac{K_y \cdot D \cdot a_1}{2 \cdot \beta^2 \cdot K_{\phi} \cdot R_1} = \frac{16,61 \cdot 400 \cdot 183,5}{2 \cdot 0,043^2 \cdot 2,18 \cdot 10^6 \cdot 225} = 0.67$$

Таблиця 5.3

<i>a</i>	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	>10
Φ1	6,19	7,65	9,08	10,51	11,94	13,36	14,7	$\sqrt{2} \cdot a$
Φ2	4,13	5,13	6,15	7,17	8,19	9,20	10,21	<i>a</i>

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

Φ3	6,03	7,38	8,81	10,24	11,66	13,08	14,50	$\sqrt{2} \cdot a$
----	------	------	------	-------	-------	-------	-------	--------------------

Значення коефіцієнтів Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , визначаємо за таблицею 5.3 залежно від параметра ω , який розраховуємо за формулою:

$$\omega = \beta \cdot a_1 = 0,043 \cdot 183,5 = 8$$

$$\Phi_1 = \sqrt{2} \cdot a = 11,31; \Phi_2 = a = 8; \Phi_3 = \sqrt{2} \cdot a = 11,31$$

Значення коефіцієнтів T_1 , T_2 , T_3 , визначаємо за формулами, якщо:

$$t = (1 + 1,41\omega(m_n - 1)) = 1 + 1,41 \cdot 8(1,08 - 1) = 1,9$$

$$T_1 = \Phi_1 \cdot (m_n + 0,5(1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)) =$$

$$= 11,31 \cdot (1,08 + 0,5(1 + 1,08 \cdot 1,9) \cdot (1,9 - 1)) = 27,74;$$

$$T_2 = \Phi_2 \cdot t = 8 \cdot 1,9 = 15,2; T_3 = \Phi_3 \cdot m_n = 11,31 \cdot 1,08 = 12,21$$

5.5 Гідравлічний розрахунок теплообмінника.

Цей розрахунок потрібний для визначення потужності насосів апарата.

Коефіцієнт тертя для ізотермічного турбулентного руху:

$$\lambda_1 = \frac{4 + 6,6 \cdot 0,35 \frac{D}{d_3}}{\text{Re}_1^{0,28}} = \frac{4 + 6,6 \cdot 0,35 \frac{0,4}{0,025}}{(17800)^{0,28}} = 2,64$$

$$\lambda_2 = \frac{0,3164}{\text{Re}_2^{0,25}} = \frac{0,3164}{(7,600 \cdot 10^3)^{0,25}} = 0,033$$

Приймаємо слідуєчи місцеві опори на шляху води:

$$\xi_1 = (1,5 + 1,5 + 1) \cdot 4 = 16$$

Приймаємо слідуєчи місцеві опори на шляху руху субстрат:

$$\xi_2 = 1,5 \cdot 2 + (0,5 + 1) \cdot n = 153$$

Знаходимо повний гідравлічний опір:

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$\Delta p_1 = 32140 \text{ Па}$$

$$\Delta p_2 = 16070 \text{ Па}$$

Потужність, що потрібна для переміщення теплоносія через апарат.

$$N_1 = \frac{G_1 \cdot \Delta p_1}{\eta \cdot \rho_1} = \frac{12,149 \cdot 32140}{0,8 \cdot 999} \approx 488,574 \text{ Вт}$$

$$N_2 = \frac{G_2 \cdot \Delta p_2}{\eta \cdot \rho_2} = \frac{5,737 \cdot 16070}{0,8 \cdot 1032} = 111,668 \text{ Вт}$$

де $\eta = 0,8$ – коефіцієнт корисної дії вентилятора та насоса.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

5.6 Розрахунок розмірів елементів деталей, складальних одиниць, кріпильних засобів та перевірка їх на міцність.

Рисунок 5. Обрана кришка з розмірами.

Реакція опор горизонтального апарату, встановленого на двох сідлових опорах,

$$Q = 0,5G = 11 \cdot 10^3 H,$$

де G - найбільша з сил тяжіння апарату в робочому режимі або при гідравлічному випробуванні.

Міцність кутових зварних швів, що з'єднують ребра опор з корпусом апарату, перевіряють за умовою

$$\frac{Q}{(0.7kl_u)} \leq [\tau],$$

умова міцності виконується.

Де k - катет зварного шву, l_u - загальна довжина швів, $[\tau] = 0.6\varphi[\sigma]$ - допустиме напруження для матеріалу швів, φ - коефіцієнт міцності зварного шву (0.8-1), $[\sigma]$ - допустиме нормальне напруження в матеріалі опор при розрахунковій температурі.

Довжина опори що контактує з фундаментом 130 мм. В кожній присутні 2 отвори по 30 мм в діаметрі.

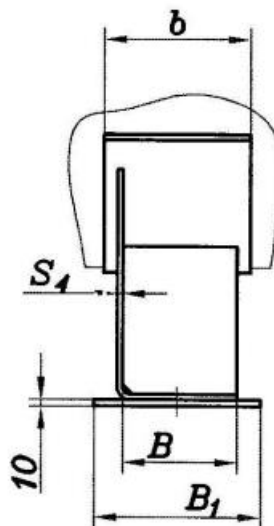


Рисунок 5.3 Обраний тип опори апарату. Сідлова опора *Опора 25-214-2 ОСТ 26-2091-93*

					Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	52

5.7 Комп'ютерне моделювання кожухотрубного теплообмінника.

Для моделювання та дослідження кожухотрубного теплообмінника використовувалася автоматизована система проектування «SOLIDWORKS» з використанням передбачених конструктивних параметрів.

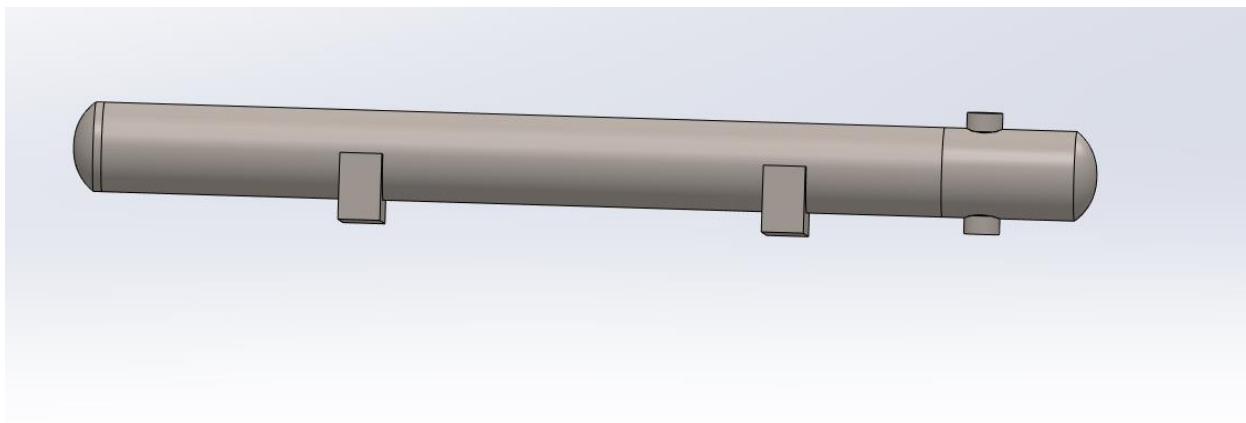


Рис.5.4 Загальний вигляд трьохвимірної моделі кожухотрубного теплообмінника.

