

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології та біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Мельник В. М.

(підпис)

“ ____ ” _____ 2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування
на тему: Лінія виробництва дексалону з розробкою реактора.

Виконала:

студентка 4 курсу, групи БІ-11

Зіпман Рената Олегівна

(підпис)

Керівник:

д.т.н., професор Мельник В.М.

(підпис)

Рецензент:

Сметюх М.П.

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	БІ-110461024-40ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1	БІ-110461024-40АС	Апаратурна схема	1	
5	A1	БІ-110461024-40СК	Реактор	1	
6	A2	БІ-110461024-40СК	Корпус	1	
7	A2	БІ-110461024-40СК	Кришка	1	

				БІ-110461024-40		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Зіпман Р.О.			Лінія виробництва дексалону з розробкою реактора	Лист	Листів
Керівн.	Мельник В.М.				1	1
Консульт.					НТУУ «КПІ», ФБТ, БІ-11	
Н/контр.						
Зав. каф.	Мельник В.М.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Лінія виробництва дексалону з розробкою реактора»

Київ – 2025 року

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

Факультет біотехнології та біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Мельник В. М.
(підпис)
«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Зіпман Ренаті Олегівні

1. Тема проєкту «Лінія виробництва дексалону з розробкою реактора», керівник проєкту Мельник Вікторія Миколаївна, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «___» _____ 2025 р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту _____
3. Вихідні дані до проєкту: об'єм апарата – 1 м³; коефіцієнт заповнення – 0,8; температура робочого середовища – 40 °С; витрати води – 0,594 кг/с; тиск води в сорочці – 0,3 МПа; потужність приводу – 0,4 кВт; мішалка турбінна; діаметр мішалки – 0,3 м; частота обертання – 3 с⁻¹; габарити: висота – 2810 мм, довжина – 1520 мм, ширина – 1520 мм; маса реактора – 2000 кг.
4. Зміст пояснювальної записки: визначити призначення та галузь застосування; описати технологічний процес виробництва Дексалону; обґрунтувати вибрану конструкцію реактора; провести розрахунки обладнання; розробити апаратурно-технологічну схему виробництва та загальний вид реактора.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): складальне креслення реактора – 1 арк. А1,

апаратурна схема – 1 арк. А1, креслення кришки реактора – 1 арк. А2, креслення корпусу реактора – 1 арк. А2.

6. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Призначення та галузь застосування, характеристика препарату, опис технологічного процесу	20.02.25 -27.02.25	
2	Розробка апаратурно-технологічної схеми	02.03.25-12.03.25	
3	Обґрунтування вибору реактора, порівняльна характеристика реакторів, патентний пошук	15.03.25-23.03.25	
4	Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції	25.03.25 –20.04.25	
5	Рекомендації з монтажу та експлуатації, техніка безпеки та охорона навколишнього середовища	23.04.25 – 27.04.25	
6	Складальне креслення реактора	29.04.25 – 14.05.25	
7	Креслення корпусу, креслення кришки	19.05.25 - 02.06.25	
8	Оформлення пояснювальної записки	02.06.25 - 07.06.25	

Студент _____

Зіпман Р.О.

Керівник _____

Мельник В.М.

Реферат

Дипломний проєкт освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» на тему: «Лінія виробництва дексалону з реактора » / НТУУ «КПІ»; Керівник Мельник Вікторія Миколаївна, виконавець Зіпман Рената Олегівна.

Робота складається з переліку умовних позначень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Повний обсяг роботи становить 94 сторінки, 23 рисунків, 4 таблиці і переліку посилань з 17 найменувань (на 3 сторінках).

Мета проєкту – дослідження процесу виробництва лікарського засобу Дексалону; розробка апаратурної схеми процесу із застосуванням реактора, обладнаного універсальною сорочкою для нагріву/охолодження.

Методи дослідження – аналіз технологічної схеми виготовлення препарату, вивчення особливостей конструкції реакторів для фармацевтичної промисловості, техніко-технологічне обґрунтування вибору типу реактора, розрахунок основних та важливих.

Результати роботи та їхня новизна: описано процес виробництва розчину Дексалону, розроблено апаратурно-технологічну схему виробництва, визначено послідовність і умови завантаження компонентів, обґрунтовано вибір конструкції реактора, проведено розрахунки. Виконано патентний пошук для визначення технічних аналогів.

На основі проведених досліджень спроектовано реактор із сорочкою для приготування розчину препарату, який забезпечує задану якість та відповідає фармацевтичним нормам.

За результатами роботи опубліковано: одні тези доповіді на конференції.

РЕАКТОР, ДЕКСАЛОН, ТУРБІННА МІШАЛКА, ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЯ, ФАРМАЦЕВТИЧНЕ ВИРОБНИЦТВО, КРАПЛІ ДЛЯ ОЧЕЙ.

Abstract

Bachelor's degree thesis on the topic: "Dexalon production line with reactor development" / NTUU "KPI"; Head Melnyk Viktoria Mykolaivna, executor Zipman Renata Olehivna.

The work includes a list of symbols, an introduction, six chapters, conclusions, a list of references and appendices. The total volume of the work is 94 pages, 23 figures, 4 tables and a list of references from 17 titles (on 3 pages).

The aim of the project is to study the process of manufacturing the medical product Dexalon; to develop a process equipment diagram using a reactor equipped with a universal heating/cooling jacket.

Research methods – analysis of the technological scheme for drug production, study of the design features of reactors for the pharmaceutical industry, technical and technological justification for the selection of the reactor type and calculation of main and critical parameters.

The results of the work and their novelty - the process of the Dexalon solution production is described the apparatus-technological production scheme is developed, the sequence and conditions for component loading are determined, the choice of reactor design is justified and calculations are performed. A patent search was conducted to identify technical analogues.

Based on the conducted research, a reactor with a jacket for preparing the drug solution was designed, which ensures the specified quality and complies with pharmaceutical standards.

Based on the work results of the work, one abstract of the report at the conference was published.

REACTOR, DEXALON, TURBINE AGITATOR, THERMAL REGULATION, PHARMACEUTICAL MANUFACTURING, EYE DROPS.

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень	9
Вступ.....	10
1. Призначення та галузь застосування	11
1.1. Застосування крапель для очей	11
1.2. Склад дексалону та властивості компонентів препарату	11
2. Опис технологічного процесу виготовлення дексалону	14
2.1. Процес отримання дексалону	14
3. Обґрунтування вибору реактора	18
3.1. Конструкція та принцип дії реактору	20
3.2. Порівняльна характеристика реакторів аналогів	22
3.3. Відомості про використані винаходи і патентну чистоту	23
4. Технічна характеристика реактора	25
5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції реактора	26
5.1. Матеріальний баланс	26
5.2. Конструктивний розрахунок	29
5.2.1. Розрахунок глибини воронки	29
5.2.2. Розрахунок потужності приводу мішалки	31
5.3. Тепловий баланс	33
5.4. Розрахунки на міцність	39
5.4.1. Розрахунок на міцність рубашки, навантаженої внутрішнім тиском	39
5.4.2. Розрахунок на міцність обичайки корпусу, навантаженої зовнішнім тиском.....	40
5.4.3. Розрахунок на міцність днища рубашки, навантаженого внутрішнім тиском	42
5.4.4. Розрахунок на міцність днища обичайки, навантаженого зовнішнім тиском	45
5.5. Розрахунок вала перемішуючого пристрою	48
5.5.1. Розрахунок вала на вібростійкість	48
5.5.2. Розрахунок вала на міцність	50
5.5.3. Розрахунок вала на жорсткість	52
5.6. Розрахунок сальникового ущільнення	52
5.6.1. Геометричні параметри елементів конструкції ущільнення	52
5.6.2. Розрахунок нажимного зусилля на сальникову набивку.....	54
5.7. Розрахунок лопаті на міцність	55
5.8. Розрахунок фланцевого з'єднання корпусу і кришки	56
5.9. Зміцнення отворів кришки	63
5.10. Розрахунок опор для вертикальних апаратів	66
5.10.1. Розрахункові навантаження.....	66
5.10.2. Перевірка міцності стінки вертикального циліндрового апарата під опорою-лапа без накладного листа.....	67
5.10.3. Перевірка міцності стінки вертикального циліндрового апарата під опорою-лапою з накладним листом	69
6. Рекомендації по монтажу і експлуатації	70
6.1. Монтаж та експлуатація обладнання.....	70
6.2. Техніка безпеки та охорона навколишнього середовища	71
Висновок.....	72
Список використаної літератури	74
Додатки.....	77

					БІ-110461024-40 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Зіпман Р.О.			Лінія виробництва Дексалону з розробкою реактора		Лім.	Арк.	Аркуші
Перевірів		Мельник В.М.						8	94
							НТУУ «КПІ», ФБТ, БІ-11		

Перелік скорочень, умовних позначень

ПМВ – пакування, маркування, вивантаження;

ДСТУ – Державний стандарт України;

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;

КВПіА – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика;

GMP – good manufacturing practice (належна виробнича практика);

$t_{1н}$ – температура продукту

$t_{2н}$ – початкова температура охолодженої води

$t_{2к}$ – кінцева температура охолодженої води

$t_{1к}$ – температура кінцевого продукту

Q – тепловий баланс

Q_1 – кількість теплоти, затрачена на охолодження

Q_{emp} – витрати теплоти в навколишнє середовище

N_e – потужність, котра витрачається на перемішування

k_p – коефіцієнт теплопередачі від розчину до води через стінку реактора

$\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої поверхні реактора

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні реактора до води

δ_1 – товщина стінки

Re – критерій Рейнольдса;

Nu – критерій Нусельта;

Pr – критерій Прандтля.

					БІ-1 10461024-40 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Фармацевтичне виробництво залишається однією з останніх галузей промисловості, яка генерує постійний потік нових продуктів. Одним з ключових напрямів – розробка ефективного апаратурного оформлення технологічних процесів для синтезу, змішування та підготовки активних речовин, зокрема очних крапель.

Дексалон у формі очних крапель проявляє бактерицидну дію. Він широко використовується у фармацевтичній галузі для терапії таких станів, як кон'юктивіт, хламідійні краєння слизової оболонки очей та низка інших захворювань очей.

В останні роки реактор став, мабуть, найважливішим агрегатом для оптимізації на хімічних та фармацевтичних підприємствах. До початку 1970-х років процеси розділення після переробки вважалися ключем до прибуткової роботи підприємства. Хоча докладалися всі зусилля для досягнення як високої селективності, так і перетворення на бажаний продукт у реакторі, бажана чистота продукту досягалася значною мірою завдяки добре продуманим операціям розділення після переробки. Збільшення вартості та менш впевнена доступність сировини, а також законодавство щодо захисту навколишнього середовища, призвели до прагнення «чистих технологій» з метою більш ефективної переробки та мінімізації відходів. Вищезазначені цілі краще досягаються шляхом удосконалення технології реакторів для зменшення кількості утворюваних відходів, ніж шляхом встановлення модернізованих установок для видалення низькоцінних побічних продуктів та інших відходів з потоків стічних вод.

Таким чином, сучасний фармацевтичний реактор перетворився на центральний елемент технологічного процесу, від якого залежить якість продукції, ефективність та відповідність стандартам.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Призначення та галузь застосування

1.1. Застосування крапель для очей

Краплі для очей дексалону володіє бактерицидними, фунгіцидними та вірусоцидними властивостями.

Краплі для очей (дексалон) широко використовуються у фармацевтичній промисловості. Застосовуються для лікування кон'юнктивіту, блефарокон'юнктивіту, хламідіозних поразень слизової оболонки очей та інших захворювань.

1.2. Склад дексалону та властивості компонентів препарату

В склад дексалону входять такі речовини: декаметоксин, декстрин, динатрієва сіль (трилон Б), хлорид натрію та вода для ін'єкцій.

Основною діючою речовиною в даних краплях для очей є декаметоксин $C_{38}H_{74}Cl_2N_2O_4$ 1,10-Декаметілен-бис (N-N-диметил-метаксикар-бонилметил)-амонію дихлорид. Антимікробний та антигрибковий засіб, котрий володіє широким спектром антимікробної дії на мікробні клітини, діє бактерицидно, спороцидно і фунгіцидно. Застосовується при гнійних і грибкових захворювань шкіри, абсцесах м'яких тканин та легких кон'юнктивітах, стоматологічних захворювань, хвороб вуха, горла, як антисептичний засіб для обробки шкіри рук, операційного поля і хірургічного матеріалу.

Трилон Б – білий кристалічний порошок розчинний в воді та практично нерозчинний в спирті та ефірі. Утворює з великою кількістю катіонів металів водорозчинні стійкі комплекси. Застосовується, як лікувальний засіб для виведення з організму кальцію та важких металів.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даних краплях трилон Б використовується для стабілізації розчину в поліетиленовій упаковці і підсилення антимікробної дії дексалону.

Декстран – бактеріальний полісахарид, що виробляється деякими бактеріями родів *Leuconostoc* і *Streptococcus* при культивуванні на розчинах, що містять сахарозу.

”Клінічний” декстран отримується частковим гідролізом високомолекулярного нативного декстрану. В результаті фракціювання нативного декстрану отримується ”клінічний” декстран ”Поліглюкін” та ”Реополіглюкін”, котрі застосовуються в якості заміни крові і пролонгатору в складі лікарських форм. Важливим фактором являється здатність гідролізованого декстрану в результаті ферментативного гідролізу поступово і повністю виводитись з організму. В даних краплях для очей декстран використовується в якості пролонгатору (рН: 10% розчину від 5,0 до 7,0; відносна в'язкість: 10% розчину при $t = 25^{\circ}C$ 5,5; середня молекулярна маса 3500 – 5000).

Хлорид натрію – білі кубічні кристали або білий кристалічний порошок без запаху, легко розчинний в воді та малорозчинний в спирті. Препарат повинен проходити за наступними показниками: кислотність або лужність, кальцій, магній, барій, залізо, важкі метали, сульфати, калій, солі амонію. Втрати в вазі при висушуванні не повинні перевищувати 0,5%. Кількісний вміст в перерахунку на суху речовину повинен бути не менше 99,5%. Зберігають в гарно закупореній тарі. В даних краплях для очей використовується в якості ізотонуючого компоненту [1].

Вода для ін'єкцій – без кольору, прозора апірогенна рідина без запаху та смаку, котра являється розчинником компонентів препарату рН 5,0-7,0.

Властивості води для ін'єкцій:

сухий залишок – не більше 0,0002%;

відновлюючі речовини – відсутні;

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

хлориди – не більше 0,0002%;

сульфати: 0,001%;

кальцій: 0,003%;

аміак: 0,00002%;

важкі метали: 0,00005%;

вугільний альдегід – відсутній;

нітрати і нітрити – відсутні;

показник заломлення: 1,333.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2. Опис технологічного процесу виготовлення дексалону

Технологічна схема виробництва дексалону складається з таких основних апаратів – реактор, теплообмінники (кожухотрубний та пластинчатий) та збірники для розчинів, що з'єднуються за допомогою трубопроводів. По трубопроводах поступають до апаратів насичена пара, стерилізоване повітря, розчини, а також стікають конденсат і відходи до каналізації. Схема включає в себе також допоміжні апарати – переносні ємності, ваги, електронні терези та фільтри.

Процес виготовлення дексалону складається із стадії допоміжних робіт (ДР), стадії основного технологічного процесу, пакування маркування та вивантаження готового продукту (ПМВ).

2.1. Процес отримання дексалону

Лінія з виробництва рідких лікарських засобів знаходиться в стерильному приміщенні, використовується стерильне обладнання і персонал. Тому можна сказати, що приміщення, де використовується лінія, відповідає найчистішому першому класу чистоти – класу А [2].

Процес отримання дексалону складається з наступних стадій:

«ДР» - стадія допоміжних робіт;

«ТП» - стадії основних технологічних процесів;

«ПМВ» - стадія пакування, маркування, вивантаження готового продукту.

Стадія допоміжних робіт включає в себе санітарну обробку виробництва, яка складається з:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Приготування дезинфікуючих розчинів.
2. Підготування вентиляційного повітря.

Чистоту повітря в чистих приміщеннях (2-3 класів чистоти) забезпечують системою проточно-витяжної вентиляції. Внутрішня та зовнішня поверхня фільтр-камер, що входять до даної системи, легко піддається мийці та обробці.

3. Підготування обладнання та інвентарю.

Підготування технологічного обладнання проводять до та після проведення технологічного процесу. При мийці обладнання використовують жорсткі щітки та серветки з ворсистієї тканини з обробленими краями. Безпосередньо перед початком проведення технологічного процесу установку та матеріальні лінії промиваються профільтрованою водою та оброблюються стерильним паром.

4. Підготування технологічної одежі.
5. Підготування персоналу до роботи.

Всі апарати проходять попередню стерилізацію азотом і паром. Повітря фільтрується спеціальними фільтрами. Розчини стерилізуються і проходять багаторазову очистку. Відходи з певних апаратів після очищення, по трубопроводах потрапляють прямо до каналізації.

Стадія основних технологічних робіт [3]:

ТП-1 – приготування розчину.

Перед завантаженням сировини виконують промивку технологічної лінії водою для ін'єкцій з наступною обробкою стерильним паром.

Стерильний пар отримують шляхом фільтрації технічного пару через металокерамічні фільтри грубої очистки та фільтрів типу "Мілліпор" з діаметром пор 0,22 мкм.

В приготовлений реактор по схемі Р-5 зі збірника 3-1 за допомогою насоса Н-2 завантажують 680 л води для ін'єкцій при температурі 40°С.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В збірник по схемі 3-1 воду для ін'єкцій подають за допомогою азоту із загально – цехової установки отримання води, температура води 90°С. Охолодження води для ін'єкцій до необхідної температури проводять на теплообмінниках: пластинчатому від 90°С до 60°С та кожухотрубному від 60°С до 40°С.

В рубашку реактора подається охолоджена вода. В реактор (Р-5) через завантажувальний люк вручну завантажують декаметоксин, включають мішалку і перемішують на протязі 7-10 хвилин до повного розчинення речовини. Після розчинення декаметоксину при включеній мішалці з інтервалом 10 хвилин послідовно вручну завантажують трилон Б, а потім натрію хлорид і продовжують перемішувати на протязі 7-10 хвилин. Перед завантаженням кожної наступної речовини необхідно повністю розчинити попередню речовину. Після розчинення цих компонентів в реактор завантажують декстран. Розчин перемішують на протязі 12-15 хвилин. По закінченні розчинення складових розчин в реакторі доводять до 680 л водою для ін'єкцій і перемішавши розчин на протязі 15-20 хвилин, відключають мішалку і відбирають пробу для визначення зовнішнього вигляду і вмісту декаметоксина та натрію хлориду в цеховій лабораторії.

Розчин повинен бути прозорим і не мати забарвлення. Вміст декаметоксину в 1 мл розчину повинен складати від 0,00018 до 0,00022 г, декстрану – від 0,055 до 0,065 г, натрію хлориду – від 0,0081 до 0,0099 г, рН розчину повинно бути від 4,5 до 5,5. При відхиленні кількісного вмісту виконують корегування розчину шляхом додавання розрахункових кількостей субстанцій або води для ін'єкцій [4].