Згідно з умовами, при яких проходить охолодження субстрату, задаємо наступні сили, що впливають на досліджуване обладнання:

Робоча температура: $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Робочий тиск (враховуючи гідравлічний тиск): $P_R = 1,6\text{ МПа}$;

У якості матеріалу досліджуваного ферментеру була прийнята сталь, аналогічна за характеристиками до сталі 10X17H13M2T – сталь марки AISI 317 (США).

Результати дослідження зображені на рисунках 5.5;5.6 .

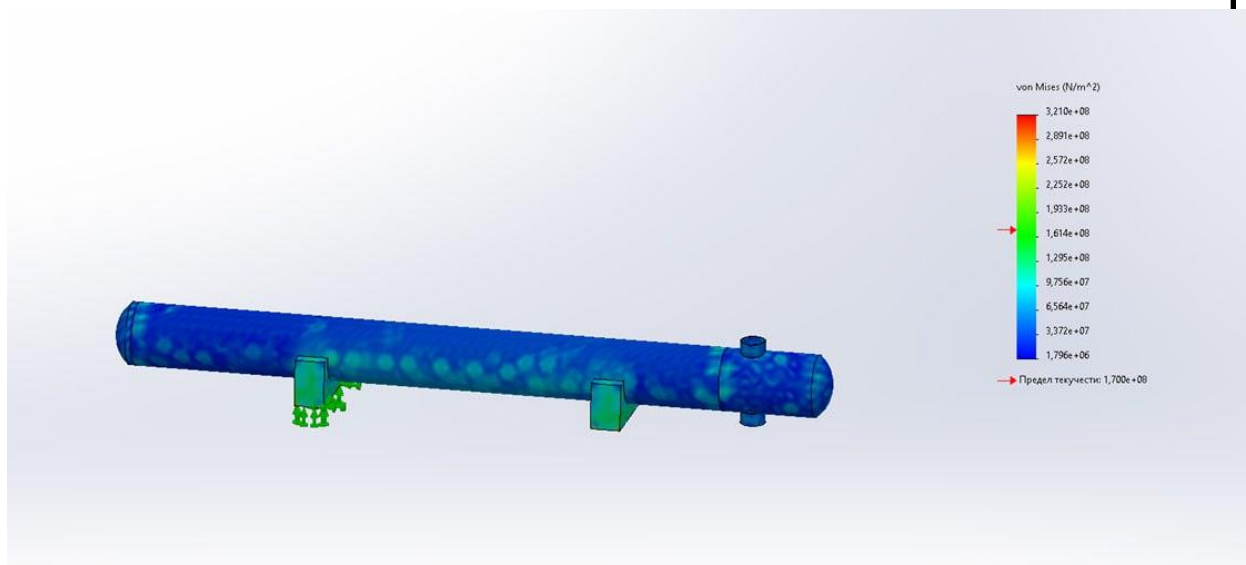


Рис.5.5 Епюра напружень.

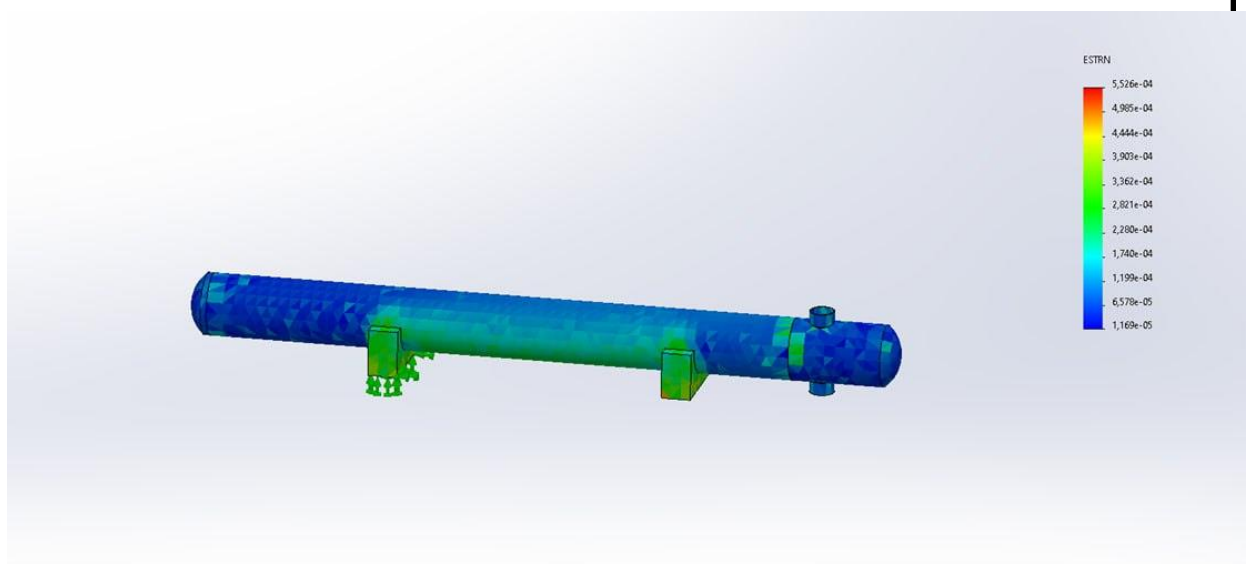


Рис.5.6 Епюра деформацій (деформований результат).

Дослідження у програмному забезпеченні SolidWorks підтверджує, що кожухотрубний теплообмінник є працездатним при заданих умовах. Зокрема, результати показують, що кожухотрубний теплообмінник може безпечно функціонувати за встановленого внутрішнього тиску та температури, які забезпечують ефективне охолодження субстрату. Використання SolidWorks дозволило провести детальний аналіз ферментера, враховуючи фізичні властивості матеріалів, механічні та термодинамічні фактори.

6. Стандартизація та уніфікація.

6.1. Переваги стандартних виробів.

Використання стандартних та уніфікованих деталей у апаратах має низку переваг, які суттєво впливають на економію, спрощення ремонту та зменшення часу обслуговування обладнання. Деталі є взаємозамінними і не вимагають спеціального обладнання для монтажу. В подальших розділах будуть детальніше розглянуті ці переваги.