Після отримання позитивних результатів аналізу розчину, включають насос Н-8 і циркулюють розчин по замкненому контурі на протязі 15-20 хвилин, пропускаючи через фільтр (Ф-9) з діаметром пор 1,2 мкм для очищення розчину від мікрочасток.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Профільтрований розчин дексалону попередньо охолодивши до 12°С на теплообміннику, передають в приймальну ємність "Боттл-пак". Після чого розчин йде на пакування, маркування та вивантаження.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Обґрунтування вибору реактора

Одним з головних чинників у виробництві Дексалону – реактор. У них здійснюються технологічні та фізико-хімічні перетворення речовин. Можуть відбуватися як і прості хімічні реакції, так і складні багатостадійні взаємодії з одночасним тепло- та масообміном, в залежності від конструкції реактора, типу реагентів. Такі процеси можуть включати:

1. Хімічні реакції (гомогенні – усі реагенти в одній фазі, гетерогенні – реагенти в різних фазах, каталітичні – реакції за участі каталізаторів, які прискорюють процес).
2. Теплові процеси (ендотермічні реакції – з поглинанням тепла супроводжуються, екзотермічні – виділенням тепла).
3. Масообміні процеси (абсорбція, десорбція – поглинання розчину поверхневим твердого тіла або шаром рідини, екстракція – добування компонентів зі складних систем селективним розчинником, розчинення, кристалізація).
4. Гідродинамічні процеси (змішування реагентів, перемішування суспензій чи емульсій, аерація).
5. Механічні процеси (диспергування, подрібнення).
6. Фізико-хімічні процеси (фазові переходи – плавлення, випаровування, плавлення; полімеризація).

Додатково може бути контроль температури, тиску, рН за допомогою датчиків та автоматичне регулювання подачі реагентів [5].

Існують три основні види реакторів, які використовуються в хімічній та фармацевтичній промисловості:

1. Періодичної дії;
2. Безперервної дії;
3. Напівперіодичний реактор.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Їх порівняння представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Порівняння основних видів реакторів

Ознака	Періодичний реактор	Безперервний реактор	Напівперіодичний реактор
Завантаження реагентів	Повна, перед початком	Постійна	Часткова або почтупова
Вивантаження продукту	Після завершення процесу	Постійне	Часткове або після реакції
Гнучкість	Висока	Низька	Середня
Продуктивність	Середня	Висока	Середня
Автоматизація	Проста	Складна	Помірна

Для виробництва Дексалону, враховуючи особливості технологічного процесу, було обрано реактор з сорочкою нагріву/охолодження та турбінною мішалкою.

До основних переваг реакторів періодичної дії відноситься:

1. Його гнучкість – дозволяє обробляти широкий спектр хімічних процесів та використовуються як для дрібномасштабних, так і для великомасштабних виробництв;
2. Він доступніший та дешевший у виробництві та експлуатації, порівняно з іншими типами реакторів;
3. Використання для реакцій зі складними реагентами, такими як рідини з високою в'язкістю, небезпечні матеріали;
4. Реактори періодичної дії забезпечують точний контроль параметрів реакції, таких як температура, тиск та додавання реагентів. Це дозволяє оптимізувати процес;
5. Технічне обслуговування та очищення реакторів періодичної дії є

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

відносно простими, оскільки їх можна легко спорожнити, очистити та підготувати до наступної партії [6].

3.1. Конструкція та принцип дії реактору

Реактор складається з циліндричного корпусу, що має подвійну стінку, утворюючи сорочку 3, камера нагріву 4. Корпус закритий знімною кришкою 2. Для перемішування передбачена мішалка 6, яка приводиться в рух приводом 7 через вал 5. Корпус встановлений на опори 8. На кришці реактора розташовані завантажувальний патрубок 9, патрубок для вивантаження 10, люк 11 для доступу всередину апарату. До сорочки підключаються патрубок 12 для подачі та відведення теплоносія. У нижній частині знаходиться розвантажувальний патрубок 13. Дно реактора підтримується опорами 14. Вид зверху на кришку показує розташування центрально отвору для приводу мішалки 15

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

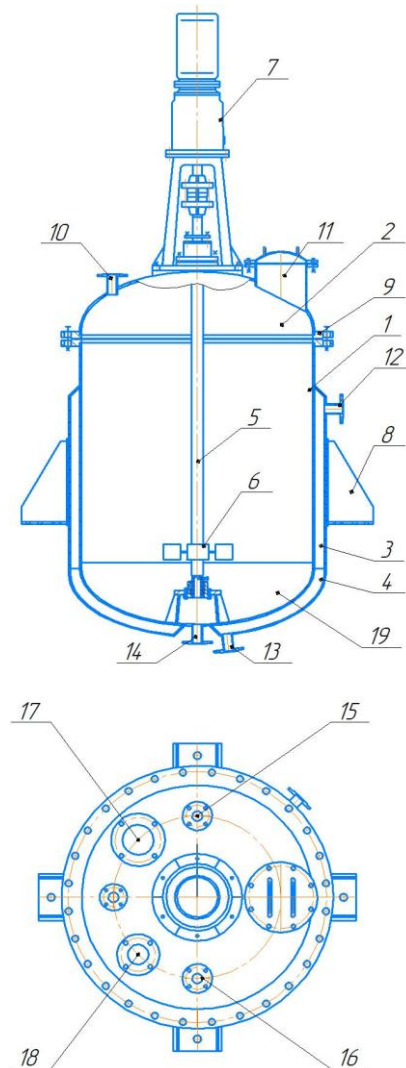


Рисунок 3.1. Реактор з сорочкою нагріву/охолодження

Принципом дії у нашому виробництві є реактор у який подається охолоджена вода для ін'єкцій. Потім вручну послідовно завантажують компоненти (спочатку основну діючу речовину, далі допоміжні з перемішуванням після кожного етапу до повного розчинення). Після внесення всіх інгредієнтів об'єм доводять водою до потрібного рівня, перемішують і відбирають пробу для аналізу [7].

Після позитивного висновку лабораторії розчин циркулюють через фільтр для очищення від мікрочасток. Очищений і охолоджений розчин подають у приймальну ємність, звідки він надходить на пакування та маркування.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

3.2. Порівняльна характеристика реакторів аналогів

Велика Британія, Швейцарія, Індія, Німеччина – провідні країни-виробники реакторів для фармацевтичної галузі. Характеристики реакторів наведено у таблиці 3.2 виробників Buchiglas Швейцарія (рис.3.2.а), Syrris Велика Британія (рис.3.2.б), GMM Pfaudler Індія (рис.3.2.с).



Рисунок 3.2. Конструкції реакторів:

а – Buchiglas Швейцарія, б – Syrris Велика Британія, с – GMM Pfaudler Індія.

Buchiglas chemReactor CR – дозволяє адаптувати систему під конкретні хімічні процеси завдяки гнучкості у виборі матеріалу [8].

Syrris Atlas HD – автоматичний контроль та регулювання параметрів хімічного процесу, що значно підвищує ефективність та точність дозування [9].

GMM Pfaudler Glass-Lined Reactor – можливість роботи з великими об'ємами, підходить для промислових виробництв, має надзвичайну стійкість до корозії [10].

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2. Порівняльна характеристика реакторів

Параметр	Buchiglas chemReactor CR	Syrris Atlas HD	GMM Pfaudler Glass-Lined Reactor
Об'єм	15–250 літрів	50 мл – 5 л	Від 10 до 16 000 літрів
Діапазон тиску	-1.0 до +0.5 бар	50 мбар – 0.25 бар	До 150 psig (внутрішній), 125 psig (сорочка)
Температурний діапазон	-60°C (-90°C) до +200°C	-90°C до +250°C	До 450°F (≈232°C)
Матеріали	Боросилікатне скло 3.3, емальована сталь, PTFE, PFA, тантал	Боросилікатне скло	Емалеве покриття Pfaudler Glasteel
Конструкція	Скляний реактор із сорочкою для теплообміну	Автоматизована система з сенсорним керуванням	Надійна конструкція з антикорозійним покриттям
Основні функції	Синтез, дистиляція, вакуумна обробка, введення газів, контроль рН	Автоматизоване дозування, реакційний контроль, кристалізація	Змішування, збереження корозійних речовин, високотемпературні реакції

3.3. Відомості про використані винаходи і патентну чистоту

Найменування розробки: реактор

Завдання патентних досліджень: З'ясування сучасного стану розвитку конструкцій реакторів для фармацевтичного, хімічного виробництв та рівня технічного розвитку обладнання; виявлення наявних технічних рішень щодо апаратів та патентних аналогів;

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Призначення об'єкта: Дослідження спрямовані на аналіз існуючих патентних рішень у галузі конструкції та функціонування реакторів, що використовуються у різних галузях промисловості, зокрема хімічній та фармацевтичній, з метою вибору найбільш придатної конструкції для отримання хімічних сполук, розчинення, перемішування та інших технологічних операцій, які основою для виробництва активних фармацевтичних інгредієнтів або готових лікарських форм.

Область застосування: Реактори, що є предметом дослідження широко застосовуються у фармацевтичній промисловості, біотехнологіях та інших галузях хімічної промисловості, де потрібен точний контроль хімічних реакцій та фізико-хімічних перетворень.

Опис об'єкта: Об'єктом дослідження є реактор, призначений для проведення процесів розчинення, змішування та хімічних реакцій.

Метою пошуку є визначення рівня новизни та технічного рівня розроблюваного обладнання, виявлення аналогів у цій промисловості.

Провідні країни, що розробляють цей вид техніки: Китай, США, Південна Корея, Україна, Європа, Індія.

Предмет пошуку: Фармацевтичні та хімічні реактори.

Мета пошуку інформації є знаходження рішень, що забезпечують ефективне перемішування, точний контроль температури, легкість очищення та стерилізація, мінімізацію ризиків забруднення продукту в процесі виробництва.

Країни пошуку: Китай, Україна, США, Південна Корея.

Класифікаційні індекси: : міжнародна патентна класифікація МПК - B01J 19/18, B01J 19/00, B01F 13/08, B01J3/04, G01N21/03.

Універсальна десяткова класифікація: УДК 66.021

Інформаційні джерела: Google Patents, Espacenet, Укрпатент, USPTO.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

4. Технічна характеристика реактора

Апарат призначений для приготування розчину дексалону

- | | |
|---|---------------------|
| 1. Об'єм апарата | 1 м ³ ; |
| 2. Коефіцієнт заповнення апарата | 0,8; |
| 3. Температура робочого середовища | 40 °С; |
| 4. Витрати води охолодженої | 0,594 кг/с; |
| 5. Тиск води охолодженої в сорочці | 0,3 МПа; |
| 6. Потужність приводу | 0,4 кВт; |
| 7. Перемішуючий пристрій – мішалка турбінна | |
| 8. Діаметр мішалки | 0,3 м; |
| 9. Частота обертання | 3 с ⁻¹ ; |
| 10. Габарити | |
| – висота | 2810 мм; |
| – довжина | 1520 мм; |
| – ширина | 1520 мм; |
| 11. Маса реактора | 2000 кг; |

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції реактора

5.1. Матеріальний баланс

Мета розрахунку – визначення об'єму, необхідного для проходження процесу, вибір реактора відповідного розміру і визначення типу перемішуючого пристрою, для ефективного перебігу перемішування.

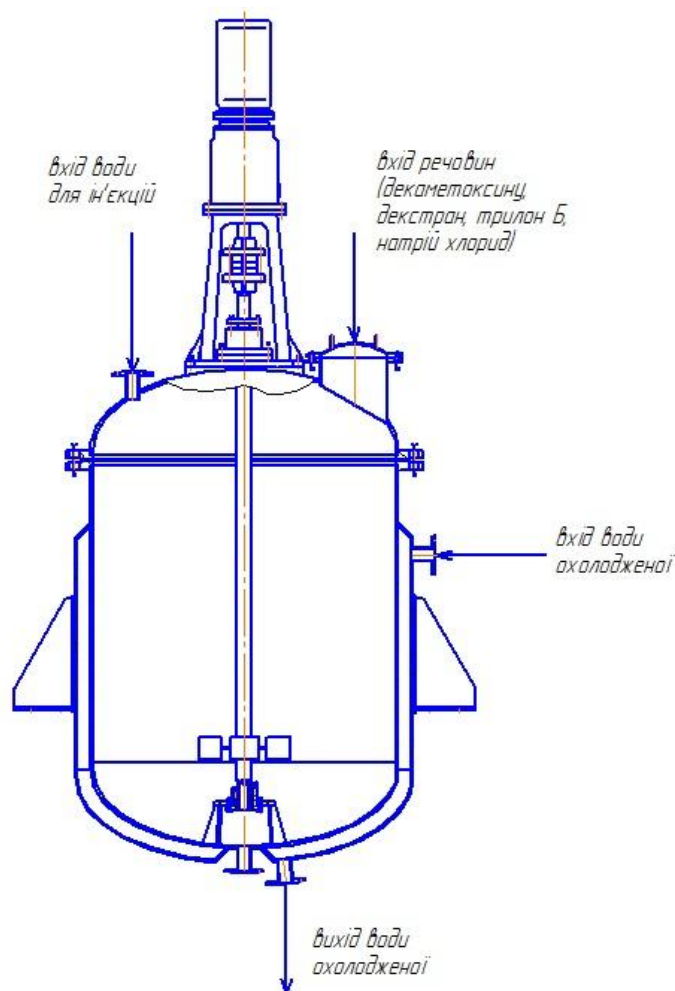


Рисунок 5.1. Кінематична схема реактора

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запишемо маси і об'єми вхідних речовин:

– декаметоксин

$$m_{\text{декам}} = 0,144 \text{ кг};$$

$$V_{\text{декам}} = \frac{m_{\text{декам}}}{\rho_{\text{декам}}} = \frac{0,144}{1106} = 0,00013 \text{ м}^3,$$

де $\rho_{\text{декам}} = 1106 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина декаметоксину [11];

– вода для ін'єкцій

$$m_{\text{в}} = 674,56 \text{ кг};$$

$$V_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{674,56}{992} = 0,68 \text{ м}^3,$$

де $\rho_{\text{в}} = 992 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина води для ін'єкцій [14];

– декстран

$$m_{\text{дек}} = 41,846 \text{ кг};$$

$$V_{\text{дек}} = \frac{m_{\text{дек}}}{\rho_{\text{дек}}} = \frac{41,846}{1620} = 0,026 \text{ м}^3,$$

де $\rho_{\text{дек}} = 1620 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина декстрану [11];

– трилон Б

$$m_{\text{т}} = 0,136 \text{ кг};$$

$$V_{\text{т}} = \frac{m_{\text{т}}}{\rho_{\text{т}}} = \frac{0,136}{1020} = 0,0001333 \text{ м}^3,$$

де $\rho_{\text{т}} = 1020 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина трилону Б [11];

– натрію хлориду

$$m_{\text{нх}} = 6,18 \text{ кг};$$

$$V_{\text{нх}} = \frac{m_{\text{нх}}}{\rho_{\text{нх}}} = \frac{6,18}{1189} = 0,0052 \text{ м}^3,$$

де $\rho_{\text{нх}} = 1189 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина натрій хлориду [12].

					БІ-110461024 -40 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, рівняння матеріального балансу матиме вигляд:

$$m_{\text{декам}} + m_{\text{в}} + m_{\text{дек}} + m_{\text{т}} + m_{\text{нх}} = m_{\text{д}}.$$

Знаходимо масу вихідного продукту – дексалону:

$$m_{\text{д}} = 0,144 + 674,56 + 41,846 + 0,136 + 6,18 = 722,866 \text{ кг}.$$

Густина дексалону знаходиться за формулою:

$$\rho_{\text{д}} = \frac{1}{\frac{x_{\text{декам}}}{\rho_{\text{декам}}} + \frac{x_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} + \frac{x_{\text{дек}}}{\rho_{\text{дек}}} + \frac{x_{\text{тб}}}{\rho_{\text{тб}}} + \frac{x_{\text{нх}}}{\rho_{\text{нх}}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1,992 \cdot 10^{-4}}{1106} + \frac{0,933}{992} + \frac{0,058}{1620} + \frac{1,881 \cdot 10^{-4}}{1020} + \frac{8,549 \cdot 10^{-3}}{1189}} = 1016 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

де $x_{\text{декам}}$ – масова доля декаметоксину в середовищі, $x_{\text{декам}} = \frac{m_{\text{декам}}}{m_{\text{д}}} = 1,992 \cdot 10^{-4}$;

$x_{\text{в}}$ – масова доля води для ін'єкцій в середовищі, $x_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{д}}} = 0,933$;

$x_{\text{дек}}$ – масова доля декстрину в середовищі, $x_{\text{дек}} = \frac{m_{\text{дек}}}{m_{\text{д}}} = 0,058$;

$x_{\text{тб}}$ – масова доля трилону Б в середовищі, $x_{\text{тб}} = \frac{m_{\text{тб}}}{m_{\text{д}}} = 1,881 \cdot 10^{-4}$;

$x_{\text{нх}}$ – масова доля натрій хлориду в середовищі, $x_{\text{нх}} = \frac{m_{\text{нх}}}{m_{\text{д}}} = 8,549 \cdot 10^{-3}$.

Об'єм отриманого дексалону дорівнює:

$$V_{\text{д}} = \frac{m_{\text{д}}}{\rho_{\text{д}}} = \frac{722,866}{1016} = 0,711 \text{ м}^3,$$

де $\rho_{\text{д}}$ – густина дексалону.

Загальний об'єм середовища у реакторі:

$$V_{\text{с}} = 0,00013 + 0,68 + 0,026 + 0,0001333 + 0,0052 = 0,711 \text{ м}^3.$$

Розраховуємо об'єм апарата:

$$V = \frac{V_{\text{с}}}{\varphi} = \frac{0,711}{0,8} = 0,889 \text{ м}^3.$$

де $\varphi = 0,8$ – коефіцієнт заповнення апарата.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Обираємо реактор з номінальним об'ємом $V = 1\text{м}^3$ з рубашкою для охолодження та діаметром $D = 1000\text{мм}$ із турбінною мішалкою, яка забезпечує взаємне розчинення рідин, рівномірне розподілення твердих та волокнистих частинок в рідині.

Час, необхідний для проведення процесу:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 = 1 + 1,5 + 1 + 1 + 0,5 + 17 = 22\text{год}.$$

де $\tau_1 = 1$ год – час стерилізації апарата;

$\tau_2 = 1,5$ год – час завантаження вхідних продуктів;

$\tau_3 = 1$ год – час процесу перемішування;

$\tau_4 = 1$ год – час на взяття проби;

$\tau_5 = 0,5$ год – час циркуляції через фільтр;

$\tau_6 = 17$ год – час вивантаження кінцевого продукту.

Продуктивність реактора:

$$W = \frac{V_d}{\tau} = \frac{0,711}{22} = 0,032 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

5.2. Конструктивний розрахунок

5.2.1. Розрахунок глибини воронки

Мета розрахунку – визначити, що розрахункова глибина воронки $h_{\text{вор}}$ не перевищує критичну глибину $h_{\text{кр}}$ та визначити положення мішалки.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

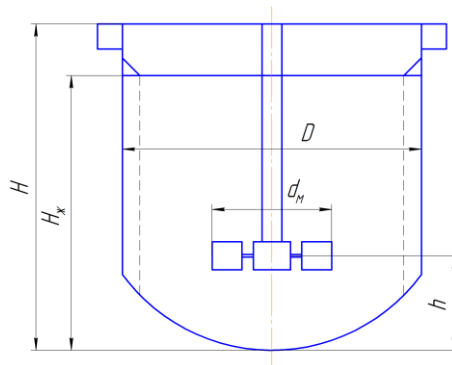


Рисунок 5.2. Розрахункова схема для турбінної мішалки

При роботі обертальних механічних мішалок на поверхні рідини виникає воронка, глибина якої росте із збільшенням частоти обертання мішалки (в граничному випадку вона може досягнути днища апарата). Це явище негативно впливає на ефективність перемішування та значно знижує стійкість роботи мішалки.

Глибина воронки в апараті без перегородок визначається за рівнянням:

$$h_{\text{вор}} = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_m^2}{2 \cdot g},$$

де d_m – діаметр турбінної мішалки,

n – частота обертання мішалки,

B – коефіцієнт пропорційності.

Рівень рідини в апараті до початку перемішування:

$$H_p = \frac{\varphi \cdot V}{\pi \cdot R^2} = \frac{0,8 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,5^2} = 0,906 \text{ м}.$$

Для визначення глибини воронки в апараті визначимо параметр φ , при коефіцієнті заповнення $\eta = 0,8$ і висоті рівня розчину $H_p = 0,906 \text{ м}$:

$$\varphi = 8 \cdot \frac{H_p}{D} + 1 = 8 \cdot \frac{0,906}{1} + 1 = 7,245.$$

Коефіцієнт висоти рівня рідини в апараті:

$$k_n = \sqrt{\frac{H_p}{D}} = \sqrt{\frac{0,906}{1}} = 0,952.$$

В'язкість середовища знаходиться по формулі:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\mu_c = \mu_p \cdot \left[1 + 2,5 \cdot \left(\frac{V_{декам}}{V_c} + \frac{V_v}{V_c} + \frac{V_{декс}}{V_c} + \frac{V_{тб}}{V_c} + \frac{V_{нх}}{V_c} \right) \right] = 2,299 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Оптимальне число обертів мішалки при $\omega = 2,8$ знаходиться по формулі:

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d_m} = \frac{2,8}{3,14 \cdot 0,3} = 2,971 \text{ с}^{-1},$$

де d_m – діаметр мішалки, $d_m = 0,3 \text{ м}$ [12].

Критерій Рейнольдса визначається за формулою :

$$\text{Re}_{\text{від}} = \frac{\rho_d \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_c} = \frac{1016 \cdot 3 \cdot 0,3^2}{2,299 \cdot 10^{-3}} = 1,182 \cdot 10^5.$$

Для турбінних мішалок значення параметру $\xi_m = 8,4$.

Визначимо параметр гідравлічного опору:

$$E = \frac{\varphi}{\xi_m \cdot \text{Re}_{\text{від}}^{0,25}} = \frac{7,245}{8,4 \cdot (1,182 \cdot 10^5)^{0,25}} = 0,047.$$

При цих значеннях $E = 0,047$ за номограмою визначаємо параметр глибини воронки $B = 7$.

Отже глибина воронки в апараті, що визначається за формулою:

$$h_{\text{вор}} = \frac{7 \cdot 3^2 \cdot 0,3^2}{2 \cdot 9,8} = 0,283 \text{ м}.$$

Допустима глибина воронки :

$$h_{\text{кр}} = H_{\text{розч}} - h,$$

$h_{\text{кр}} = H_{\text{розч}} - 0,5d_m$, за таблицею, $h/d_m = 0,5$, тоді за формулою:

$$h_{\text{кр}} = 0,906 - 0,15 = 0,756 \text{ м}.$$

В даному розрахунку було визначено, що розрахункова глибина воронки $h_{\text{вор}} = 0,283 \text{ м}$ не перевищує $h_{\text{кр}} = 0,756 \text{ м}$.

5.2.2. Розрахунок потужності приводу мішалки

Мета розрахунку – визначити необхідну потужність двигуна мішалки та

					БІ-110461024 -40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

зробити вибір двигуна.

Розрахунок потужності приводу мішалки робимо за методикою [12].

Визначаємо діаметр вала:

$$d = C \cdot d_m = 0,117 \cdot 0,3 = 0,035 \text{ м},$$

де $C = 0,117$ – для лопатевих мішалок;

$d_m = 0,3 \text{ м}$ – діаметр мішалки.

Приймаємо діаметр валу рівним $d = 0,04 \text{ м}$, згідно з рядом діаметрів валів приводів перемішуючих пристроїв.

Потужність, яка витрачається для подолання тертя в торцевому ущільненні розраховуємо по формулі:

$$N_{\text{ущ}} = 6020 \cdot d^{1,3} = 6020 \cdot 0,04^{1,3} = 91,68 \text{ Вт}.$$

Потужність, яка витрачається на перемішування рідини в апараті:

$$N_m = K_n \cdot \rho_p \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 1,1 \cdot 1016 \cdot 3^3 \cdot 0,3^5 = 71,231 \text{ Вт},$$

де $n = 3 \text{ с}^{-1}$ – частота обертів перемішуючого пристрою;

$K_n = 1,1$ – критерій потужності, визначений за графіком в залежності від величини відцентрового критерію Рейнольдса.

Потужність приводу мішалки розраховуємо по формулі:

$$N_e = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (\sum k + 1) \cdot N_m + N_{\text{ущ}}}{\eta} = \frac{0,906 \cdot 2,5 \cdot (0 + 1) \cdot 71,231 + 91,68}{0,9} = 281,061 \text{ Вт}$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує міру заповнення апарата середовищем, що

перемішується, $k_1 = \frac{H_p}{D} = \frac{0,906}{1} = 0,906$;

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення використаної потужності при пуску або в результаті підвищення опору середовища в процесі перемішування, $k_2 = 2,5$;

$\sum k$ – сума коефіцієнтів, що враховують збільшення потужності, що викликається при наявності в апараті допоміжних пристроїв (враховується лише для перемішуваних середовищ в'язкістю $\mu_c \leq 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$),

					БІ-110461026-40 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\eta = 0,9$ – к.к.д. приводу мішалки.

Вибираємо в якості приводу мішалки мотор-редуктор з потужністю електродвигуна $N_e = 0,4 \text{ кВт} - 3-0,4-0,525 \text{ МН } 5855-66$ [19].

5.3. Тепловий баланс

Мета розрахунку – визначити коефіцієнти теплопередачі, кількість теплоти, яку необхідно відводити та розрахувати витрати охолоджуючої води.

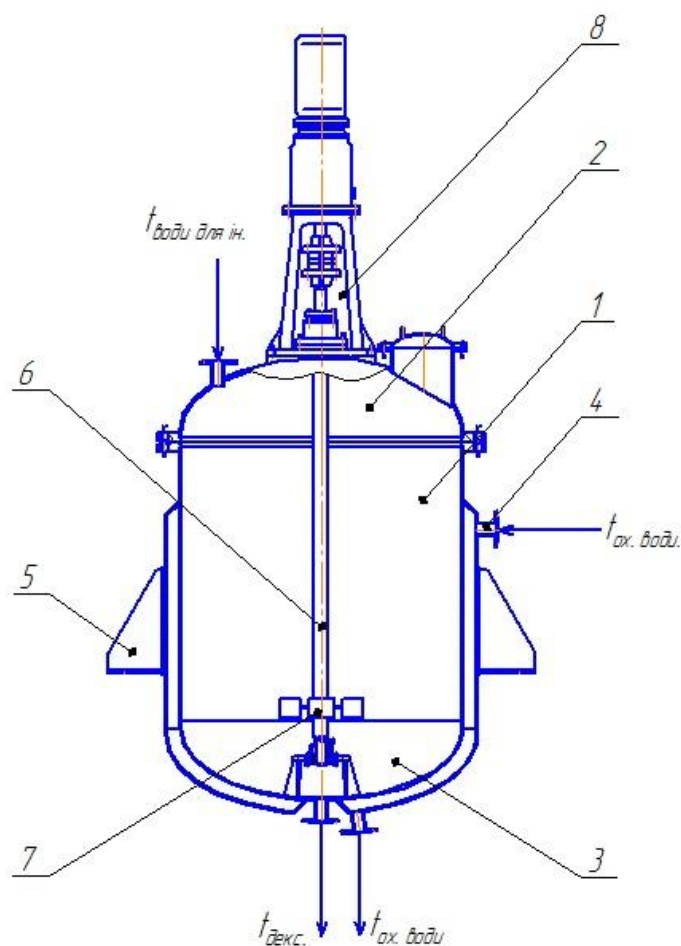


Рисунок 5.3. Схема реактора:

- 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – днище; 4 – штуцер;
5 – опора; 6 – вал; 7 – мішалка; 8 – двигун.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Вихідні дані:

- температура продукту – $t_{1n} = 40^{\circ} C$;
- початкова температура охолодженої води – $t_{2n} = 5^{\circ} C$;
- кінцева температура охолодженої води – $t_{2к} = 15^{\circ} C$;
- температура кінцевого продукту – $t_{1к} = 20^{\circ} C$.

Рівняння теплового балансу буде мати вигляд:

$$Q = Q_1 + N - Q_{\text{втр}} ,$$

- де Q_1 – кількість теплоти, затрачена на охолодження;
 $Q_{\text{втр}}$ – витрати теплоти в навколишнє середовище;
 N_e – потужність, котра витрачається на перемішування.

Коефіцієнт теплопередачі від розчину до води через стінку реактора:

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} ,$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої поверхні реактора, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні реактора до води, що охолоджує, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

$\frac{\delta_1}{\lambda_{cm}}$ – термічний опір стінки;

δ_1 – товщина стінки;

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності стінки.

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{\theta} = t_{1n} - t_{2к} = 40 - 15 = 25^{\circ} C ,$$

$$\Delta t_m = t_{1к} - t_{2n} = 20 - 5 = 15^{\circ} C .$$

					БІ-110461026-40 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

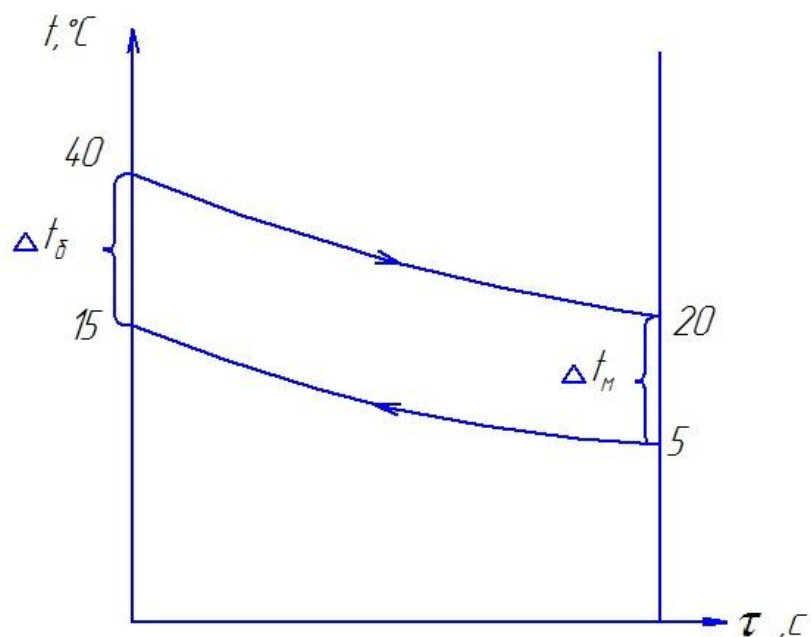


Рисунок 5.4. Схема характеру зміни руху температур холодоносіїв
вздовж поверхні

З огляду на те, що $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} = \frac{25}{15} = 1,667 < 2$, визначаємо середню температуру за формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{2} = \frac{25 - 15}{2} = 20^{\circ} \text{C}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої поверхні реактора:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_p}{d_m}.$$

Критерій Прандтля:

$$Pr_c = \frac{c_c \cdot \mu_c}{\lambda_c} = \frac{4179 \cdot 2,299 \cdot 10^{-3}}{0,63} = 15,253,$$

де $c_c = 4179 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$ – теплоємність середовища, що перемішується,

$\lambda_c = 0,63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$ – коефіцієнт теплопровідності середовища, що перемішується.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Критерій Нуссельта матиме вигляд:

$$Nu_1 = C \cdot Re_{\text{сид}}^m \cdot Pr_c^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{cm}} \right)^{0,14} \cdot \Gamma^{-1} =$$

$$= 0,36 \cdot (1,182 \cdot 10^5)^{0,67} \cdot (15,253)^{0,33} \cdot \left(\frac{2,299 \cdot 10^{-3}}{0,8788 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} (3,333)^{-1} = 760,322,$$

де $d_m = 0,3 \text{ м}$ – діаметр мішалки;

$\mu_p = 2,299 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини;

$\mu_{p.cm} = 8788 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості при температурі стінки,

$$\Gamma = \frac{D}{d_m} = \frac{1}{0,3} = 3,333.$$

Для апаратів з рубашкою $C = 0,36$, $m = 0,67$.

Отже, коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої поверхні корпусу реактора:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_p}{d_m} = \frac{760,322 \cdot 0,63}{0,3} = 1597 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні корпусу реактора до води, що охолоджує:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_{\text{в}}}{l}.$$

Тепловіддача в середині циліндричної рубашки проходить в умовах вільної конвекції, тому формула для розрахунку коефіцієнту тепловіддачі буде мати вигляд:

$$Nu_2 = C \cdot (Gr \cdot Pr)^a.$$

Значення коефіцієнтів C і a залежать від добутку $Gr \cdot Pr$.

Так як в якості теплоносія використовується вода то добуток $Gr \cdot Pr$ можна розрахувати за спрощеною залежністю:

$$Gr \cdot Pr = H_p^3 \cdot (t_{cm} - \theta_{cp}) \cdot \beta,$$

де H_p – висота стінки апарата;

					БІ-110461024 -40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

t_{cm} – температура стінки апарата;

θ_{cp} – температура теплоносія в рубашці;

$$\theta_{cp} = \frac{t_{2n} + t_{2к}}{2} = \frac{5 + 15}{2} = 10^\circ \text{C},$$

$$t_{cm} = \frac{t_p + \theta_{cp}}{2} = \frac{40 + 10}{2} = 25^\circ \text{C},$$

$\beta = 8 \cdot 10^9$ – коефіцієнт температурного розширення;

$$Gr \cdot Pr = 0,906^3 \cdot (25 - 10) \cdot 8 \cdot 10^9 = 8,914 \cdot 10^{10}.$$

Так як $Gr \cdot Pr = 8,914 \cdot 10^{10} > 10^9$ то коефіцієнти $C = 0,15$ і $a = 0,33$.

$$Nu_2 = 0,15 \cdot (8,914 \cdot 10^{10})^{0,33} = 616,041.$$

Отже, коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні корпусу реактора до води, що охолоджує дорівнюватиме:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_s}{l} = \frac{616,041 \cdot 0,575}{0,999} = 354,578 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де $l = 0,999 \text{ м}$ – висота рубашки.

Коефіцієнт теплопередачі дорівнює:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1597} + \frac{0,008}{46,5} + \frac{1}{354,578}} = 276,35 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де $\lambda = 46,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ – теплопровідність стінки;

$\delta_1 = 0,006 \text{ м}$ – товщина стінки.

В свою чергу кількість теплоти затраченої на охолодження:

$$Q_1 = \frac{(c_{an} \cdot m_{an} + c_p \cdot m_p) \cdot \Delta t}{3600} = \frac{(515 \cdot 2000 + 4179 \cdot 722,866) \cdot 20}{3600} = 2,25 \cdot 10^4 \text{ Вт}.$$

Витрати теплоти в навколишнє середовище:

$$Q_{втр} = 0,1 \cdot Q_1 = 0,1 \cdot 2,25 \cdot 10^4 = 2,25 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Загальна кількість теплоти з рівняння теплового балансу:

$$Q = 2,25 \cdot 10^4 + 2,25 \cdot 10^3 = 2,476 \cdot 10^4 \text{ Вт}.$$

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Поверхня теплообміну необхідна для ведення процесу буде дорівнювати:

$$F_n = \frac{Q}{k_F \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2,476 \cdot 10^4}{276,35 \cdot 20} = 4,479 \text{ м}^2.$$

Відхилення від площі теплообміну обраного реактора складе:

$$\varphi = \frac{F_a - F_n}{F_a} \cdot 100\% = \frac{4,5 - 4,479}{4,5} \cdot 100\% = 0,4675\%.$$

Це відхилення є допустимим. Отже, обраний реактор забезпечує потрібну площу поверхні теплообміну, що підтверджує правильність його вибору.

Перерахуємо кількість теплоти Q , знаючи реальну поверхню теплообміну:

$$Q_F = k_F \cdot F_a \cdot \Delta t_{cp} = 276 \cdot 4,5 \cdot 20 = 2,487 \cdot 10^4 \text{ Вт}.$$

Витрати води для охолодження розчину:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_{e_2} - t_{e_1})} = \frac{2,487 \cdot 10^4}{4197 \cdot (15 - 5)} = 0,594 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

де $c_2 = 4197 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – теплоємність води.

Визначимо швидкість води в рубашці:

$$w = \frac{4 \cdot G_2}{\rho_2 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D^2)} = \frac{4 \cdot 0,594}{1000 \cdot 3,14 \cdot (1,2^2 - 1^2)} = 0,001718 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Добираємо стандартний реактор з наступними параметрами:

Поверхня теплообміну $F_n = 4,5 \text{ м}^2$.

Діаметр корпусу апарата $D = 1000 \text{ мм}$.

Висота апарата $l = 2820 \text{ мм}$.

Діаметр мішалки $d_m = 300 \text{ мм}$.

Діаметр рубашки $D_{руб} = 1100 \text{ мм}$.

Довжина вільоту валу $l = 2000 \text{ мм}$.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

5.4. Розрахунки на міцність

5.4.1. Розрахунок на міцність рубашки, навантаженої внутрішнім тиском

Мета розрахунку – визначення необхідної товщини стінки та перевірка умови міцності стінки рубашки.

Розрахунок рубашки на міцність виконуємо за ГОСТ 14249-89. Розрахункова схема представлена на рис. 5.5.