Однією з головних переваг використання стандартних та уніфікованих деталей є зниження витрат. Масове виробництво дозволяє економити на виготовленні деталей. Крім того, стандартизація спрощує логістику та постачання, оскільки можна легко замовляти великі партії деталей без затримок. Це також допомагає скоротити час доставки та знизити витрати на транспортування.

Другою важливою перевагою є спрощення процесу ремонту обладнання. З використанням стандартних та уніфікованих деталей, заміна пошкоджених компонентів стає значно простішою. Технічний персонал може легко виявити проблемну деталь та замінити її на нову без потреби замовлення спеціальних запасних частин або проведення складних налаштувань. Це дозволяє скоротити час, необхідний для проведення ремонтних робіт, і знизити витрати на оплату праці.

Третя перевага полягає в зменшенні часу, необхідного для обслуговування обладнання. Завдяки взаємозамінності стандартних деталей, ремонт апарату стає швидшим та ефективнішим. Технічний персонал може швидко виявити проблему, замінити пошкоджену деталь і повернути обладнання в робочий стан без зайвих затримок. Це особливо важливо у випадку, коли неполадки можуть призвести до значних збитків або зупинки

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

виробничого процесу. Використання стандартних та уніфікованих деталей також сприяє зниженню необхідного обладнання для монтажу. Завдяки стандартизованим розмірам та параметрам, ці деталі можуть бути легко встановлені без потреби в спеціальних інструментах або складних технологіях. Це спрощує процес монтажу, зменшує його вартість та дозволяє виробникам економити на спеціалізованому обладнанні.

6.2. Стандартні вироби що використовуються в роботі.

В роботі по розробці теплообмінника кожухотрубного було використано велика кількість стандартизованих деталей.

Для розробленого кожухотрубчастого теплообмінника було використано фланці приварні встик ГОСТ 12821-80, Днища 400-12 ГОСТ 6533-78, Болти М26х1,5-6gx65 ГОСТ 7795-70, Шайби С 26.37 ГОСТ 10450-78, Гайки М26х1,5-6Н ГОСТ 5915-70, Опора 25-214-2 ОСТ 26-2091-93, та труби 25х2 ГОСТ 8734-75, прокладки ГОСТ 15180-86.

Фланець приварні встик.

Вони були використані в різних діаметрів: 400 мм – для з'єднання з трубною решіткою; 150 мм – для штуцерів по яким буде заходити вода і повітря в площу теплообмінника.

Також до стандартних виробів належать труби з трубного пучка 25х2. Кількість труб в теплообміннику 100 шт.

6.3. Розрахунок на стандартизацію та уніфікацію.

Таблиця 6.1. Деталі та їх кількість.

№	Назва	Кількість	Стандартизована
1	Кришка	2	Так
2	Фланець 400	2	Так
3	Решітка	2	Ні
4	Перегородки сегментовані	16	Ні
5	Труби 25х2х6000	100	Так
6	Опори	2	Так
7	Фланець 150	4	Так
8	Болт	40	Так

9	Гайка	40	Так
10	Шайба	40	Так
11	Перегородка для розподіл. камери	1	Ні
12	Прокладка	2	Так

З наведеної вище таблиці можемо порахувати що всього деталей $n_{\text{заг}} = 251$, стандартних із них – $n_c = 232$. Тобто Коефіцієнт стандартизації складає:

$$K_c = \frac{n_c}{n_{\text{заг}}} = \frac{232}{251} = 0,924$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_c = \frac{n_y}{n_{\text{заг}-y}} = \frac{9}{12} = 0,75$$

де n_y – кількість унікальних стандартних деталей

$n_{\text{заг}-y}$ – загальна кількість унікальних деталей.

Узагальнено: Використання стандартних деталей в апаратах має численні переваги. Воно сприяє зниженню витрат, спрощенню процесу ремонту і скороченню часу, необхідного для обслуговування обладнання. Стандартні деталі легко взаємозамінюються і не потребують спеціальних інструментів для монтажу, що робить їх ефективними і зручними в експлуатації. Ці переваги дозволяють виробникам і користувачам отримувати більш ефективні та економічні рішення для своїх потреб у галузі обладнання та технологій.

7. Поради по експлуатації та монтажу кожухотрубного теплообмінника.

На підприємство постачаються великі блоки обладнання, оскільки монтаж і кріплення на місці вимагають високої точності та якості, що є неможливим або надзвичайно затратним. Це повністю неефективно з економічної точки зору. Кожухотрубні теплообмінники є великими горизонтальними пристроями, тому для їх транспортування по території цеху використовується мостовий кран з дотриманням правил безпеки та монтажу. При установці необхідно забезпечити горизонтальне положення. Для цього можуть використовуватись

методи, такі як застосування цементної підливки або підкладних листів для опор. Також важливо вибрати та встановити відповідні анкерні болти для фіксації пристрою. Під час монтажу трубопроводів слід перевірити відсутність сторонніх предметів у пристрої та зняти транспортні заглушки. Після монтажу проводяться випробування на міцність та стійкість. Обладнання повинно бути заземлене. Врахування умов експлуатації, таких як кліматичні фактори, категорії розміщення та групи умов експлуатації, сприяє ефективній роботі обладнання і продовжує його термін служби. Змонтоване обладнання піддається різноманітним перевіркам, включаючи гідравлічні та пневматичні випробування під навантаженням. Пробні пуски проводяться для перевірки роботи всіх вузлів та усунення неполадок. Теплообмінні пристрої можуть потребувати профілактичного очищення або ремонту, що може призвести до зменшення коефіцієнта тепловіддачі. Труби є особливо уразливими елементами кожухотрубних теплообмінників і часто стають причиною поломок. Рекомендується запасати площу теплообміну з урахуванням цього факту. Також можуть виникати проблеми з регулюванням конденсату, що може вплинути на площу теплообміну, причому зміни в площі теплообміну зазвичай не є лінійними.

Висновки

Даний дипломний проєкт був розроблений з метою закріплення теоретичних знань та отримання практичних навичок у проєктуванні та розрахунку апаратів, що використовуються у фармацевтичній, мікробіологічній та харчовій промисловості. Основним об'єктом дослідження в проєкті є лінія виробництва ітаконової кислоти, яка є поширеною та актуальною.

При виконанні проекту був спроектований двоходовий кожухотрубний теплообмінник для охолодження субстрату. Цей теплообмінник має декілька переваг. Кожухотрубні теплообмінники відрізняються стійкістю до

							Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			58

гідроударів, меншими вимогами до чистоти середовища, нижчим коефіцієнтом теплопередачі, що впливає на їхні габарити та площу, необхідну для обслуговування. Крім того, вони мають високу вартість через значну кількість використаного металу.

Проте, ремонт таких теплообмінників часто пов'язаний зі заміною пошкоджених трубок, що призводить до зменшення площі теплообміну. Тому зазвичай теплообмінники проектують з великим запасом поверхні, що також впливає на їхні габарити.