Розрахуємо на міцність рубашку апарата, навантаженої внутрішнім тиском за наступними вихідними даними:

- тиск охолодженої води прямої $p = 0,3 \text{ МПа}$;
- внутрішній діаметр обичайки $D = 1 \text{ м}$;
- довжина циліндричної частини $l = 1 \text{ м}$;
- матеріал рубашки сталь 10Х17Н13М2Т;
- час роботи апарата $\tau = 20 \text{ років}$.

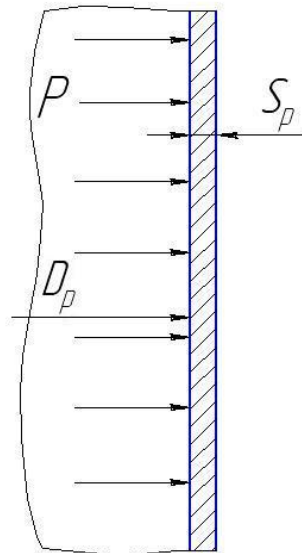


Рисунок 5.5. Розрахункова схема рубашки, навантаженої внутрішнім тиском: P – внутрішній тиск, що діє на обичайку; s_R – розрахункова товщина стінки обичайки; D_p – внутрішній діаметр обичайки.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_R = \frac{p_{\text{сп}} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p_{\text{сп}}} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 1}{2 \cdot 160 \cdot 10^6 - 0,3 \cdot 10^6} = 0,9384 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ – допустиме навантаження для сталі 10Х17Н13М2Т при температурі стінки 10°C .

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 = (0,9384 + 1 + 0,4 + 0) \cdot 10^{-3} = 2,3384 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де c_1 – прибавка на компенсацію корозії,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,1 \text{ мм/рік}$;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка. Приймаємо $c_3 = 0$.

Приймаємо товщину стінки $S = 6 \text{ мм}$.

Допустимий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{D + S - c} = \frac{2 \cdot 160 \cdot (0,006 - 0,0014)}{1 + 0,006 - 0,0014} = 1,719 \text{ МПа}.$$

$$p \leq [p];$$

$$0,3 \text{ МПа} \leq 1,719 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності виконується.

5.4.2. Розрахунок на міцність обичайки корпусу, навантаженої зовнішнім

ТИСКОМ

Мета розрахунку – визначення необхідної товщини стінки та перевірка умови міцності стінки обичайки.

Розрахунок на міцність обичайки, навантаженої зовнішнім тиском

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконуємо за методикою, викладеною в [13]. Розрахункова схема представлена на рис. 5.6.

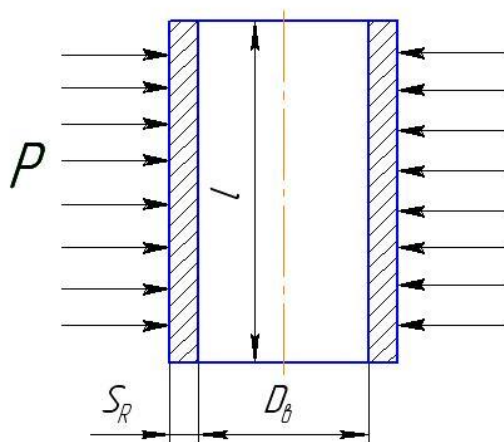


Рисунок 5.6. Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої зовнішнім тиском: P – внутрішній тиск, що діє на обичайку; s_R – розрахункова товщина стінки обичайки; $D_в$ – внутрішній діаметр обичайки, l – висота обичайки реактора.

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_R = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot P_R \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = \max \left\{ 0,5 \cdot 1 \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot 0,3 \cdot 10^6 \cdot 1}{2 \cdot 160 \cdot 10^6} \right\} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ – допустиме навантаження для сталі 12Х18Н10Т при температурі стінки 35°C [55];

K_2 – коефіцієнт, що визначається в залежності від K_1 і K_3 , $K_2 = 0,5$;

$$K_1 = \frac{n_y \cdot P_R}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = \frac{2,4 \cdot 0,3}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 1,515; \quad K_3 = \frac{l_R}{D} = \frac{0,9}{1} = 0,9.$$

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 = (1 + 1 + 0,4 + 0) \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де c_1 – прибавка на компенсацію корозії,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,1 \text{ мм/рік}$;

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка. Приймаємо $c_3 = 0$.

Приймаємо товщину стінки $S = 8 \text{ мм}$.

Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 160 \cdot 10^6 \cdot (8 - 1,4) \cdot 10^{-3}}{1 + (8 - 1,4) \cdot 10^{-3}} = 2,035 \text{ МПа}.$$

Допустимий тиск з умови стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [P]_E &= \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l_R} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (S - c)}{D}} = \\ &= \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{1}{0,9} \cdot \left(\frac{100 \cdot (8 - 1,4) \cdot 10^{-3}}{1} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (8 - 1,4) \cdot 10^{-3}}{1}} = 0,59 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

де $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості;

$l_R = 0,9 \text{ м}$ – розрахункова довжина частини обичайки, що навантажена зовнішнім тиском;

$$\begin{aligned} B_1 &= \min \left\{ 1; 8,15 \cdot \frac{D}{l_R} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - c)}} \right\} = \min \left\{ 1; 8,15 \cdot \frac{1}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{1}{100 \cdot (8 - 1,4) \cdot 10^{-3}}} \right\} = \\ &= \min \{ 1; 11,147 \} = 1. \end{aligned}$$

Допустимий зовнішній тиск дорівнює:

$$[P] = \frac{[P]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_p}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{2,035 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,035 \cdot 10^6}{0,59 \cdot 10^6} \right)^2}} = 0,566 \text{ МПа}.$$

$$p \leq [p];$$

$$0,3 \text{ МПа} \leq 0,566 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності виконується.

5.4.3. Розрахунок на міцність днища рубашки, навантаженого внутрішнім

ТИСКОМ

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета розрахунку – визначення необхідної товщини стінки та перевірка умови міцності стінки днища рубашки.

Розрахунок днища рубашки на міцність виконуємо за методикою, викладеною в [14]. Розрахункова схема представлена на рис. 5.7.

Розрахункова товщина днища:

$$S_R = \frac{p_{cp} \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 p_{cp}} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 1}{2 \cdot 160 \cdot 10^6 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,3 \cdot 10^6} = 0,9379 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ – допустиме навантаження для сталі 10Х17Н13М2Т при температурі стінки 10°C ;

R – радіус кривини у вершині днища,

$$R = \frac{D^2}{4H_o} = \frac{1^2}{4 \cdot 0,25} = 1 \text{ м}.$$

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 = (0,9379 + 1 + 0,4 + 0) \cdot 10^{-3} = 2,3379 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де c_1 – прибавка на компенсацію корозії,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,1 \text{ мм / рік}$;

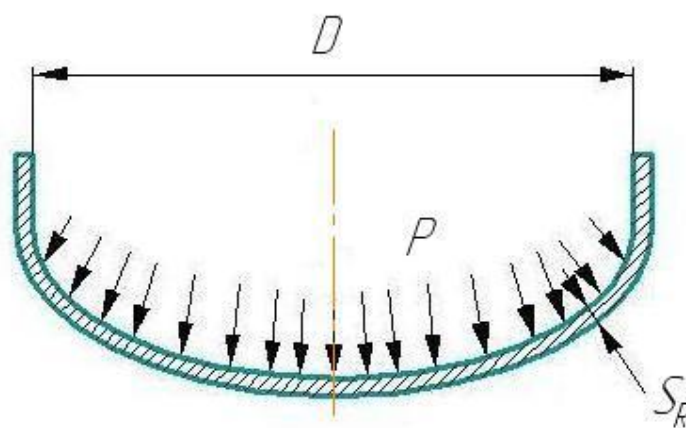


Рисунок 5.7. Схема днища рубашки навантаженого надлишковим внутрішнім тиском: P – внутрішній тиск, що діє на обичайку; S_R – розрахункова товщина стінки обичайки; D – внутрішній діаметр обичайки.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка. Приймаємо $c_3 = 0$.

Приймаємо товщину стінки $S = 6 \text{ мм}$.

Допустимий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{R + 0,5 \cdot (S - c)} = \frac{2 \cdot 160 \cdot (0,006 - 0,0014)}{1 + 0,5 \cdot (0,006 - 0,0014)} = 1,469 \text{ МПа}.$$

$$p \leq [p];$$

$$0,3 \text{ МПа} \leq 1,469 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності виконується.

Менша піввісь еліпса:

$$a = \frac{D}{2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ м}.$$

Більша піввісь еліпса:

$$b = H_o = \frac{D}{4} = 0,25 \text{ м}.$$

Визначимо радіуси R_1 та R_2 , відповідні осьові та кільцеві сили, осьові та кільцеві навантаження для випадків п'яти точок при $\varphi_1 = 0^\circ$, $\varphi_2 = 22,5^\circ$, $\varphi_3 = 45^\circ$, $\varphi_4 = 67,5^\circ$, $\varphi_5 = 90^\circ$. Проведемо розрахунки для першої точки $\varphi_1 = 0^\circ$.

$$R_1 = \frac{a^2 \cdot b^2}{\sqrt{(a^2 \cdot \sin^2 \varphi + b^2 \cdot \cos^2 \varphi)^3}} = \frac{0,5^2 \cdot 0,25^2}{\sqrt{(0,5^2 \sin^2 0 + 0,25^2 \cos^2 0)^3}} = 1 \text{ м};$$

$$R_2 = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \varphi + b^2 \cdot \cos^2 \varphi}} = \frac{0,5^2}{\sqrt{0,5^2 \sin^2 0 + 0,25^2 \cos^2 0}} = 1 \text{ м};$$

$$N_1 = \frac{p_{\varphi} \cdot R_2}{2} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 1}{2} = 0,15 \text{ МН / м};$$

$$T_1 = R_2 \cdot \left(p_{\varphi} - \frac{N_1}{R_1} \right) = 1 \cdot \left(0,3 \cdot 10^6 - \frac{0,15 \cdot 10^6}{1} \right) = 0,15 \text{ МН / м};$$

$$\sigma_{N1} = \frac{N_1}{S} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,006} = 25 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{T1} = \frac{T_1}{S} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,006} = 25 \text{ МПа}.$$

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналогічно проведемо розрахунки для інших чотирьох точок і отримані дані занесемо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

Аналіз напруженого стану

φ	$R_1, м$	$R_2, м$	$N, МН / м$	$T, МН / м$	$\sigma_N, МПа$	$\sigma_T, МПа$
0°	1	1	0,15	0,15	25	25
$22,5^\circ$	0,579	0,834	0,1251	0,07	20,838	11,683
45°	0,253	0,632	0,0948	-0,047	15,811	-7,906
$67,5^\circ$	0,149	0,53	0,079	-0,124	13,25	-20,674
90°	0,125	0,5	0,075	-0,15	12,5	-25

Побудуємо епюри осьових та кільцевих напружень днища рубашки (рис. 5.8).

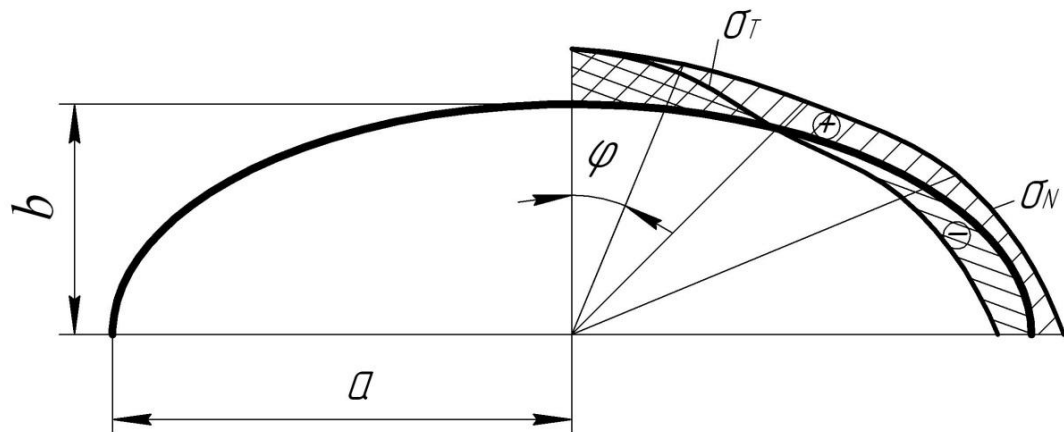


Рисунок 5.8. Епюри осьових та кільцевих напружень днища рубашки:

a – менша піввісь еліпса; b – більша піввісь еліпса; σ_N – осьове навантаження на днище рубашки; σ_T – кільцеве навантаження на днище рубашки.

5.4.4. Розрахунок на міцність днища обичайки, навантаженого зовнішнім

ТИСКОМ

Мета розрахунку – визначення необхідної товщини стінки та перевірка умови міцності стінки днища обичайки.

Розрахунок на міцність днища обичайки, навантаженого зовнішнім тиском виконуємо за методикою, викладеною в [14]. Розрахункова схема представлена на рис. 5.9.

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_R = \max \left\{ \frac{K_e \cdot R}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P}{10^{-6} \cdot E}}; \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = \max \left\{ \frac{0,943 \cdot 0,5}{510} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^6}}; \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,5}{2 \cdot 160 \cdot 10^6} \right\} =$$

$$= \max \{ 3,508 \cdot 10^{-3}; 9,375 \cdot 10^{-4} \} = 0,9375 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ – допустиме навантаження для сталі 12Х18Н10Т при температурі стінки 35°C ;

$K_e = 0,943$ – коефіцієнт приведення радіуса кривизни для еліптичного днища, прийнятий для попереднього розрахунку;

$n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості;

R – радіус кривизни у вершині днища,

$$R = \frac{D^2}{4H_0} = \frac{1^2}{4 \cdot 0,25} = 1 \text{ м}.$$

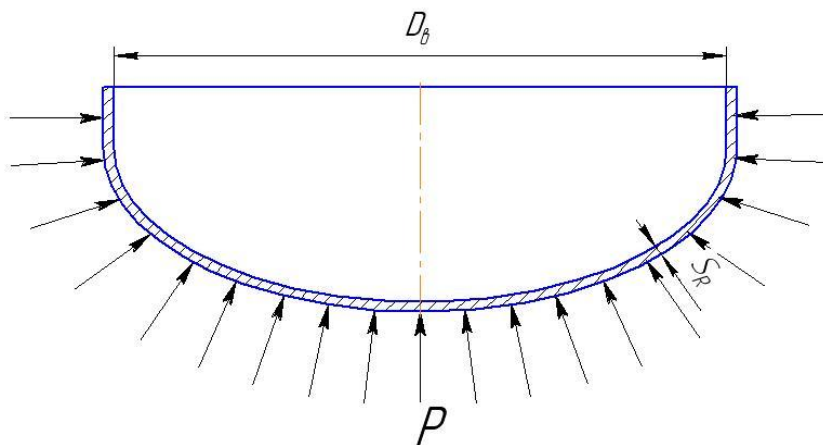


Рисунок 5.9. Схема еліптичного днища навантаженого надлишковим внутрішнім тиском: P – внутрішній тиск, що діє на обичайку; S_R – розрахункова товщина стінки обичайки; D_0 – внутрішній діаметр обичайки.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = S_R + c_1 + c_2 + c_3 = (1,064 + 1 + 0,4 + 0) \cdot 10^{-3} = 2,515 \cdot 10^{-3} \text{ м ,}$$

де c_1 – прибавка на компенсацію корозії,

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м ,}$$

Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,1 \text{ мм / рік}$;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка. Приймаємо $c_3 = 0$.

Приймаємо товщину стінки $S = 8 \text{ мм}$.

Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{R + (S - c)} = \frac{2 \cdot 160 \cdot 10^6 \cdot (8 - 1,4) \cdot 10^{-3}}{1 + (8 - 1,4) \cdot 10^{-3}} = 2,098 \text{ МПа .}$$

Допустимий тиск з умови стійкості в границях пружності:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_y} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{K_e R} \right) = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left(\frac{100 \cdot (8 - 1,4) \cdot 10^{-3}}{0,0943 \cdot 1} \right) = 1,516 \text{ МПа ,}$$

де K_e – коефіцієнт приведення радіуса кривизни для еліптичного днища:

$$K_e = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3 + 10 \cdot x) \cdot x} = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot 0,099) \cdot 0,099}{1 + (3 + 10 \cdot 0,099) \cdot 0,099} = 0,0943 ;$$

$$x = 10 \cdot \frac{S - c}{D} \cdot \left(\frac{D}{2H_\delta} - \frac{2H_\delta}{D} \right) = 10 \cdot \frac{(8 - 1,4) \cdot 10^{-3}}{1} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 0,25} - \frac{2 \cdot 0,25}{1} \right) = 0,099 .$$

Допустимий зовнішній тиск дорівнює:

$$[P] = \frac{[P]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_p}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{2,098 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,098 \cdot 10^6}{1,516 \cdot 10^6} \right)^2}} = 1,229 \cdot 10^6 \text{ МПа .}$$

$$p \leq [p];$$

$$0,3 \text{ МПа} \leq 1,229 \text{ МПа} .$$

Отже, умова міцності виконується.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

5.5. Розрахунок вала перемішуючого пристрою

5.5.1. Розрахунок вала на вібростійкість

Мета розрахунку – перевірка умови вібростійкості вала.

Для апарата з частотою обертання вала $n = 180 \text{ об/хв}$, та потужністю привода $N_e = 0,4 \text{ кВт}$ вибираємо привод 3-1,5-1,04 МН 5855-І з кінцевою опорою вала. Для розрахунку вала перемішуючого пристрою приводимо його принципову схему до розрахункової.

Схема вала перемішуючого пристрою представлена на рис. 5.3.10.

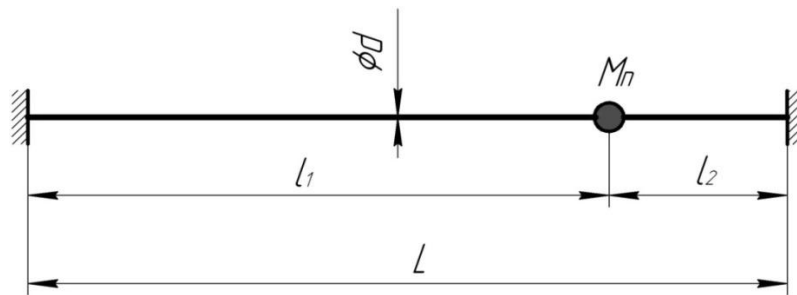


Рисунок 5.10. Схема вала перемішуючого пристрою

Розрахунковий крутний момент на валу з перемішуючим пристроєм розраховується по формулі:

$$M_{\kappa} = \frac{N_e}{\omega} = \frac{400}{18,8} = 21,277 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Лінійні розміри вала та його ділянок дорівнюють [14]: $l_1 = 1,794 \text{ м}$; $l_2 = 0,206 \text{ м}$; $L = 2 \text{ м}$. Розрахункова схема вала представлена на рис. 5.3.11.