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

Література:

1. А.І. Дубинін, Р.І. Гаврилів, І.О. Гузьова «Процеси Та Апарати Хімічної Технології» К.: Видавництво Львівської політехніки – 35 с.
2. .орнієнко Я.М. «Процеси Та Обладнання Хімічної Технології» К.: НТУУ «КПІ», 2011р. –395 с. 2.Врагов А.П. «Теплообмінні Процеси Та Обладнання Хімічних І Газонафтопереробних Виробництв» К.: Видавництво «СумДУ», 2006 р.- 99 с. Мартыненко О.Г. Справочник по теплообменникам. Том 2. — Москва: Энготомиздат, 1987. - 349 с.
3. .В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. – К.НМК ВО, 1992 – 104 с. Мосичев М.С., Котов В.Б.,Общая технология микробиологических производств.
4. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии . Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. / Под ред. Ю. И. Дытнерского. - 2-е изд. перераб. и дополн. - М.: Химия, 1991.
5. .А. М. Задольський. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Київ, 2010 р. – 27 с. Фланцы стальные свободные на приварном кольце:ГОСТ 12822-80. — [Чинний від 1980-05-20]. - К. : Міждержавні стандарта, 2012. — 112 с .— (Государственный стандарт СССР)
6. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. - Л.: Машиностроение, 1984. - 299 с..
7. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. - Л.: Машиностроение, 1970. - 750 с..

						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

8. Новаковская С.С., Шишацкий Ю.И. Производство хлебопекарных дрожжей. Справочник. М. Агропромиздат 1990г. 335 с. Твердый. переплет, Чуть увеличенный. формат. Отличное. п.
9. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П.Брыков, Ю. И. Дытнерский и др..

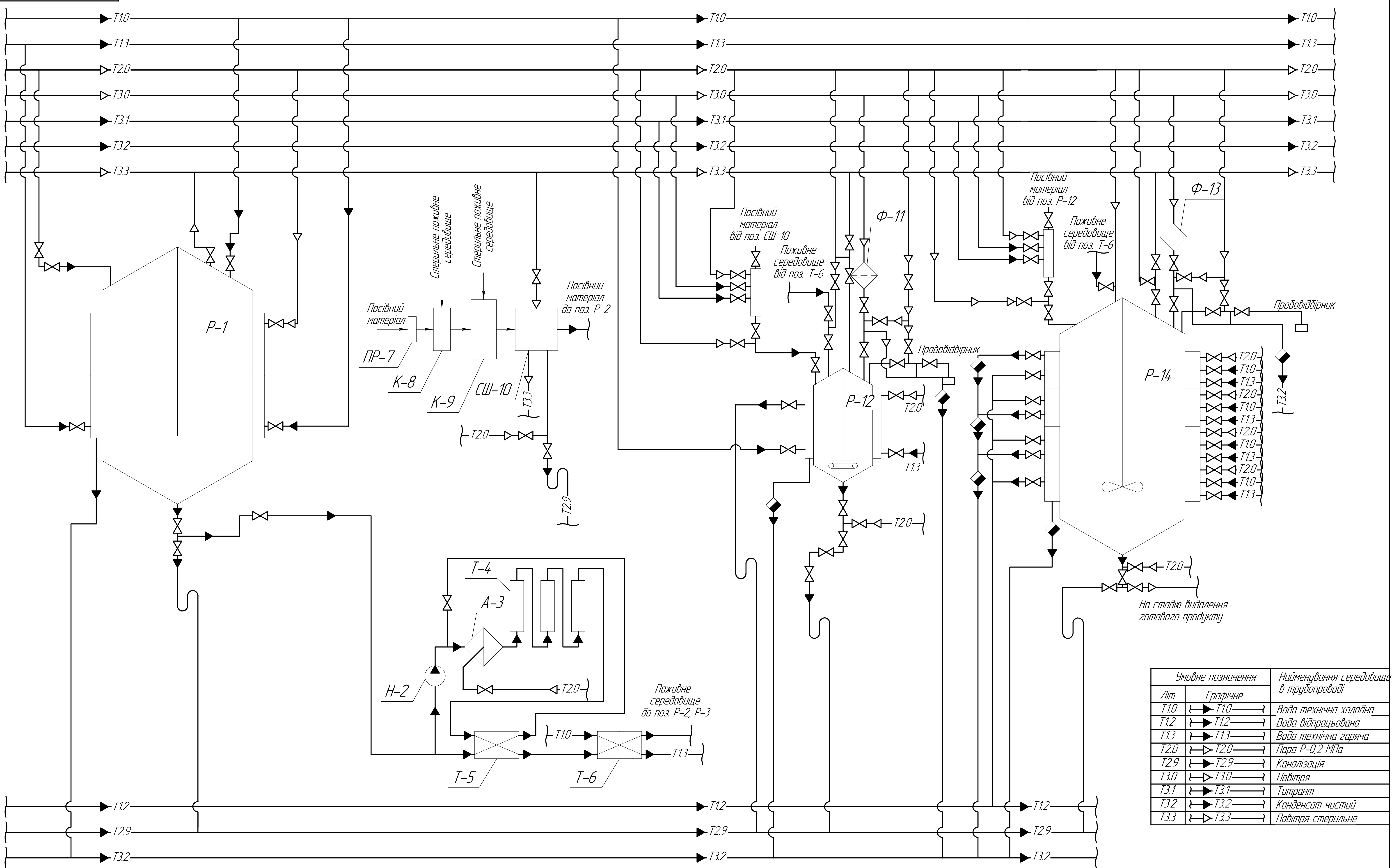
						Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A2			БІ9110.602311.001-40 СБ	Камера Розподільча.	1	
				Складальне креслення		
				<u>Деталі</u>		
		1		Обичайка	1	
		2		Перегородка розподільча	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		3		Днище 425-12 ГОСТ 6533-78	1	D=425 мм
		4		Патрубок ГОСТ 8732-78	2	D=150 мм
		5		Фланеуь 1-150-10 ГОСТ12821-80	2	
		6		Фланеуь 1-400-10 ГОСТ12821-80	2	
				<u>Матеріали</u>		
				Дріт для зварювання 2,0-св. 12Х18Н10Т ГОСТ 2246-75		
				Електроди ЦА-11-4-2 ГОСТ 94660-75		

					БІ9110.602311.001-40 СП				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Пономаренко А.М.				Камера розподільча		Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Костик С.І.							1	1
Н.контр.	Мельник В.М.						КПІ імені Ізгоря Сікорського		
Затверд.	Мельник В.М.								

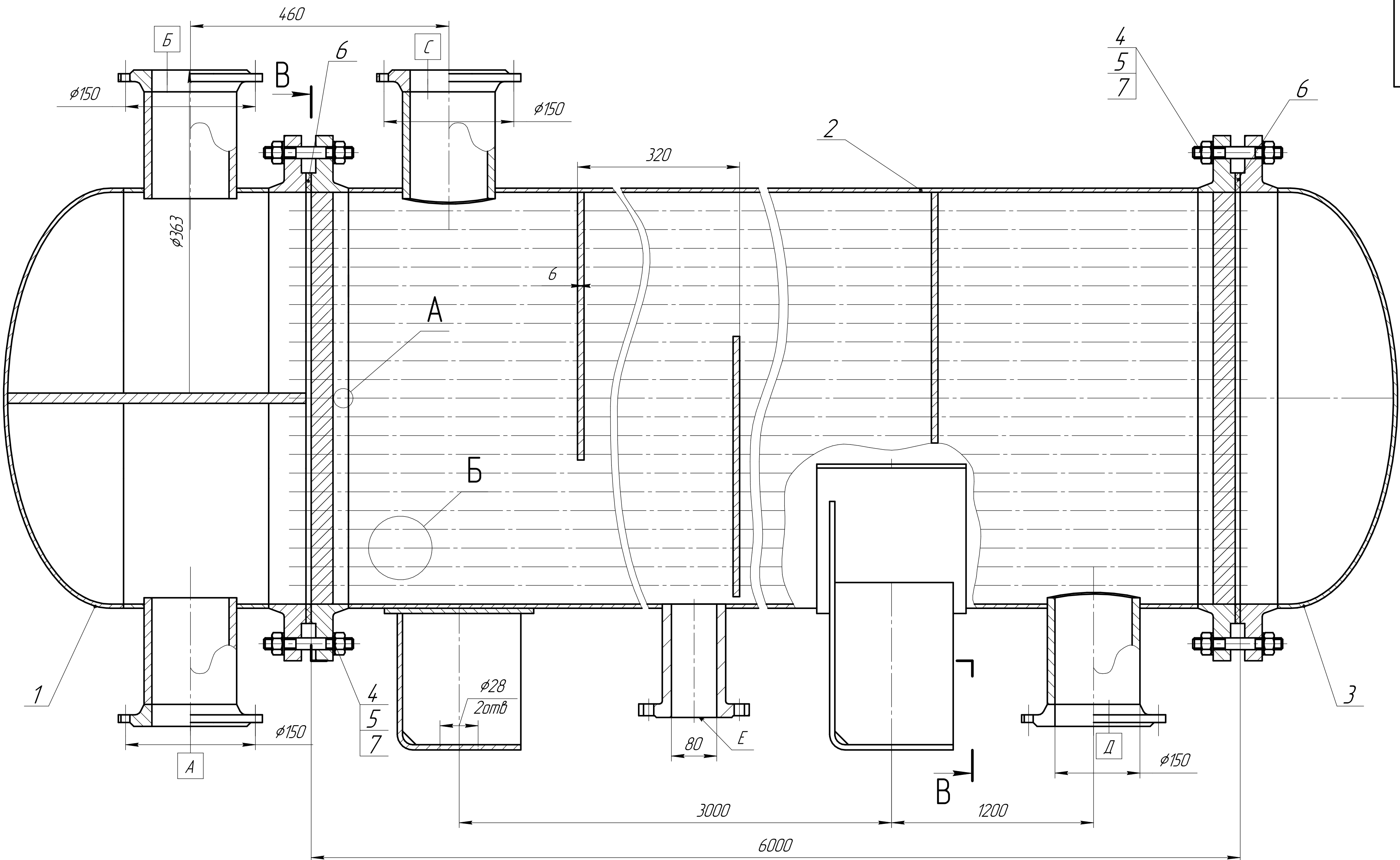
[illegible]

[illegible]



Умовне позначення		Найменування середовища в трубопроводі
Лит	Графічне	
T10		Вода технічна холодна
T12		Вода відпрацьована
T13		Вода технічна гаряча
T20		Пара P=0,2 МПа
T29		Каналізація
T30		Повітря
T31		Тирозин
T32		Конденсат чистий
T33		Повітря стерильне

БІ9110.602311.000-40 В3						Апаратурна схема виготовлення ітаканової кислоти			Лит	Маса	Масштаб
Вироб.	Лист	№ док.	Подп.	Дат.	Дат.	Разраб.	Личко	А.М.			1:1
Пров.						Костик	С.І.				
Т.контр.											
Н.контр.						Мельник	В.М.				
Утв.						Мельник	В.М.				
Копіював									Лист 1		
									Листов 1		
									КПІ ім. Ігоря Сікарського		
									БІ-91		
									Формат А1		



Таблиця штуцерів

Поз.	Призначення	Кіл.	Діа. мм	Р _н МПа	Тип цвп
А	Вхід субстрату	1	150	0,5	Шип паз
Б	Вихід субстрату	1	150	0,5	Шип паз
С	Вхід води	1	150	0,5	Шип паз
Д	Вихід води	1	150	0,5	Шип паз
Е	Злив води	1	80	0,5	Шип паз