Попередньо мінімальний діаметр вала d :

$$d = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{\kappa}}{\tau_{\phi}}} = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{21,277}{24 \cdot 10^6}} = 0,016 \text{ м},$$

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\tau_o = 24 \text{ МПа}$ – допустиме навантаження на кручення для матеріалу вала – сталі 12Х18Н10Т.



Рисунок 5.11. Розрахункова схема вала перемішуючого пристрою [13]

Оскільки раніше знайдений в розрахунку потужності діаметр вала становить $d = 0,04 \text{ м}$, то остаточно приймаємо цю величину рівною $d = 0,04 \text{ м}$ згідно з рядом діаметрів валів приводів перемішуючих пристроїв [14].

Маса одиниці довжини вала:

$$m = \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = 7900 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,04^2 = 9,927 \text{ кг / м},$$

де $\rho = 7900 \text{ кг / м}^3$ – густина матеріалу вала.

Для розрахунку першої критичної швидкості необхідно знайти корінь частотного рівняння α , що є функцією коефіцієнтів $\alpha = f(K, a_1, a_2)$.

$$K = \frac{M_n}{m \cdot L} = \frac{4}{9,927 \cdot 2} = 0,201,$$

де $M_n = 4 \text{ кг}$ – маса власне перемішуючого пристрою [14].

$$a_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{1,794}{2} = 0,897;$$

$$a_2 = \frac{l_2}{L} = \frac{0,206}{2} = 0,103.$$

Згідно графіку залежності $\alpha = f(K, a_1, a_2)$ знаходимо: $\alpha = 4,7$ [15].

Перша критична швидкість вала розраховується за формулою:

$$\omega_{01} = \frac{\alpha^2}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}} = \frac{4,7^2}{2^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5 \cdot 1,257 \cdot 10^{-7}}{9,927}} = 278 \text{ рад / с},$$

де $J = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 0,04^4 = 1,257 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$ – момент інерції поперечного перетину

вала;

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль пружності сталі 12Х18Н10Т.

Критична швидкість більша, ніж максимальна швидкість для обраного приводу, яка становить $18,8 \text{ рад/с}$.

Умова роботи жорсткого валу в докритичній зоні, що є і умовою вібростійкості:

$$\omega \leq 0,7\omega_{01},$$

$$\omega = 18,8 \text{ рад/с} \leq 0,7\omega_{01} = 0,7 \cdot 278 = 194,5 \text{ рад/с}.$$

Отже, умова вібростійкості виконується.

5.5.2. Розрахунок вала на міцність

Мета розрахунку – перевірка умови міцності вала.

Навантаження від крутного моменту:

$$\tau = \frac{M_{\kappa}}{0,2 \cdot d^3} = \frac{21,277}{0,2 \cdot 0,04^3} = 1,662 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий згинаючий момент M_z від дії приведеної відцентрової сили P_y розраховується залежно від розрахункової схеми вала:

$$M_z = P_y \cdot l_1.$$

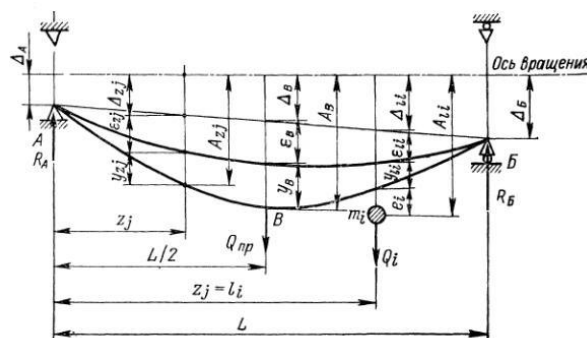


Рисунок 5.12. Схема зсуву осі валу і центрів зосереджених на ньому мас [15]

Приведена відцентрова сила:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_u = M_{np} \cdot \omega^2 \cdot r = 156,579 \cdot 18,8^2 \cdot 7,273 \cdot 10^{-4} = 40,25 H ,$$

де M_{np} – приведена зосереджена маса вала і перемішуючого пристрою,

$$M_{np} = M_n + q \cdot m \cdot L = 4 + 7,685 \cdot 9,927 \cdot 2 = 156,579 \text{ кг} ;$$

q – коефіцієнт приведення розподіленої маси вала до зосередженої маси перемішуючого пристрою,

$$q = \frac{1}{165 \cdot a_1^3 \cdot a_2^3} = \frac{1}{165 \cdot 0,897^3 \cdot 0,103^3} = 7,685 ;$$

r – радіус обертання центру тяжіння приведеної маси вала і перемішуючого пристрою,

$$r = \frac{e'}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{01}} \right)^2} = \frac{7,306 \cdot 10^{-4}}{1 - \left(\frac{18,8}{276,474} \right)^2} = 7,273 \cdot 10^{-4} \text{ м} ;$$

e' – ексцентриситет центру маси перемішуючого пристрою з врахуванням биття вала,

$$e' = e + 0,5 \cdot \delta = 2,306 \cdot 10^{-4} + 0,5 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 7,306 \cdot 10^{-4} \text{ м} ;$$

e – ексцентриситет центру маси перемішуючого пристрою,

$$e = \frac{10^{-3}}{\omega^{0,5}} = \frac{10^{-3}}{18,8^{0,5}} = 2,306 \cdot 10^{-4} \text{ м} ;$$

δ – допустиме биття вала, приймаємо $\delta = 1 \text{ мм}$.

Отже, згинаючий момент від дії приведеної відцентрової сили за формулою [15] дорівнює:

$$M_z = 40,25 \cdot 1,794 = 72,208 H \cdot \text{м} .$$

Навантаження від згинаючого моменту:

$$\sigma_z = \frac{M_z}{0,1 \cdot d^3} = \frac{72,205}{0,1 \cdot 0,04^3} = 11,28 \text{ МПа} .$$

Результуюче навантаження на валу:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_z^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{(11,28 \cdot 10^6)^2 + 4 \cdot (1,168 \cdot 10^6)^2} = 11,76 \text{ МПа} .$$

Умова міцності виконується:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$\sigma_p \leq [\sigma];$$

$$11,76 \text{ МПа} \leq 160 \cdot 10^6 \text{ МПа}.$$

5.5.3. Розрахунок вала на жорсткість

Мета розрахунку – перевірка умови жорсткості вала.

Прогин вала в місці встановлення сальникового ущільнення повинен бути менше допустимого $0,04_{\text{мм}}$ і дорівнює [15]:

$$y = \frac{P_y \cdot l_2^2 \cdot x^2}{6 \cdot E \cdot J \cdot L^3} \cdot (3 \cdot l_1 \cdot L - 3 \cdot l_1 \cdot x - l_2 \cdot x) = \frac{40,25 \cdot 0,206^2 \cdot 0,099^2}{6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1,257 \cdot 10^{-7} \cdot 2^3} \times \\ \times (3 \cdot 1,794 \cdot 2 - 3 \cdot 1,794 \cdot 0,099 - 0,206 \cdot 0,099) = 1,417 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

$$y < [y];$$

$$1,417 \cdot 10^{-7} \text{ м} < 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Отже, умова жорсткості виконується.

Таким чином, вал діаметром $40_{\text{мм}}$ задовольняє вимогам міцності, жорсткості та вібростійкості.

5.6. Розрахунок сальникового ущільнення

5.6.1. Геометричні параметри елементів конструкції ущільнення

Мета розрахунку – визначення розмірів сальникової набивки.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

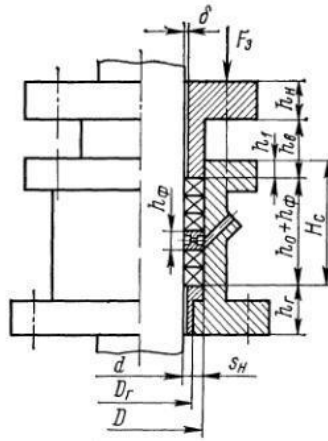


Рисунок 5.13. Схема конструкції сальникової набивки

За робочими умовами вибираємо резинову прокладку з пропиткою марки АП.

Ширина набивки обчислюється за формулою:

$$S' = 1,7\sqrt{d} = 1,7\sqrt{40} = 10,752 \text{ мм},$$

де $d = 40 \text{ мм}$ – діаметр ущільнюваного вала.

Це значення округлюємо до найближчого стандартного значення $S = 12 \text{ мм}$ і приймаємо набивку квадратного перерізу $12 \times 12 \text{ мм}$.

Початкова висота набивки:

$$h_0 = 6 \cdot S = 6 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,072 \text{ м}.$$

Діаметр сальникової камери:

$$D_c = d + 2 \cdot S = 0,04 + 2 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,064 \text{ м}.$$

Висота циліндричної частини натискної втулки:

$$h_g = 0,5 \cdot h_0 = 0,5 \cdot 0,064 = 0,036 \text{ м}.$$

Товщина натискної втулки:

$$h_n = 1,25 \cdot d_\sigma = 1,25 \cdot 0,012 = 0,015 \text{ м},$$

де $d_\sigma = M12$ – діаметр болтів [15].

Внутрішній діаметр різьби болтів:

$$d_\sigma = \sqrt{\frac{3 \cdot (D_c^2 - d^2) \cdot P}{z \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{3 \cdot (0,064^2 - 0,04^2) \cdot 10^{-6} \cdot 0,3 \cdot 10^6}{4 \cdot 35 \cdot 10^6}} = 4,006 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $z = 4$ – кількість болтів [19];

$[\sigma] = 35 \text{ МПа}$ – допустиме навантаження для сальникового ущільнення;

$P = 0,3 \text{ МПа}$ – тиск в апараті.

Величина зазору між валом та грундбуксою (нажимною втулкою):

$$\delta = \min \left\{ \frac{d}{250}; 0,8 \right\} = \min \left\{ \frac{40}{250}; 0,8 \right\} = 0,16 \text{ мм}.$$

Висота грундбукси:

$$h_z = \max \left\{ \frac{d}{3}; 20 \right\} = \max \left\{ \frac{40}{3}; 20 \right\} = 20 \text{ мм}.$$

5.6.2. Розрахунок нажимного зусилля на сальникову набивку

Мета розрахунку – визначення зусилля затягу стяжки.

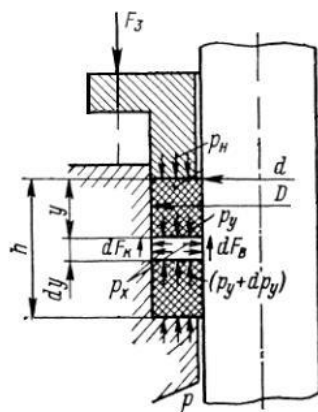


Рисунок 5.14. Розрахункова схема сальника:

h – висота сальникової набивки; F_z – зусилля затягу стяжних шпильок.

Висота набивки в робочому стані з врахуванням усадки під дією нажимного зусилля:

$$h = K_y \cdot h_0 = 0,98 \cdot 0,072 = 0,071 \text{ м},$$

де $K_y = 0,98$ – коефіцієнт усадки пропитаної набивки марки АП при

$S = 12 \text{ мм}$. Коефіцієнт статичного тертя набивки по поверхні вала 8-го класу:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f = \frac{f'}{K_1} = \frac{0,08}{1} = 0,08,$$

де $K_1 = 1$ – коефіцієнт бічного тиску для пропитаної набивки;

$$f' = 0,08 \text{ при } p_y = \frac{P}{K_1} = \frac{0,3}{1} = 0,3 \text{ МПа}.$$

Зусилля затягу стяжних шпильок знаходимо за формулою:

$$F_3 = \frac{\pi \cdot (D_c^2 - d^2) \cdot P_z}{4 \cdot K} \cdot e^{\frac{2K \cdot f \cdot h}{s}} = \frac{3,14 \cdot (0,074^2 - 0,04^2) \cdot 0,3 \cdot 10^6}{4 \cdot 0,75} \cdot e^{\frac{2 \cdot 0,75 \cdot 0,08 \cdot 0,071}{0,012}} = 2,128 \text{ МН},$$

де $K = 0,75K_1 = 0,75 \cdot 1 = 0,75$ – коефіцієнт бічного тиску при $S = 12 < 16 \text{ мм}$;

$P_z = 0,3 \text{ МПа}$ – тиск герметичності.

5.7. Розрахунок лопаті на міцність

Мета розрахунку – визначення номінальної товщини лопаті.

Розрахунок лопаті на міцність виконуємо за методикою [19].

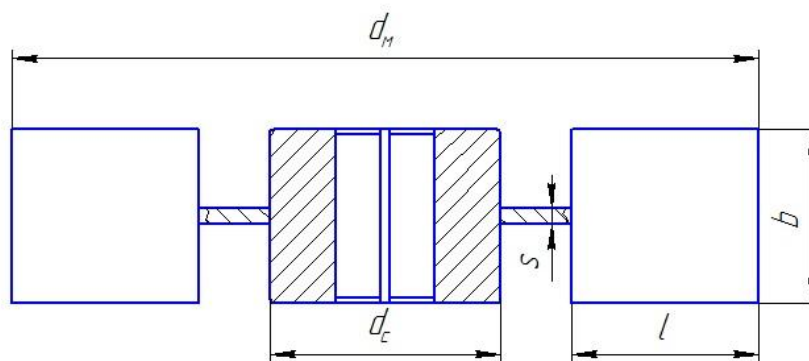


Рисунок 5.15. Турбінна мішалка

Розрахунковий згинаючий момент лопаті M_u' у відкритих простоях у перерізі паралельному осі вала та знаходиться від нього на відстані, рівній половині діаметра диска D , визначається за формулою:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$M_u' = \frac{0,027 \cdot (x - 0,5 \cdot D)}{x} \cdot \frac{N_e}{n} = \frac{0,027 \cdot (0,121 - 0,5 \cdot 0,226)}{0,121} \cdot \frac{281,061}{3} = 0,158 H \cdot m,$$

де
$$x = 0,75 \cdot \frac{(0,5 \cdot d_m)^4 - (0,5 \cdot d_m - l)^4}{(0,5 \cdot d_m)^3 - (0,5 \cdot d_m - l)^3} = 0,75 \cdot \frac{(0,5 \cdot 0,3)^4 - (0,5 \cdot 0,3 - 0,075)^4}{(0,5 \cdot 0,3)^3 - (0,5 \cdot 0,3 - 0,075)^3} = 0,121;$$

N_e – потужність, що витрачається на перемішування;

n – число обертів мішалки.

Розрахунковий момент опору лопаті при згині в даному перерізі визначається по формулі:

$$W' = \frac{M_u'}{[\sigma]} = \frac{0,158}{160 \cdot 10^6} = 0,09884 \cdot 10^{-8} m^3,$$

де $[\sigma]$ – допустиме навантаження на лопать мішалки.

Номінальна розрахункова товщина лопаті в даному перерізі:

$$s' = \sqrt{\frac{6 \cdot W'}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,09884 \cdot 10^{-8}}{0,06}} = 0,3144 \cdot 10^{-4} m,$$

де b – висота лопаті мішалки.

З врахування прибавок на корозію та округлення розміру, приймаємо товщину лопаті $s = 4 мм$.

5.8. Розрахунок фланцевого з'єднання корпусу і кришки

Мета розрахунку – перевірка умов міцності болтів, прокладок, фланця та перевірка умови герметичності.

Для з'єднання корпусу і днища вибираємо плоский приварний фланець, який має такі переваги: проста конструкція; при зварюванні з корпусом немає напливів металу на привалочну поверхню. Для ущільнення використовуємо фторопластову прокладку між плоскими поверхнями, що забезпечує герметичність при тиску $P \leq 0,6 МПа$ і температурі $t \leq 100^\circ C$.

$D = 1 м$ – діаметр апарата;

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$D_{\phi} = 1,175\text{ м}$ – діаметр фланця;

$D_{\sigma} = 1,12\text{ м}$ – діаметр болтового кола;

$D_1 = 1,080\text{ м}$ – зовнішній діаметр прокладки;

$h_{\phi} = 0,021\text{ м}$ – товщина фланця;

$S_0 = 0,008\text{ м}$ – товщина стінки апарата;

$z = 28$ – кількість болтів;

$b = 0,02\text{ м}$ – ширина прокладки;

$h = 0,003\text{ м}$ – товщина прокладки;

$d_{\sigma} = M28$ – діаметр різьби болтів.

Розрахунок проводимо за методикою [14]. Розрахункова схема фланцевого з'єднання представлена на рис. 5.16.

Діаметр болтової окружності:

$$D_{\sigma} \geq D + 2 \cdot (2s + d_{\sigma} + u) = 1 + 2 \cdot (2 \cdot 0,008 + 0,03 + 0,003) = 1,098\text{ м},$$

де d_{σ} – діаметр болтів, приймаємо $d_{\sigma} = 0,03\text{ м}$;

D – внутрішній діаметр апарата, $D = D_{\sigma} = 1\text{ м}$;

u – нормативний зазор, $u = 0,003\text{ м}$.

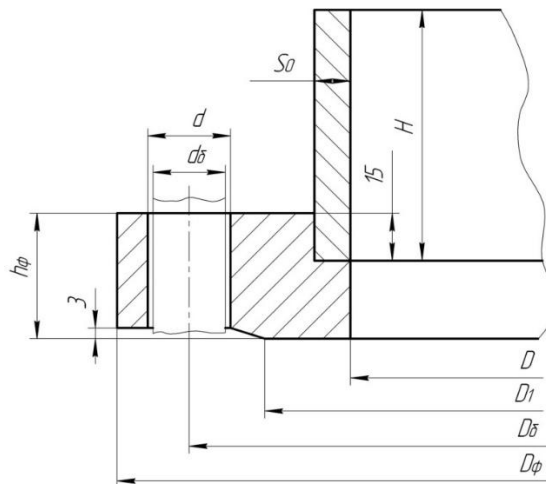


Рисунок 5.16. Плоский приварний фланець

D_{ϕ} – зовнішній діаметр фланця; D_{σ} – діаметр болтової окружності;

D_1 – діаметр фаски; D – діаметр апарата.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_{\phi} \geq D_{\sigma} + a = 1,098 + 0,04 = 1,138 \text{ м},$$

де a – конструктивний додаток до розміру болтів, $a = 0,04 \text{ м}$.

Середній діаметр прокладки:

$$D_{cn} = D_{zn} - b = 1,068 - 0,01 = 1,048 \text{ м},$$

де b – ширина прокладки, приймаємо $b = 0,01 \text{ м}$,

D_{zn} – зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{zn} = D_{\sigma} - e = 1,098 - 0,03 = 1,068 \text{ м},$$

де e – нормативний параметр для плоскої прокладки, $e = 0,03 \text{ м}$. Схема навантажень, що діють на фланцеве з'єднання на рис. 5.3.16.