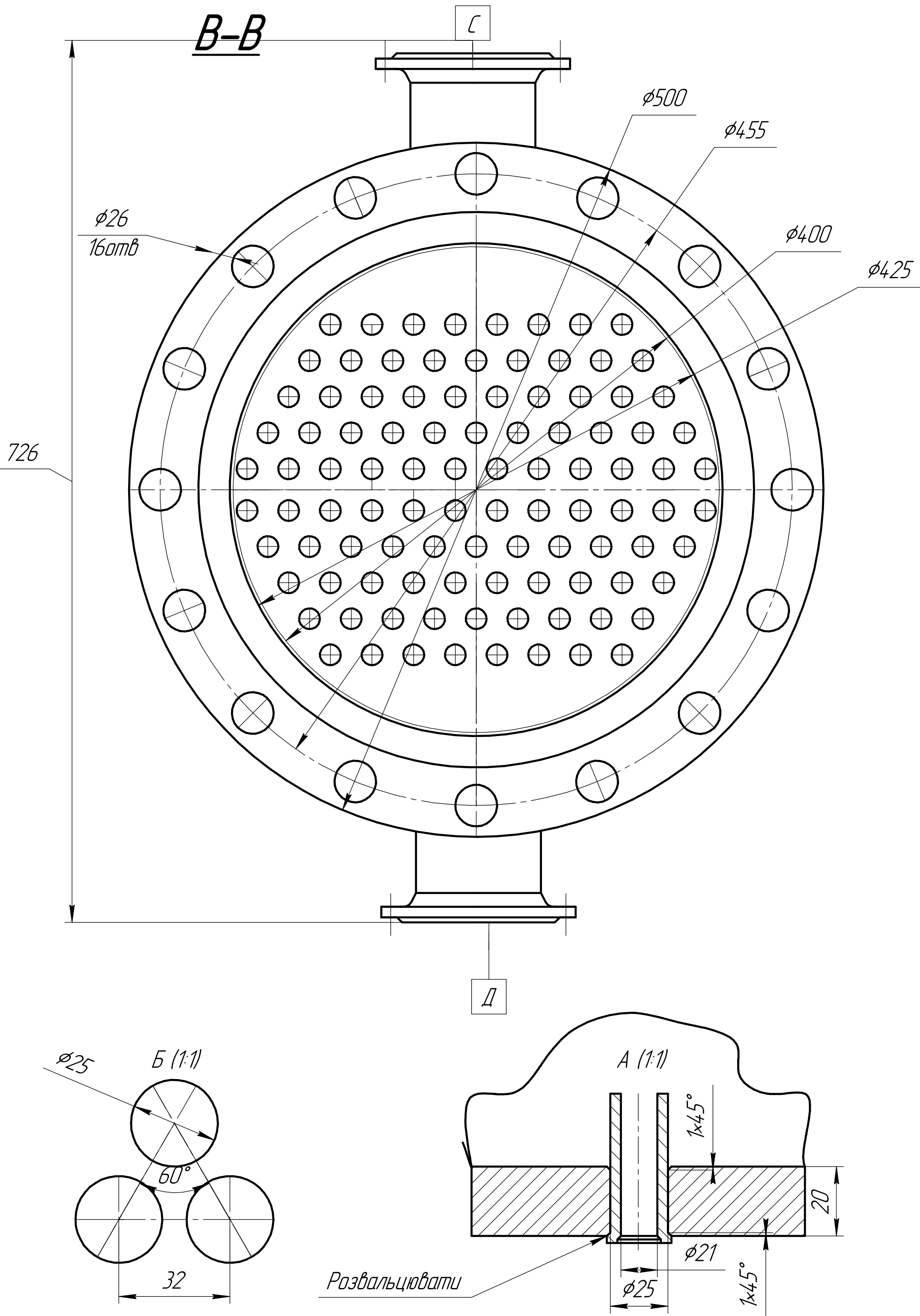
Технічна характеристика

Середовище	Показники	Трудний простір	Міжтрудний простір
	Назва	Субстрат	Вода
	Токсичність	Нетоксичне	Нетоксичне
	Вибухонебезпека	Невибухонебезпечна	Невибухонебезпечна
	Агресивність	Неагресивна	Неагресивна
	Температура, С°	36 на виході	15 на вході
Робочий тиск, МПа		0,5	0,5
Поверхня теплообміну, м ²		4,7	

Техніні Вимоги

1 Виготовлення, виробування та приймання апарата виконати відповідно до ТУ 312-023-0022030202 "Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трудными решетками и кожухотрубчатым температурным компенсатором на кожухе. Технические условия" та ГСТУ 3-17-191-2000 "Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови".
2 Апарат підлягає веденню Держнадзорхранпраці.
3 Основні конструкційні матеріали: кожух, розподільної камери, труди, трудиної решітки та фланців - 10Х17Н13М2Т за ГОСТ 5632-72; Опори, гайки та болти - сталь 20 за ГОСТ 1050-88.
4 Зварювання виконати відповідно до ГСТУ 3-020-2001 "Зварювання плавленням металевих матеріалів в хімічному та нафтовому машинобудуванні. Вимоги до технологічного процесу".
5 Кріплення труди в трудних решітках виконати відповідно до ГСТУ 3-071-2004 "Апарати кожухотрубчаті теплообмінні та повітряного охолодження. Кріплення труди в трудних решітках".
6 Зварні шви піддати контролю ультразвуковою дефектоскопією в об'ємі 100%.
7 Герметичність та міцність апарата, роз'ємних та зварних з'єднань перевірити гідралічним випробуванням.

Перв. примірник
Стор. №
Лист №
Взам. інв. №
Лист №
Лист №
Лист №

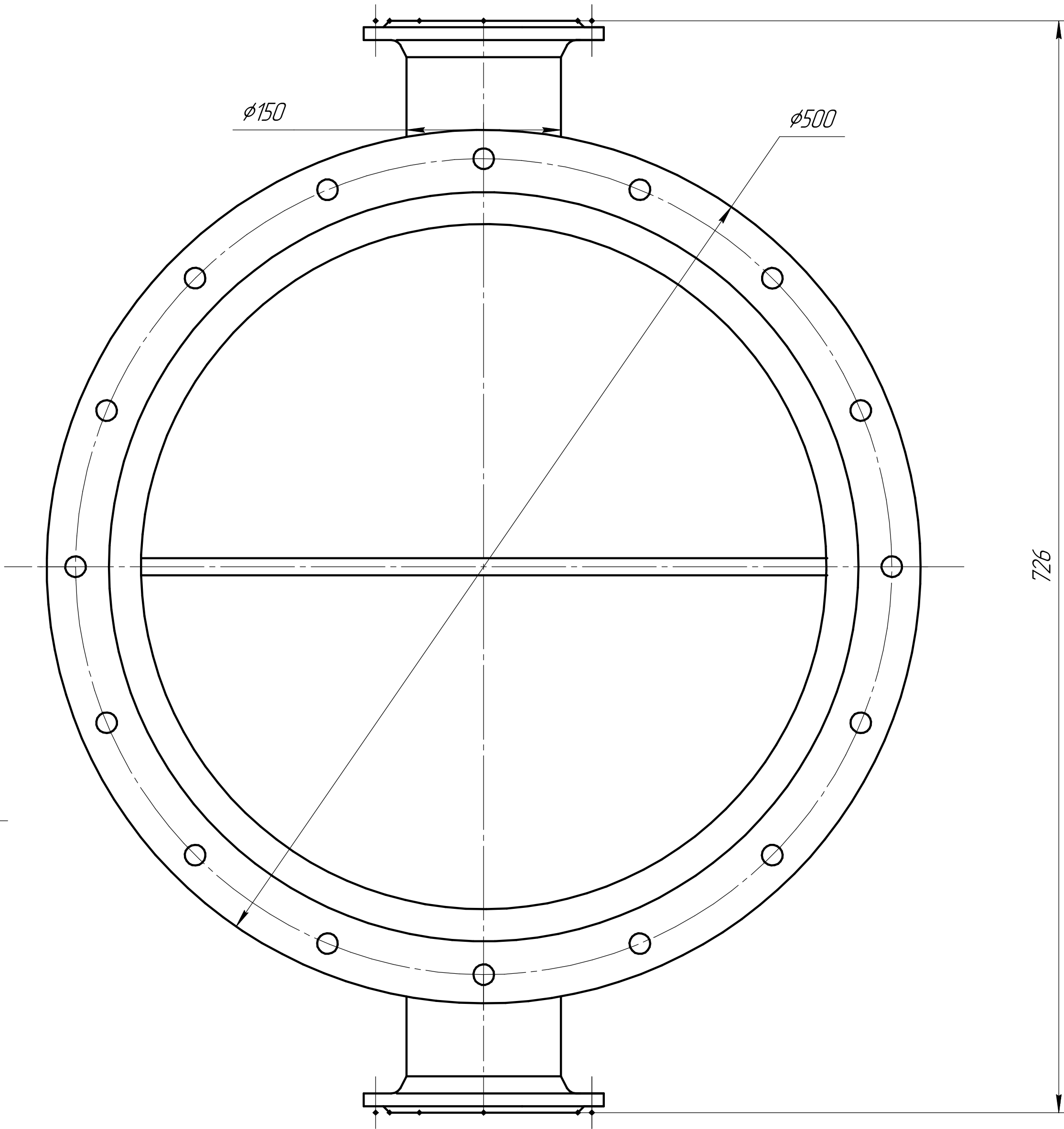
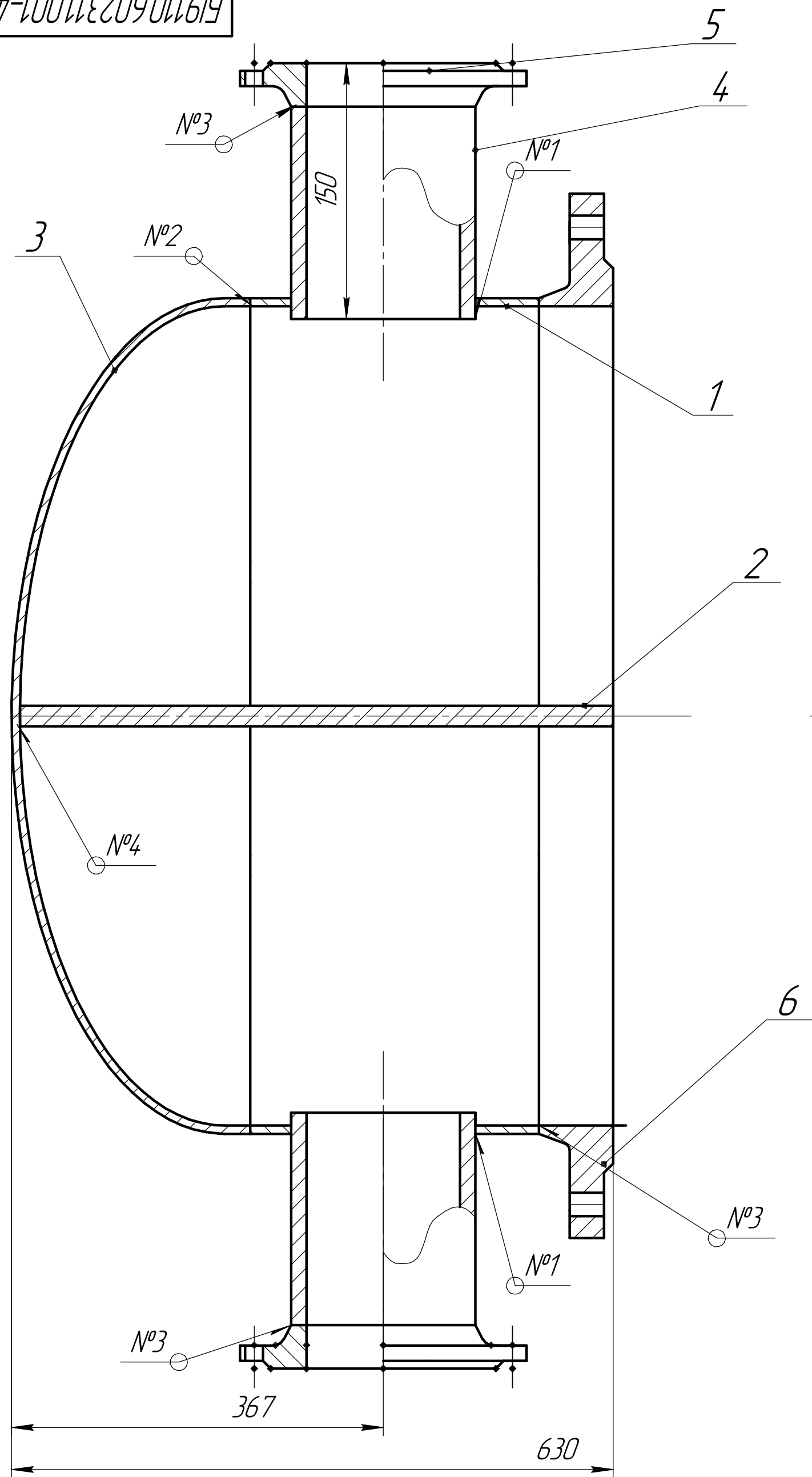


				БІ9110.602311.000-40 ВЗ		
				Теплообмінник кожухотрубчатий		
				Лист	Маса	Масштаб
						1:25
				Лист	Листов	1
				КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ, БІ-91		
				Формат А1		