Кількість болтів, що необхідна для забезпечення герметичності з'єднання:

$$n_{\sigma} > \frac{\pi \cdot D_{\sigma}}{t_1} = \frac{3,14 \cdot 1,098}{0,126} = 27,377 \text{ шт},$$

де t_1 – крок розміщення болтів, $t_1 = (4,2..5)d_{\sigma} = 4,2 \cdot 0,03 = 0,126 \text{ м}$.

Приймаємо кількість болтів $n_{\sigma} = 28 \text{ шт}$.

Висота фланця:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \sqrt{D \cdot s} = 0,4 \sqrt{1 \cdot 0,008} = 0,018 \text{ м};$$

де λ_{ϕ} – конструктивний коефіцієнт, приймаємо $\lambda_{\phi} = 0,4$;

s – товщина стінки обичайки, м .

Розрахункова довжина болта:

$$l_{\sigma} = l_{\sigma.o.} + 0,28 \cdot d_{\sigma} = 0,05 + 0,28 \cdot 0,03 = 0,058 \text{ м},$$

де $l_{\sigma.o.}$ – висота болта, що забезпечить згвинчування з гайкою,

$$l_{\sigma.o.} = 2 \cdot (h_{\phi} + h_n) = 2 \cdot (0,022 + 0,003) = 0,05 \text{ м} \quad (h_n = 3 \text{ мм} - \text{висота прокладки}).$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$F_d = \frac{P \cdot \pi \cdot D_{cn}^2}{4} = \frac{0,3 \cdot 3,14 \cdot 1,048^2}{4} = 0,2588 \text{ МН},$$

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

де P – внутрішній тиск в обичайці, $P = P_1 = 0,3 \text{ МПа}$.

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання від внутрішнього надлишкового тиску:

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{cn} \cdot P_R = 0,785 \cdot 1,058 \cdot 0,3 \cdot 10^6 = 0,2468 \text{ МН}.$$

Реакція прокладки:

$$R_n = \pi \cdot D \cdot k_{np} \cdot b_o \cdot P \cdot m = 3,14 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 0,018 \cdot 0,3 \cdot 2,5 = 0,1 \text{ МН},$$

де k_{np} – коефіцієнт, для фторопластової прокладки $k_{np} = 2,5$;

$m = 2,5$ – коефіцієнт, який приймають за [14];

b_o – ефективна ширина прокладки, $b_o = 0,12 \sqrt{b} = 0,12 \sqrt{0,02} = 0,017 \text{ м}$.

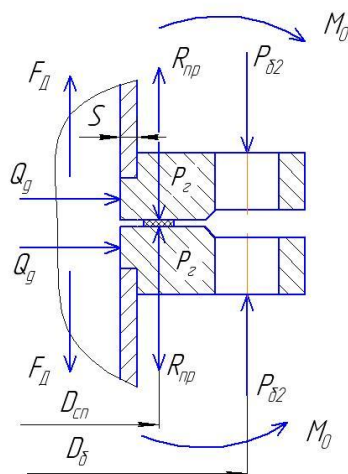


Рисунок 5.17. Схема навантажень, що діють на фланцеве з'єднання:

$P_{\delta 2}$ – зусилля в болтах в робочих умовах; M_0 – приведений вигинаючий момент; R_{np} – реакція прокладки; P_2 – тиск герметичності; F_d – рівнодіюча внутрішнього тиску; Q_g – навантаження, що діє на фланцеве з'єднання від внутрішнього надлишкового тиску.

Піддатливість прокладки:

$$y_n = \frac{k_n \cdot h_n}{E_n \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b} = \frac{0,09 \cdot 0,003}{2000 \cdot 3,14 \cdot 1,048 \cdot 0,02} = 0,00000205 \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де k_n – коефіцієнт обтискання прокладки, $k_n = 0,09$ [18];

E_n – модуль Юнга для прокладки,

$$E_n = 2000 \text{ МПа}.$$

Піддатливість болтів:

$$y_{\bar{o}} = \frac{l_{\bar{o}}}{E_{\bar{o}} \cdot f_{\bar{o}} \cdot n_{\bar{o}}} = \frac{0,058}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 30} = 0,0000446 \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

де $E_{\bar{o}}$ – модуль Юнга для болтів зі *СмЗ* ГОСТ 380-94,

$$E_{\bar{o}} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$f_{\bar{o}}$ – площа поперечного перерізу болта, приймається по діаметру,

$$f_{\bar{o}} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Піддатливість фланців:

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9\lambda_{\phi})] \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}} = \frac{[1 - 0,515 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,4)] \cdot 12,429}{0,022^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 1,75 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МН}},$$

де E_{ϕ} – модуль Юнга для фланців зі *См15ХМ* ГОСТ 4543-71,

$$E_{\phi} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

ν, ψ_2 – конструктивні коефіцієнти, які визначаються з формул:

$$\psi_2 = \frac{D_n + D}{D_n - D} = \frac{1,175 + 1}{1,175 - 1} = 12,429,$$

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,92 \cdot \lambda_{\phi} \cdot \left(1 + \frac{\psi_1 \cdot h_{\phi}^2}{s_1^2}\right)} = \frac{1}{1 + 0,92 \cdot 0,4 \cdot \left(1 + \frac{0,206 \cdot 0,022^2}{0,008^2}\right)} = 0,515,$$

де ψ_1 – конструктивний коефіцієнт,

$$\psi_1 = 1,28 \ln \frac{D_n}{D} = 1,28 \cdot \ln \frac{1,175}{1} = 0,206.$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$k_{жс} = \frac{y_{\bar{o}} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\bar{o}} - D - s_1) \cdot (D_{\bar{o}} - D_{cn})}{y_n + y_{\bar{o}} + 0,5 y_{\phi} \cdot (D_{\bar{o}} - D_{cn})^2} =$$

$$= \frac{0,0000446 + 0,5 \cdot 1,75 \cdot (1,098 - 1 - 0,008) \cdot (1,098 - 1,048)}{0,00000205 + 0,0000446 + 0,5 \cdot 1,75 \cdot (1,098 - 1,048)^2} = 1,782.$$

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зусилля від температурних деформацій:

$$Q_t = y_{\sigma} \cdot n_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \cdot E_{\sigma} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\sigma} \cdot t_{\sigma}) = 0,0000446 \cdot 28 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \times \\ \times (11,9 \cdot 10^{-6} \cdot 48 - 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot 47,5) = 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ МН},$$

де α_{ϕ} , α_{σ} – коефіцієнти температурного розширення відповідно фланців і болтів,

$$\alpha_{\phi} = 11,9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}, \alpha_{\sigma} = 11,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}};$$

t_{ϕ} , t_{σ} – температури відповідно фланців і болтів,

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 50 = 48^{\circ}\text{C}, t_{\sigma} = 0,95 \cdot 50 = 47,5^{\circ}\text{C}.$$

Зусилля в болтах в умовах монтажу:

$$P_{\sigma 1} = \max[k_{\text{жс}} \cdot F_{\text{д}} + R_n; \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_0 \cdot q; 0,4 \cdot [\sigma]_{\sigma}^{20} \cdot n_{\sigma} \cdot f_{\sigma}] = \\ = \max[1,782 \cdot 0,2588 + 0,1 = 0,561 \text{ МН};$$

$$3,14 \cdot 1,048 \cdot 0,022 \cdot 10 = 0,559 \text{ МН}; 0,4 \cdot 154 \cdot 28 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,405 \text{ МН}] = 0,561 \text{ МН},$$

де q – зусилля герметизації, для фторопластових прокладок $q = 10 \text{ МПа}$ [18];

$[\sigma]_{\sigma}^{20}$ – граничне навантаження в болтах при температурі 20°C ,

$$[\sigma]_{\sigma}^{20} = 154 \text{ МПа}.$$

Зусилля в болтах в робочих умовах:

$$P_{\sigma 2} = P_{\sigma 1} + (1 - k_{\text{жс}}) \cdot Q_g + Q_t = 0,561 + (1 - 1,782) \cdot 0,2468 - 0,00000118 = 0,368 \text{ МН}.$$

Приведений вигинаючий момент:

$$M_0 = \max \left[0,5 \cdot (D_{\sigma} - D_{\text{сн}}) \cdot P_{\sigma 2}; \left\{ 0,5 \cdot (D_{\sigma} - D_{\text{сн}}) \cdot P_{\sigma 2} + (D_{\text{сн}} - D - s_0) \cdot Q_g \right\} \cdot \frac{[\sigma]_{\phi}^{20}}{[\sigma]_{\phi}} \right] = \\ = \max[0,5 \cdot (1,098 - 1,048) \cdot 0,368 = 0,009203 \text{ МН} \cdot \text{м}; \\ (0,5 \cdot (1,098 - 1,048) \cdot 0,368 + (1,048 - 1 - 0,008) \cdot 0,2468) \cdot \frac{155}{152} = 0,019 \text{ МН} \cdot \text{м}] = \\ = 0,019 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

де $[\sigma]_{\phi}^{20}$, $[\sigma]_{\phi}$ – граничні навантаження для фланців, відповідно при 20°C і 50°C ,

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$[\sigma]_{\phi}^{20} = 155 \text{ МПа}, [\sigma]_{\phi} = 152 \text{ МПа}.$$

Умова міцності болтів при монтажу:

$$\frac{P_{\phi 1}}{n_{\phi} \cdot f_{\phi}} \leq [\sigma]_{\phi}^{20} \Rightarrow \frac{0,561}{28 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 85,291 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа},$$

умова виконується.

Перевірка міцності болтів в робочих умовах:

$$\frac{P_{\phi 2}}{n_{\phi} \cdot f_{\phi}} \leq [\sigma]_{\phi}^{20} \Rightarrow \frac{0,368}{28 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 55,945 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа},$$

умова виконується.

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{\phi \max}}{\pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b} \leq [P]_{\text{пр}} \Rightarrow \frac{0,561}{3,14 \cdot 1,048 \cdot 0,02} = 8,523 \text{ МПа} \leq 40 \text{ МПа},$$

де $[q]$ – допустимий тиск, для фторопластової прокладки:

$$[q] = 40 \text{ МПа} [18];$$

$F_{\phi \max}$ – найбільше зусилля в болтах:

$$P_{\phi \max} = \max[P_{\phi 1}, P_{\phi 2}] = 0,561 \text{ МН}.$$

Радіальне навантаження у перерізі s :

$$\sigma_1 = \frac{T_{\phi} \cdot M_0 \cdot \omega}{D \cdot (s - c_1 - c_2 - c_3)^2} = \frac{1,847 \cdot 0,019 \cdot 0,515}{1 \cdot (0,008 - 0,001 - 0,0004)^2} = 424,609 \text{ МПа},$$

де T_{ϕ} – конструктивний коефіцієнт, визначається по формулі:

$$T_{\phi} = \frac{\left(\frac{D_n}{D}\right)^2 \cdot \left(1 + 8,55 \lg \frac{D_n}{D}\right) - 1}{\left(1,05 + 1,945 \cdot \left(\frac{D_n}{D}\right)^2\right) \cdot \left(\frac{D_n}{D} - 1\right)} = \frac{\left(\frac{1,175}{1}\right)^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,175}{1}\right) - 1}{\left(1,05 + 1,945 \cdot \left(\frac{1,175}{1}\right)^2\right) \cdot \left(\frac{1,175}{1} - 1\right)} = 1,847.$$

Кільцеве навантаження у перерізі s :

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})]}{D \cdot h_{\phi}^2} = \frac{0,019 \cdot [1 - 0,515 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,4)]}{1 \cdot 0,022^2} = 12,05 \text{ МПа}.$$

Навантаження у втулці від внутрішнього тиску:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (s - c_1 - c_2 - c_3)} = \frac{0,3 \cdot 1}{2 \cdot (0,008 - 0,001 - 0,0004)} = 22,727 \text{ МПа},$$

$$\sigma_m = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (s - c_1 - c_2 - c_3)} = \frac{0,3 \cdot 1}{4 \cdot (0,008 - 0,001 - 0,0004)} = 11,364 \text{ МПа}.$$

Умова міцності для перерізу s :

$$\sqrt{(\sigma_1 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_1 + \sigma_m) \cdot \sigma_t} \leq \varphi \cdot [\sigma]_0;$$

$$\sqrt{(424,609 + 11,364)^2 + 22,727^2 - (424,609 + 11,364) \cdot 22,727} = 425,67 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 600 = 540 \text{ МПа},$$

де $[\sigma]_0$ – граничне навантаження в перерізі s ,

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E_\phi = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа}.$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання:

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D}{E_\phi \cdot h_\phi} \leq [\Theta];$$

$$\frac{12,051 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,022} = 0,002725 < 0,009,$$

де $[\Theta]$ – граничний кут повороту фланців, $[\Theta] = 0,009 (D < 2000 \text{ мм})$.

Обираємо фланець згідно розрахунків :

$D_\phi = 1175 \text{ мм}$, $D_\phi = 1120 \text{ мм}$, $D_1 = 1080 \text{ мм}$, $h_\phi = 36 \text{ мм}$, $d_\phi = 30 \text{ мм}$, $z = 28 \text{ шт}$ – сталевий плоский приварний з з'єднувальним виступом.

5.9. Зміцнення отворів кришки

Мета розрахунку – перевірка умови міцності обичайки.

Згідно ГОСТ 24755-81 вирізи для багатьох отворів не вимагають укріплення у вигляді підсиленого штуцера або накладного кільця, якщо при заданому діаметрі послаблення стінки посудини повністю компенсується загальним потовщенням стінки посудини з урахуванням технологічних, експлуатаційних і інших вимог.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До таких отворів можна віднести невеликі поодинокі отвори, діаметр яких:

$$d_{OR} = 0,4 \cdot \sqrt[3]{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot \sqrt[3]{1 \cdot (0,008 - 0,0014)} = 0,075 \text{ м},$$

де D_p – розрахунковий діаметр, циліндричної обичайки $D_p = D = 1 \text{ м}$.

При зміцненні отворів штуцером умова зміцнення має вигляд :

$$F_0 + F_1^{\perp} \geq F^{\perp},$$

де $F_1^{\perp}$ – площа перерізу стінки штуцера, що бере участь в зміцненні.

Підставляючи в цю умову значення F_0 , $F^{\perp}$, $F_1^{\perp}$ и L_p , отримаємо:

$$2 \cdot \left[\sqrt{D_p \cdot (s - c)} + S_1 - S_{1p} - c \right] + 2 \cdot l_1 \cdot (S_1 - S_{1p} - c) + 2 \cdot l_2 \cdot (S_1 - 2c) \geq \left[d + 2c - 0,4 \sqrt{D_p \cdot (S - c)} \right] \cdot S_p,$$

де S_1 – виконавча товщина стінки штуцера;

S_{1p} – розрахункова товщина стінки штуцера;

l_1 і l_2 – виконавчі довжини ділянок штуцера.

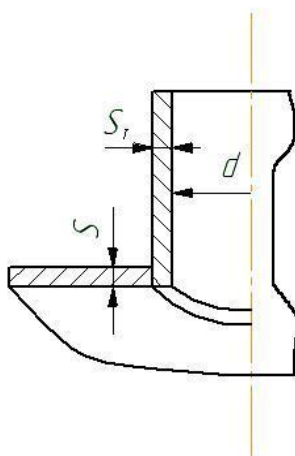


Рисунок 5.18. Схема закріплення отворів в обичайці у випадку, коли укріплення не потрібне

Розрахункові значення частин штуцера визначають як менше з двох значень:

зовнішньої частини:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l_1 = 1,25 \cdot \sqrt[3]{(d + 2c) \cdot (S_1 - c)} = 1,25 \cdot \sqrt[3]{(0,2 + 2 \cdot 0,0014) \cdot (0,008 - 0,0014)} = 0,143 \text{ м};$$

внутрішньої частини:

$$l_2 = 0,5 \sqrt{(d + 2c) \cdot (S_1 - c)} = 0,5 \sqrt{(0,2 + 2 \cdot 0,0014) \cdot (0,008 - 0,0014)} = 0,019 \text{ м}.$$

З нерівності вказаного вище –

$$\begin{aligned} d_0 &= 2 \left[\left(\frac{S - c}{S_p} - 0,875 \right) \sqrt{D_p (S - c)} - c \right] = \\ &= 2 \cdot \left[\left(\frac{0,008 - 0,0014}{0,003} - 0,875 \right) \cdot \sqrt{1 \cdot (0,008 - 0,0014)} - 0,0014 \right] = 0,242 \text{ м}. \end{aligned}$$

Після перетворення і введення допустимого навантаження, отримаємо умову зміцнення:

$$\begin{aligned} &[(l_{1p} + S - S_p - c) \cdot (S_{1p} - c) + l_{2p} \cdot (S_1 - 2c)] \cdot x_1 + \sqrt{D_p \cdot (S - c)} \cdot (S - 0,875 S_p - c) \geq \left(\frac{d}{2} + c \right) \cdot S_p, \\ &[(0,138 + 0,008 - 0,002 - 0,0014) \cdot (0,002 - 0,0014) + 0,018 \cdot (0,008 - 0,0014 \cdot 2)] \cdot 1 + \\ &+ \sqrt{1 \cdot (0,008 - 0,0014)} \cdot (0,008 - 0,875 \cdot 0,002 - 0,0014) \geq \left(\frac{0,2}{2} + 0,0014 \right) \cdot 0,002, \\ &0,145 \geq 3,03 \cdot 10^{-4}, \end{aligned}$$

де $x = \sigma_{\text{дон}}^{\perp} / \sigma_{\text{дон}} \leq 1$ ($\sigma_{\text{дон}}^{\perp}$ и $\sigma_{\text{дон}}$ – допустиме навантаження, для матеріалу штуцера і обичайки).

$$S_{\kappa} = \frac{D \cdot p}{3 \cdot [\sigma]} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{d}{D} \right)^2 \cdot \frac{[\sigma]}{p}} \right) = \frac{1 \cdot 0,3}{3 \cdot 160} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,2}{1} \right)^2 \cdot \frac{252}{0,3}} \right) = 0,001918 \text{ м},$$

де D, d – внутрішні діаметри обичайки і штуцера, $[\sigma] \leq 1,5 \eta \sigma_T$, $[\sigma]^{\perp} = 1,5 \eta \sigma_T^{\perp}$;

η – відомий коефіцієнт, що враховує класи і умови експлуатації устаткування, $\eta = 0,8$;

σ_T и $\sigma_T^{\perp}$ – границя текучості матеріалів обичайки і штуцера,

$$[\sigma] = [\sigma]^{\perp} = 1,5 \cdot 252 \cdot 0,8 = 302,4 \text{ МПа}.$$

При $S_{\kappa} \leq S_1$ (тут S_1 – товщина стінки обичайки) зміцнення отвору не потрібно, і надалі приймають $S_{\kappa} = S_1$.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Зміцнення не потрібне з умови: $S_k \leq S_1 \rightarrow 0,001918 \leq 0,008$.

5.10. Розрахунок опор для вертикальних апаратів

5.10.1. Розрахункові навантаження

Мета розрахунку – визначення навантаження апарата на опору.