БІ9110.602311.001-40 СБ

Перв. примен.	
Спроб. №	

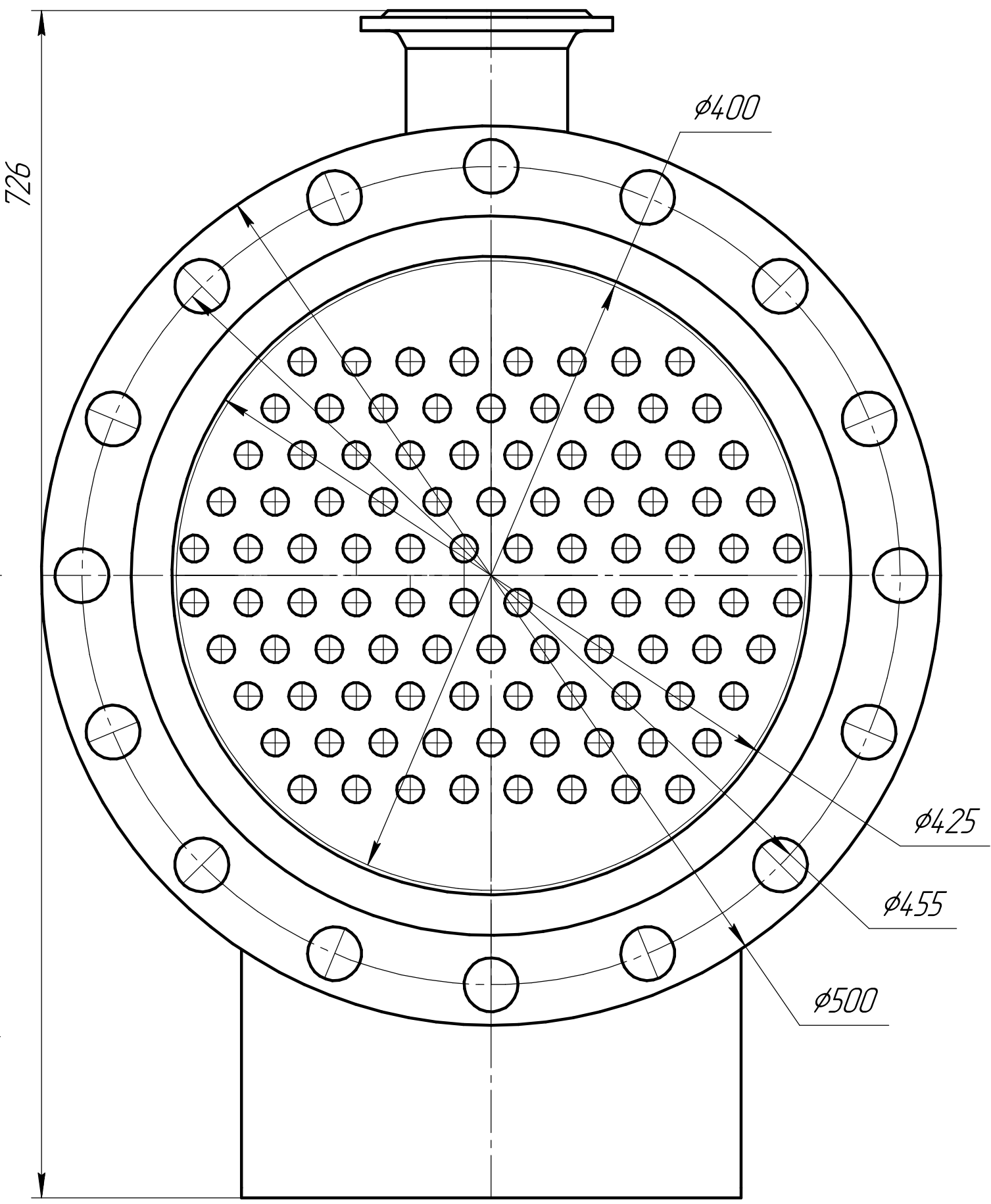
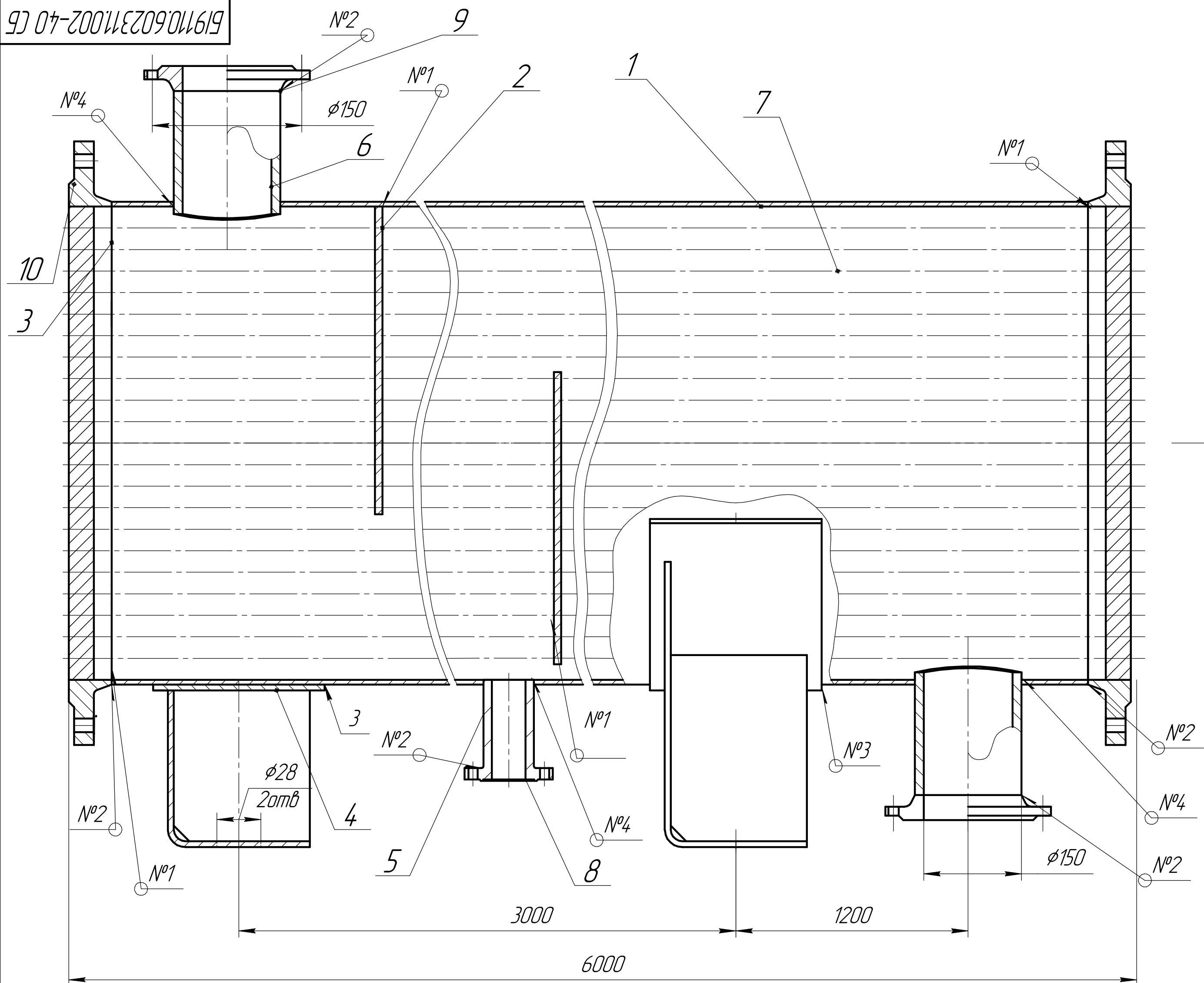
Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Инв. № подл.			



№ шва	Позначення	Кіл.	Примітка
1	ГОСТ 5264-80-УЧ	2	
2	ГОСТ 5264-80-С2	1	
3	ГОСТ 5264-80-С9	4	
4	ГОСТ 5264-80-Т3	1	

БІ9110.602311.001-40 СБ				Лист	Масса	Масштаб
Камера розподільча						1:2,5
КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБТ, БІ-91				Лист	Листов	1
Копіював				Формат А2		

БІ9110.602311.002-40 СБ



№ шва	Позначення	Кіл.	Примітки
1	ГОСТ 5264-80-Т3	4	
2	ГОСТ 5264-80-С9	5	
3	ГОСТ 5264-80-Н1	2	
4	ГОСТ 5264-80-С2	3	

БІ9110.602311.002-40 СБ					
Корпус					
Копіював					

Лист	Маса	Масштаб
1		1:2,5

Лист	Листов	1
------	--------	---

КПІ ім. Ігоря Сікорського	ФБТ, БІ-91
---------------------------	------------

Формат	A2
--------	----