При визначенні навантаження на опору-лапу навантаження, що діють на апарат, приводяться до осьової сили P і моменту M відносно опорної поверхні лапи. Розрахункові навантаження показані на рис. 5.19.

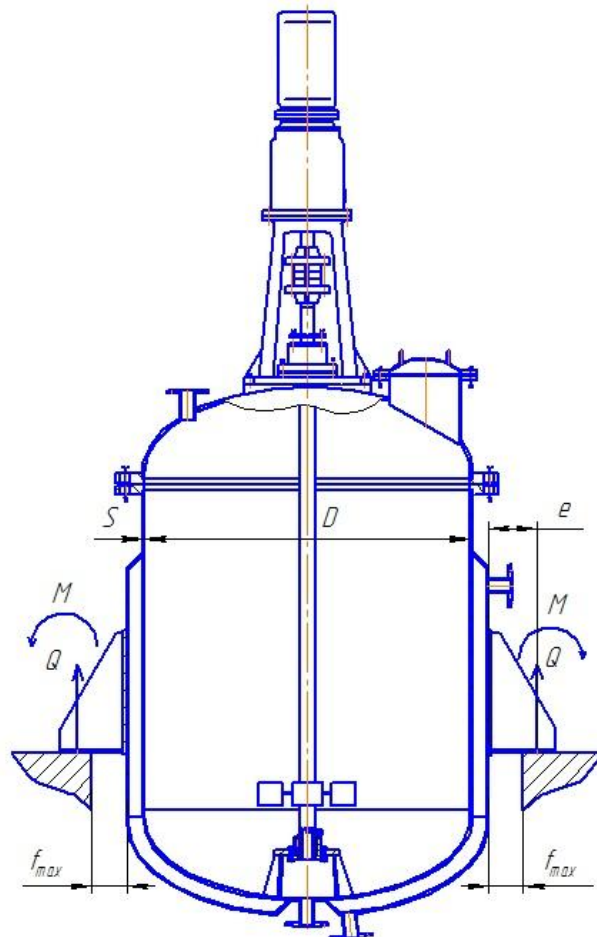


Рисунок 5.19. Навантаження, що діють на апарат

Навантаження на одну опору визначається по формулі:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = \frac{\lambda_1 \cdot P}{z} + \frac{\lambda_2 \cdot M}{D + 2 \cdot e} = \frac{1 \cdot 0,03}{4} + \frac{1 \cdot 0,03}{1 + 2 \cdot 0,123} = 0,032 \text{ МН},$$

де $e = 0,5 \cdot (b + f_{\max} + s_0 + s_e) = 0,5 \cdot (0,185 + 0,05 + 0,0066 + 0,006) = 0,125 \text{ м};$

$f_{\max} = 0,05 \text{ м}, b = 0,185 \text{ м}$ – по [18];

$s_0 = s - c - c_1 = 0,008 - 0,0014 = 0,0066 \text{ м}$ – товщина стінки апарата в кінці терміну служби;

s_e – виконавча товщина стінки апарата;

c – надбавка для компенсації корозії;

c_1 – додаткова надбавка;

λ_1, λ_2 – коефіцієнти, залежні від числа опор z (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Залежність коефіцієнтів λ_1 і λ_2 від z .

z	2	3	4
λ_1	1	1	2**
λ_2	1*	1,3	1

* Момент передається тільки в площині опор.

** Допускається приймати $\lambda_1 = 1$ в технічно обґрунтованих випадках, що забезпечують рівномірний розподіл навантаження між опорами.

5.10.2. Перевірка міцності стінки вертикального циліндрового апарата під

опорою-лапа без накладного листа

Мета розрахунку – перевірка умови міцності обичайки.

Осьове навантаження від внутрішнього тиску p і моменту M , що вигинає, визначається по формулі:

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{m0x} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot s_0} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot s_0} = \frac{0,3 \cdot 1}{4 \cdot 0,0066} + \frac{4 \cdot 0,03}{3,14 \cdot 1^2 \cdot 0,066} = 17,151 \text{ МПа}.$$

Кругове навантаження від внутрішнього тиску:

$$\sigma_{m0y} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot s_0} = \frac{0,3 \cdot 1}{2 \cdot 0,066} = 22,727 \text{ МПа}.$$

Максимальне мембранне навантаження від основних завантажень і реакції опори визначається по формулі:

$$\sigma_{m0} = \max[\sigma_{m0x}; \sigma_{m0y}] = [17,151 \text{ МПа}; 22,727 \text{ МПа}] = 22,727 \text{ МПа}.$$

Максимальне мембранне навантаження від основних завантажень і реакції опори визначається по формулі:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} \pm \frac{K_1 \cdot Q \cdot e}{D \cdot s_0^2} = 9,934 + \frac{0,5 \cdot 0,032 \cdot 0,125}{1 \cdot 0,0066^2} = 67,862 \text{ МПа},$$

де K_1 – коефіцієнт, приймається в залежності від параметрів

$$\gamma = \frac{D}{2 \cdot s_0} = 75,758$$

і $h/D = 0,295$ (h – висота опори).

Максимальне зусилля вигину про реакцію опори визначається по формулі:

$$\sigma_z = \frac{K_2 \cdot Q \cdot e}{h \cdot s_0^2} = \frac{0,49 \cdot 0,032 \cdot 0,125}{0,295 \cdot 0,0066^2} = 153 \text{ МПа},$$

де K_2 – коефіцієнт, приймається в залежності від тих же параметрів γ і

h/D .

Умова міцності має вигляд:

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_t} \right)^2 + \frac{0,8}{A} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma_t} \leq 1,$$

де $A = 1,0$ – для експлуатаційних умов;

$A = 1,2$ – для умов транспортування, монтажу і гідравлічних випробувань.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$\left(\frac{67,862}{153}\right)^2 + \frac{0,8}{1} \cdot \frac{153}{153} \leq 1,$$

$$1,005 > 1.$$

Отже, умова міцності не виконується і потрібно встановити накладний лист.

5.10.3. Перевірка міцності стінки вертикального циліндрового апарата під опорою-лапою з накладним листом

Мета розрахунку – визначення необхідної товщини накладного листа.

Максимальне мембранне навантаження від основних навантажень і реакції опори визначається по формулі:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} \pm \frac{K_3 \cdot Q \cdot e}{D \cdot S_0^2} = 22,727 \pm \frac{0,42 \cdot 0,032 \cdot 0,125}{1 \cdot 0,0066^2} = 60,641 \text{ МПа},$$

де K_3 – коефіцієнт, приймається в залежності від тих же параметрів γ і $\frac{h}{D}$.

Максимальне зусилля вигину від реакції опори визначається по формулі:

$$\sigma_3 = \frac{K_4 \cdot Q \cdot e}{h \cdot S_0^2} = \frac{0,25 \cdot 0,032 \cdot 0,125}{0,295 \cdot 0,0066^2} = 76,5 \text{ МПа},$$

де K_4 – коефіцієнт, приймається в залежності від тих же параметрів γ і $\frac{h}{D}$.

Умова міцності визначається виразом [15].

Товщину накладного листа визначають по формулі:

$$S_n = \sqrt{\frac{K_5 \cdot Q}{A \cdot \sigma_t}} = \sqrt{\frac{0,27 \cdot 0,032}{1 \cdot 76,5}} = 9,733 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

де K_5 – коефіцієнт, приймається в залежності від тих же параметрів γ і $\frac{h}{D}$;

A – коефіцієнт, приймається з умови міцності.

Вибираємо товщину накладного листа $S_n = 10 \text{ мм}$.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Рекомендації по монтажу і експлуатації

6.1. Монтаж та експлуатація обладнання

Монтаж реактора включає встановлення корпусу на металоконструкцію, монтаж внутрішніх елементів, підключення трубопроводів, приладів контролю, допоміжного обладнання.

Послідовність складається з таких етапів:

1. Встановлення корпусу на основу;
2. Монтаж внутрішніх елементів;
3. Підключення до трубопроводів, здійснюється з дотриманням герметизації;
4. Установка контрольно-вимірювальних приладів та автоматики;
5. Герметизація з'єднань;
6. Перевірка герметичності та на відсутність пошкоджень;
7. Тестовий запуск;

Перед кожним використанням проводиться зовнішній огляд апарата, перевірка працездатності мішалки, контурів нагрівання/охолодження, датчиків.

Згідно з технологічною інструкцією здійснюється завантаження компонентів, з дотриманням порядку введення речовин. Після завершення процесу реактор проходить процедуру очищення та стерилізації.

Регулярне технічне обслуговування є важливим для запобігання непередбаченим поломкам та для забезпечення стабільної роботи [16].

Періодичність обслуговування встановлюється відповідно до інструкції виробника (як правильно, не рідше ніж раз на 6 місяців). Обслуговуванням займається кваліфікований персонал. Проводиться перевірка зносу ущільнень, стану мішального пристрою, герметичності контурів. При виявленні несправностей обладнання виводиться з експлуатації до повного усунення проблем.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2. Техніка безпеки та охорона навколишнього середовища

Роботи з технічного обслуговування, монтажу і експлуатації проводяться згідно з вимогами техніки безпеки, охорони праці, пожежної та хімічної безпеки.

Обов'язковим є використання персоналом засобів індивідуального захисту (респіраторів, рукавиць, спецодягу, окулярів) та проходження інструктажу з техніки безпеки.

Усі електричні компоненти мають бути заземлені, експлуатація обладнання з пошкодженими кабелями або ізоляцією заборонена. Необхідно мати первинні засоби пожежогасіння на робочому місці.

Охорона навколишнього середовища – комплекс заходів, спрямованих на захист природи та природніх ресурсів від негативного впливу людської діяльності.

Всі відходи, що утворюються в процесі виробництва та експлуатації, повинні бути утилізовані відповідно до законодавства України та внутрішніх процедур підприємства. Для уникнення витоків робочих рідин та продуктів, конструкція реактора та трубопроводів повинна забезпечувати максимальну герметичність [17].

Випари розчинників та інших компонентів, що можуть виділятися під час процесу, мають відводитися через спеціальні вентиляційні системи з очисними фільтрами.

Конструкція повинна забезпечувати мінімальний рівень шуму та вібрації. За потреби застосовувати звукоізолюючі матеріали або віброізолюючі опори.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Висновок

У рамках виконання дипломного проєкту було успішно розглянуто лінію виробництва дексалону з розробкою реактора.

У роботі проведено аналіз та опис технологічної схеми виготовлення розчину дексалону, описано властивості готового продукту, а також досліджено послідовність завантаження компонентів, особливості перемішування та фільтрації. Окрему увагу приділено вибору типу реактора серед основних промислових конструкцій, з урахуванням технологічних вимог та умов процесу.

Було здійснено порівняння типових реакторів та обґрунтовано доцільність використання. Виконані розрахунки, що підтверджують надійність, функціональність і відповідність апарата вимогам фармацевтичного виробництва. Проведено патентно-інформаційний пошук, що дозволив виявити технічні аналоги та визначити основні напрями подальшого удосконалення конструкції.

Надано рекомендації щодо монтажу, експлуатації обладнання, дотримання вимог техніки безпеки та екологічних норм.

За результатами виконаних досліджень було встановлено, що розглянутий реактор з сорочкою нагріву/охолодження придатний для реалізації заданої технології, відповідає виробничим вимогам, має оптимальну конструкцію, за потреби може бути модернізований в автоматизовану систему керування процесом.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

As part of this diploma project, the production line for dexalon was successfully examined, along with the development of a dedicated reactor.

The work includes an analysis and description of the technological scheme for preparing the dexalon solution, outlining the properties of the final product, as well as studying the sequence of component loading, mixing specifics and filtration process.

Special attention was paid to selecting the appropriate type of reactor among standard industrial designs, taking into account the technological requirements and process conditions.

A comparison of typical reactor types was conducted and the feasibility of using the selected reactor was justified. Calculations were carried out to confirm the reliability, functionality and compliance of the apparatus with the requirements of pharmaceutical production. A patent information search was conducted, which identified technical analogues and helped determine the main directions for further design improvement.

Recommendations were provided for the installation, operation of the equipment, compliance with safety regulations and environmental standards.

Based on the results of the research, it was concluded that the proposed reactor with a heating/cooling jacket is suitable for implementing the required technology, meets production requirements, has an optimal design and if necessary, can be upgraded into an automated process control system.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Технологія ліків промислового виробництва: підручник для студ. вищ. навч. закл. : в 2-х ч. / В. І. Чуєшов, Є.В. Гладух, І. В. Сайко та ін. – 2-е вид., перероб. і доп. – Х. : НФаУ : Оригінал, 2012. – Ч. 1. – 694 с.
2. Мікробіологічне клінічне обґрунтування профілактичних, лікувальних властивостей нових антисептиків / Г. К. Палій, Н. В. Задерей, Д. В. Палій [та ін.] // XV конгрес СФУЛТ, 16–18 жовт. 2014 р. // Укр. мед. вісті : наук.-практ. часоп. – 2014. – 11, № 1–4 (80–83). – С. 282.
3. Державна фармакопея України: в 3-х т. / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». – 2-е вид. – Х.: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. – Т. 1. – 1128 с.
4. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості: підручник [для вищ. навч. закл.] Стасевич М. В., Миляннич А. О., Стрельников Л. С., Крутських Т. В., Бучкевич І. Р., Зайцев О. І., Гузьова І.О., Стрілець О. П., Гладух Є. В. , Новіков В. П. - Львів: «Новий Світ-2000», 2018. — 410 с.
5. Zhang C., Smith R. Design and Optimization of Batch and Semi-Batch Reactors // Chemical Engineering Science. – 2004. – Vol. 59, No. 2. – P. 459–478. – DOI: [10.1016/j.ces.2003.10.004](https://doi.org/10.1016/j.ces.2003.10.004).
6. Winterbottom J. M., King Michael (eds.) Reactor Design for Chemical Engineers. – 1st ed. – London: CRC Press, 1999. – 454 p. – DOI: [10.1201/9780203741221](https://doi.org/10.1201/9780203741221).
7. Bonvin D. Optimal operation of batch reactors—a personal view // Journal of Process Control. – 1998. – Vol. 8, Issues 5–6. – P. 355–368. – DOI: [10.1016/S0959-1524\(98\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(98)00014-6).

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

8. Buchiglas ChemReactor CR: Glass Reactors & Process Equipment [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.buchiglas.com/en-in/glass-reactors-process-equipment/chemreactor-cr.html>.

9. Syrris Atlas HD: Automated Jacketed Reactor System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.syrris.com/families/atlas-hd/>.

10. GMM Pfaudler Reaction System: Process Systems & Packages [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gmmpfaudler.com/systems-processes/process-systems-packages/reaction-system>

11. Ружинська Л.І. Проектування реакторів біотехнологічних та фармацевтичних виробництв. Навч. посібник/ Укладачі: Л.І. Ружинська, І А Буртна, В.М.Поводзинський, В.Ю. Шибецький – К.: НТУУ «КПІ», 2014 – 130 с.

12. Розрахунок і конструювання типового устаткування – Тонкостінні посудини та апарати. Практичні заняття зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». 2020 рік. КПІ ім. Ігоря Сікорського; С.І. Костик, С.В. Фесенко, О.В. Воробйова;

13. Кодра Ю.В. Стоцько З.А. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: Навч. посібник. – Вид. 2-ге, доп. – Львів: Бескид Біт, 2004. – 466с.

14. Карлаш, Ю. В. Основи проектування біотехнологічних виробництв [Електронний ресурс] : навч. посібник / Ю. В. Карлаш, В. О. Красінько ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2022. – 373 с.

15. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Частина І. Ферментація. Частина ІІ. Обробка культуральних рідин. Частина ІІІ. Основи проектування мікробіологічних виробництв. — Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2004.

16. Мікульонок І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв [Текст] : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.]. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.: іл. – Бібліогр.: с. 413–415.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Бельбас, І.В. Монтаж, діагностика та ремонт обладнання.
Навчальний посібник [Текст] / І.В. Бельбас – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009.
— 248 с.

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					БІ-110461024-40 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А.
Патентний пошук

Документація до патентного дослідження

Регламент пошуку № БІ-110461024-40 РП

Найменування теми: Реактор

Шифр теми: БІ91.0510974.000

Етап: Розробка конструкцій апарату та його компонентів

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень: БІ-110461924, 23.03.25

Об'єкт пошуку – Винаходи та корисні моделі

Предмет пошуку – Реактор

Мета пошуку інформації – визначення патентної чистоти проєктованого апарату та виявити ключові тенденції розвитку технічних рішень у цій сфері.

Держави пошуку: Україна, США, Китай, Південна Корея.

Регламент пошуку: 1999-2025

Класифікаційні індекси:

– міжнародна патентна класифікація: МПК – B01J 8/00, B01J 19/24, B01F27/113; B01F27/91, B01J19/00.

Джерела інформації:

– патентна інформація: офіційні описи до винаходів, бюлетені Укрпатенту.

– інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/> , <https://www.google.com/> .

Таблиця А.1. Регламент пошуку

Предмет пошуку	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: (МПК, УДК)	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Реактор	Визначення патентоздатності апарата, що проектується, та тенденцій розвитку цього напрямку в техніці	Україна, Китай, США	МПК6 і МПК7- B01J 8/00, B01J 19/24, B01F27/113; B01F27/91, B01J19/00, B01F 7/04	1999-2025	Офіційні патентні бюлетені Укрпатенту, бази даних патентних установ США та Великої Британії, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології

Таблиця А.2. Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
1	2	3	4	5	6
Реактор	Україна, США, ЄС	МПК 7 C08G63/78, C02F3/1263	Науково-технічна бібліотека НТУУ „КПІ”, Науково-технічна бібліотека України	Описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту та баз даних патентних установ США	Підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології

Таблиця А.3. Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Хімічний реактор з системою носія каталізатора	Патент № 125796 (UA), B01J 8/00. Хімічний реактор з системою носія каталізатора / Хансен Андерс Хельбо; Хальдор Топсое А/С. Заявка № а20190019, 22.02.2018; Опубл. 08.06.2022, бюл. № 23.	Діє
Трубчатий реактор з внутрішнім лотком	Патент № 99920 (UA), B01J 19/24, C08G63/78. Спосіб одержання поліетилентерефталату та багаторівневий трубчатий реактор з внутрішнім лотком для його одержання / Дебрун Брюс Роджер; ГРУПО ПЕТРОТЕМЕКС, С.А. ДЕ С.В. Заявка № а201001424, 07.07.2008; Опубл. 25.10.2012, бюл. № 20.	Діє
Batch reactor	Патент US № US2024050909A1, B01F27/113; B01F27/91. Batch reactor / Лі Хі Вон, Рю Хюн Чхоль, Хан Кідо; HANWHA SOLUTIONS CORP. Заявка № KR20200178880A, 18.12.2020; Опубл. 15.02.2024.	Діє
Reactor	Патент CN № CN201493117U, B01F7/18; B01J20/18. Reactor / Куйшун Го; Куйшун Го. Заявка № CN200920177213U, 18.08.2009; Опубл. 02.06.2010.	Діє

Продовження таблиці А.3

1	2	3
Parallel electrochemical reactor	Патент CN № CN209968403U, B01J 19/18. Parallel electrochemical reactor / Чжао Тяньюнь; Shanghai Haotong Experimental Instrument Co Ltd. Заявка № CN201920537816U, 19.04.2019; Опубл. 21.01.2020.	Діє
Parallel batch reactor	Патент US № US2008286170A1, B01J19/00. Parallel batch reactor / Даймонд Гері М., Холл Кейт А., Маквейд Томас Хардінг, Мерфі Вінс, Мисловатий Михайло, Шумейкер Джеймс А В, Сідху Роббі Сінгх, Тернер Говард, Діас Ерік, Спітковський Михайло; SYMYX TECHNOLOGIES INC. Заявка № US80334807A, 14.05.2007; Опубл. 20.11.2008.	Не діє
Chemical reactor with magnetic stirring device	Патент US № US5911503A, B01F13/08; B01J19/18; B01J3/04; G01N21/03. Chemical reactor with magnetic stirring device пристроєм / Браден Крістоф, Дорн Ральф; BAYER AG. Заявка № US83707597A, 11.04.1997; Опубл. 15.06.1999.	Не діє
Реактор з аероліфтною внутрішньою циркуляцією та спосіб аеробної ферментації з періодичним завантаженням із його застосуванням	Патент UA № 124800, C12M1/08; C12M1/00. Реактор з аероліфтною внутрішньою циркуляцією та спосіб аеробної ферментації з періодичним завантаженням із його застосуванням / Олдані Фабіо; ENI S.P.A. Заявка № a201801048, 15.09.2016; Опубл. 24.11.2021, бюл. № 47/2021.	Діє

Продовження таблиці А.3

1	2	3
Batch reactor and control method thereof	Патент KR № KR102087622B1, C02F3/1263. Batch reactor and control method thereof/ Сім Санг-джо, Сім Санг-хун, Сонг Те-хьон, Янг Син-хо, Кім Гю-хьон; Акціонерна компанія "Кьонвон Крінтек". Заявка № KR1020190036836A, 29.03.2019; Опубл. 23.04.2020.	Діє
Reactor and stirrer for same	Патент CN № CN217962475U, B01F 7/04. Reactor and stirrer for same/ Цзян Ліпін, Ма Ліна; Lummus Novolen Technology GmbH. Заявка № CN202220695414U, 28.03.2022; Опубл. 06.12.2022.	Діє

За результатами виконаного патентного пошуку встановлено, що проєктований апарат і його складові частини мають патентну чистоту винаходу. Жодні суттєві ознаки відомих аналогів не були запозичені.

Додаток Б.
Специфікація

[illegible]

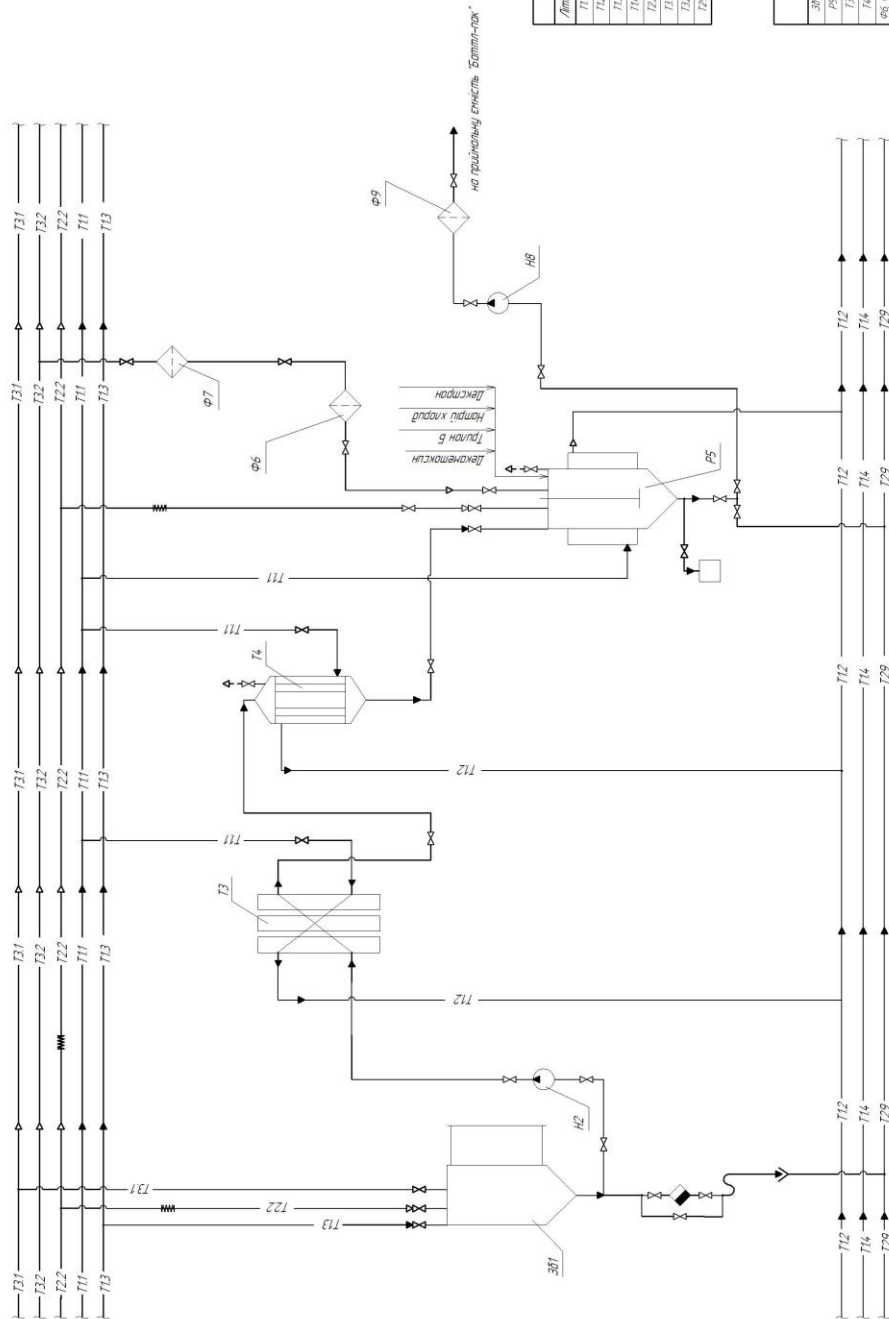
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Стандартні вироби</u>		
				Болт ГОСТ 7798-70		
		20		M27-6g×80.35X029	30	
		21		M10-6g×90.35X029	4	
		22		M8-6g×30.35X029	3	
		23		Шпилька M10×200	4	
				ГОСТ 22041-76		
				Гайка ГОСТ 5927-70		
		24		M27.7H.35X019	30	
		25		M10.7H.35X019	8	
		26		M8.7H.35X019	4	
		27		Фланець 1-6525	2	
				ГОСТ 1255-67		
				Шайба ГОСТ 11371-78		
		28		27.01.3.029	30	
		29		10.01.3.029	8	
				<u>Покупні вироби</u>		
		30		Привод 1-0,4-18 МН 5857-66	1	
				<u>Матеріали</u>		
		31		Набивка сальника	1	1 кг
Інв. № орг.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дцйл.	Підп. і дата	Б/11.04.61024.00.0.3-40	
Зм.	Арк.	№ докум	Підп.	Дата		
					Арк.	
					2	

[illegible]

Перв. застосув.		Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
						Документація		
A1					БІ-11.04.61024.0.0.1.3-40 СБ	Складальне креслення		
						Складальні одиниці		
				1	БІ-11.04.61024.0.1.1.3-40	Опора	4	
				2	БІ-11.04.61024.0.2.1.3-40	Штуцер	3	
				3	БІ-11.04.61024.0.3.1.3-40	Опора вала	1	
						Деталі		
				4	БІ-11.04.61024.1.0.1.3-40	Обичайка корпусу	1	
				5	БІ-11.04.61024.2.0.1.3-40	Рубашка	1	
				6	БІ-11.04.61024.3.0.1.3-40	Днище корпусу	1	
				7	БІ-11.04.61024.4.0.1.3-40	Днище рубашки	1	
				8	БІ-11.04.61024.5.0.1.3-40	Фланець	1	

Перв. застосує.		Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
Додат. №						<u>Документація</u>		
		A2			БІ-11046 1024-40 СБ	Складальне креслення		
						<u>Складальні одиниці</u>		
			1		БІ-11046 1024-40	Кришка люка	1	
						<u>Деталі</u>		
			2		БІ-11046 1024-40	Флацень	1	
			3		БІ-11046 1024-40	Фланець	3	
			4		БІ-11046 1024-40	Патрубок	3	
			5		БІ-11046 1024-40	Фланець	1	
			6		БІ-11046 1024-40	Патрубок	1	
			7		БІ-11046 1024-40	Підп'ятник	1	
						<u>Стандартні вироби</u>		
			8			Болт М10×40.35Х.029 ГОСТ 7798-70		
			9			Гайка М10.7Н.35Х.019 ГОСТ 5927-70		
		Підп. і дата		Взам. інв. №		Інв. № дціл.		Підп. і дата
Інв. № орг.		Зм.		Арк.	№ док-м.	Підп.	Дата	
		Розроб.		Зіпман Р.О.				
Інв. № орг.		Перев.		Мельник В.М.				
		Н. контр.						
Інв. № орг.		Затв.		Мельник В. М.				
БІ-110461024.0.0.2.3-40								
Кришка						Літ.	Арк.	Аркцшів
							1	1
						НТУУ "КПІ", ФБТ, гр. БІ-11		

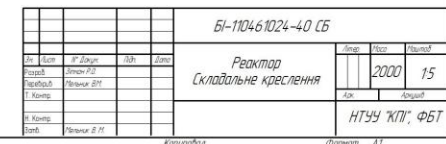
БН-10461024.000-40 АС

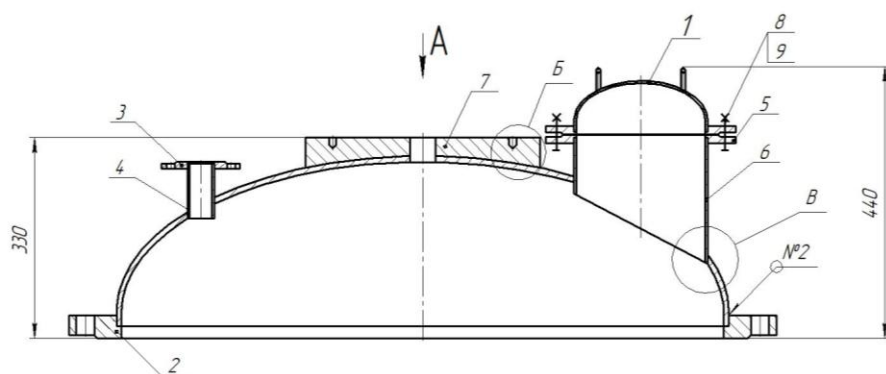


Условные обозначения		Назначение	
Линия	График	Назначение	Примечание
111	—	Водопровод	1
112	—	Водопровод	1
113	—	Водопровод	1
114	—	Водопровод	1
122	—	Водопровод	1
131	—	Водопровод	1
132	—	Водопровод	1
133	—	Водопровод	1
134	—	Водопровод	1
135	—	Водопровод	1
136	—	Водопровод	1
137	—	Водопровод	1
138	—	Водопровод	1
139	—	Водопровод	1

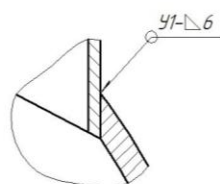
Назначение		Примечание	
381	Водопровод	1	
382	Водопровод	1	
383	Водопровод	1	
384	Водопровод	1	
385	Водопровод	1	
386	Водопровод	1	
387	Водопровод	1	
388	Водопровод	1	
389	Водопровод	1	
390	Водопровод	1	

БН-10461024.000-40 АС		Примечание	
381	Водопровод	1	
382	Водопровод	1	
383	Водопровод	1	
384	Водопровод	1	
385	Водопровод	1	
386	Водопровод	1	
387	Водопровод	1	
388	Водопровод	1	
389	Водопровод	1	
390	Водопровод	1	

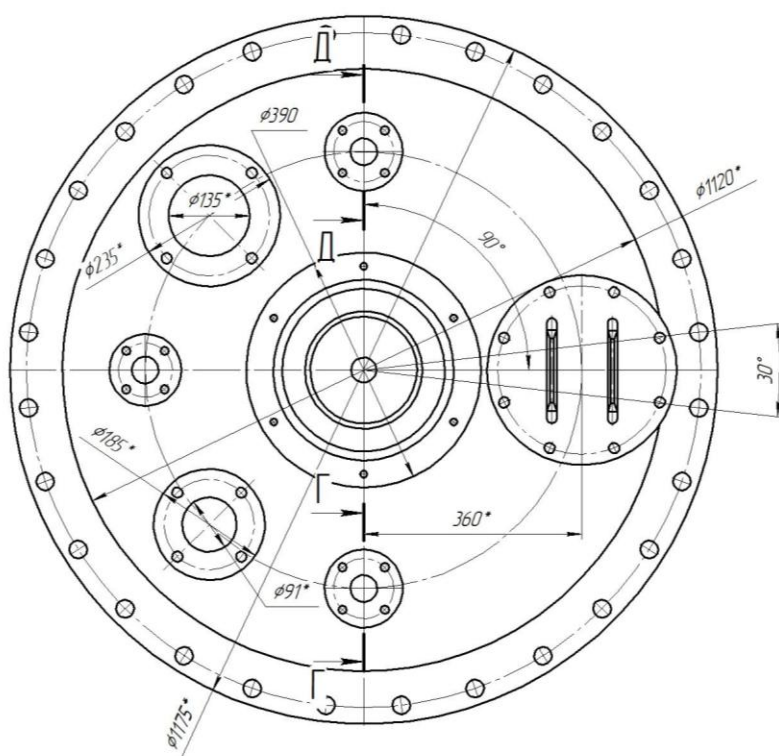




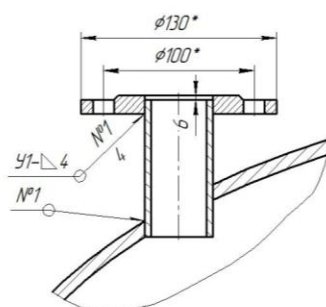
В (1:1)



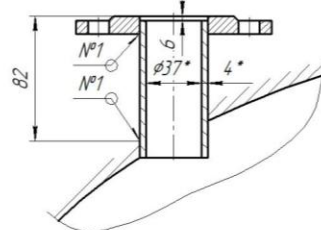
А (1:5)



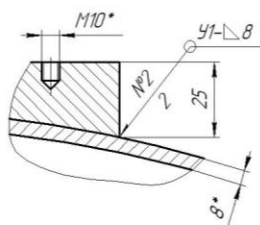
Г-Г (1:2)



Д-Д (1:2)



Б (1:2)



- Дійсне розташування штуцерів дивитись на виді А.
 - Матеріал деталей кришки реактора, що контактують з середовищем сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.
 - Зварні шви контролювати рентгенопробіччуванням або УЗД в об'ємі 50%.
 - На внутрішній поверхні кришки реактора не допускається присутність окалини, зварних бризк, металевої стружки та інших забруднень.
- *Разміри для довідок.

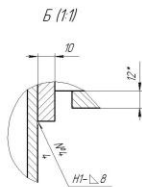
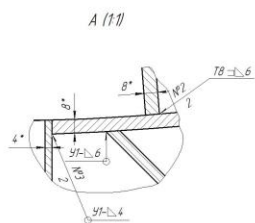
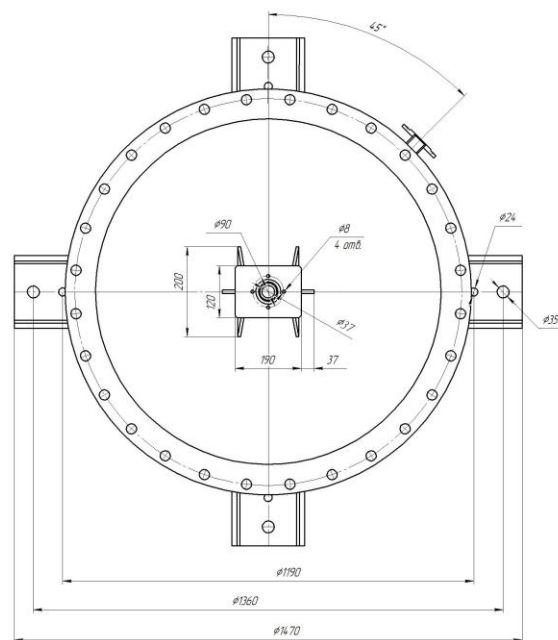
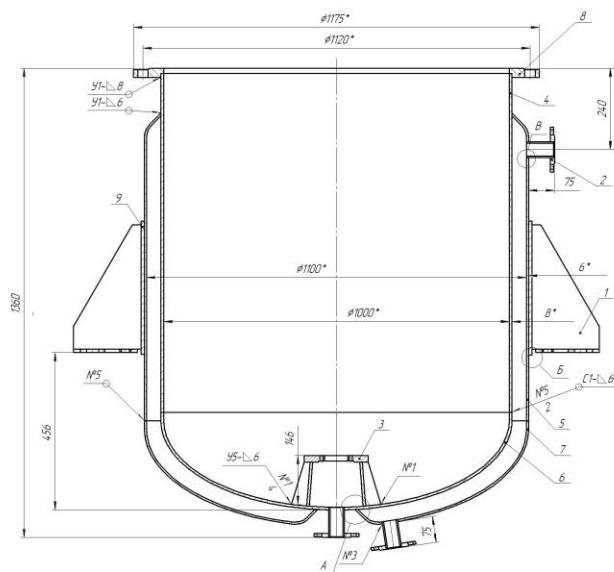
						БІ-110461024-40 СБ						
						Кришка Складальне креслення				Лист	Нос	Всього
Зм.	Лист	№ докум.	Лист	Дата						150	15	
Розроб.		Станок РД										
Перевір.		Мельник ВМ										
Т. Конст.									Лист	Всього		
Н. Конст.										НТУУ "КПІ", ФБТ		
Зам.		Мельник В М										
					Копіювала	Формат		А2				

Копіювати

Формат А2

БІ-110461024-40 СБ

Э 01-1204101-19



1. Материал детали корпуса - сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.
2. Зварки швы в объеме 100% контролировать рентгенографическим.
3. Зварки соединения подины выдерживать высотой 0,2-0,1-0,2-77.
4. Зварки в химическом машиностроении.
5. Зварки выдерживать по ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка.
6. Сварочный шов.
7. Неказан граница выдерживать НН, НН 1/1/2.
8. Размеры для деталей.

Б-110461024-40 СБ			
Корпус	1450	15	
Складные крепления			
ИТЭИ "КП" ФБТ			