

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Мельник В.М.
(підпис)

" ____ " _____ 2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему: Установка біосинтезу флориміцину з розробкою ферментера

Виконав: студент IV курсу, групи БІ-01

Третяков Ярослав Олександрович

(підпис)

Керівник:

асист. каф. біотехніки та інженерії Косова В.П.

(підпис)

Консультант:

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецезент:

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/П	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	БІ0117.7215002-10 ПЗ	Пояснювальна записка	91	
3	A1	БІ0117.7215002.000-10 АС	Апаратурно-технологічна схема	1	
4	A1	БІ0117.7215002.001-10 СБ	Ферментер	1	
5	A3	БІ0117.7215002.001.011-10 СБ	Опора циліндрична	1	
6	A3	БІ0117.7215002.001.08-10 СБ	Турбінна мішалка	1	
7	A4	БІ0117.7215002.001.03.01-10 СБ	Штуцер	1	
8	A4	БІ0117.7215002.001.03.02-10	Корпус еліптичної кришки	1	
9	A4	БІ0117.7215002.001.01.01-10	Фланець	1	
10	A4	БІ0117.7215002.001.08.01-10	Похила лопать	1	

				БІ0117.7215002-10		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Третяков Я.О.			Установка біосинтезу флориміцину з розробкою ферментера	Арк. 1	Аркушів 1
Керівн.	Косова В.П.				НТУУ «КПІ», ФБТ, БІ-01	
Консульт.						
Н/контр.						
Зафв. каф.	Мельник В.М.					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту

на тему: «Установка біосинтезу флориміцину з розробкою ферментера»

Київ – 2024 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мельник В.М.
(підпис)

" ____ " _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Третякову Ярославу Олександровичу

1. Тема проєкту «Установка біосинтезу флориміцину з розробкою ферментера», керівник проєкту Косова Віра Петрівна, асистент кафедри біотехніки та інженерії, затверджені наказом по університету від «__» _____ 2024 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту 10 червня 2024 року.

3. Вихідні дані до проєкту: фармацевтичний препарат флориміцин, об'єм ферментера $V_n = 63 \text{ м}^3$, коефіцієнт заповнення $\varphi = 0,7$, частота обертання мішалки $n = 2,95 \text{ с}^{-1}$, тип мішалки турбінна (відкрита), потужність електродвигуна $N = 400 \text{ кВт}$, площа поверхні теплообміну сорочки $F_{\text{сop}} = 61 \text{ м}^2$, робочий тиск в корпусі апарата $P_1 = 0,294 \text{ МПа}$, робочий тиск в сорочці $P_2 = 0,294 \text{ МПа}$, середовище в корпусі неагресивне, пожежобезпечне – культуральна рідина, середовище в сорочці неагресивне, пожежобезпечне – вода, температура середовища в корпусі початкова $t_{\text{п.к}} = 28^\circ\text{C}$, кінцева $t_{\text{к.к}} = 28^\circ\text{C}$, температура в сорочці початкова $t_{\text{п.сop}} = 18^\circ\text{C}$, кінцева $t_{\text{к.сop}} = 20^\circ\text{C}$, маса

апарата без приводу $m = 22500$ кг, габаритні розміри висота: 12015 мм, ширина: 3700 мм, довжина: 3660 мм.

4. Зміст пояснювальної записки: призначення та область застосування виробу, опис технології виробництва, опис і обґрунтування вибраної конструкції, технічна характеристика, розрахунки, що підтверджують надійність та працездатність конструкції, рекомендації щодо монтажу та експлуатації, висновки, перелік літературних джерел, додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): апаратурна схема установки біосинтезу флориміцину (А1); Складальні креслення: ферментер (А1), опора циліндрична (А3), турбінна мішалка (А3), штуцер (А4); Корпус еліптичної кришки (А4); Фланець (А4); Похила лопать (А4).

6. Дата видачі завдання 06 квітня 2024 року.

Календарний план

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Отримання завдання та початок підбору літератури	6.04.2024-10.04.2024	
2	Формування вступу, аналіз технології виготовлення препарату та створення апаратурної схеми біосинтезу	10.04.2024-15.04.2024	
3	Дослідження можливих конструкцій основного апарата, підбір параметрів та опис обраної конструкції	15.04.2024-20.04.2024	
4	Розрахунки, які підтверджують працездатність	20.04.2024-10.05.2024	
5	Дооформлення розрахунків та створення на їх основі складальних креслень	10.05.2024-20.05.2024	
6	Створення моделі на основі отриманих креслень	20.05.2024-25.05.2024	
7	Доопрацювання необхідних розділів ПЗ, що лишилися	25.05.2024-1.06.2024	
8	Контроль оформлення ПЗ відповідно до вимог	1.06.2024-5.06.2024	
9	Підготовка до захисту проєкту	5.06.2024-19.06.2024	

Студент

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Реферат

Дипломний проєкт на здобуття ступеню «бакалавр» на тему: «Установка біосинтезу флориміцину з розробкою ферментера» / НТУУ «КПІ»; Керівник Косова Віра Петрівна, виконавець Третяков Ярослав Олександрович.

Робота складається з переліку умовних позначень, вступу, 8 розділів, висновків, переліку літературних посилань та додатків. Повний обсяг роботи становить 91 сторінка, 22 рисунків, 8 таблиць і переліку посилань з 19 найменувань (на 2 сторінках).

Мета проєкту – вивчення параметрів процесів, що відбуваються під час культивування антибіотику флориміцину, розрахунок необхідних параметрів цих процесів та створення моделі ферментера останньої стадії культивування на основі отриманих даних.

Методи дослідження – аналіз можливих конструкцій ферментера на основі існуючих моделей в залежності від необхідних умов культивування, виконання математичних розрахунків та моделювання окремих елементів конструкції.

Результати роботи та їхня новизна: виконані необхідні розрахунки, в тому числі матеріального, теплового балансу, розрахована площа поверхні теплообміну та потужність перемішування, виконана перевірка елементів на міцність та стійкість.

На основі отриманих розрахункових даних та за результатами досліджень спроектовано ферментер для культивування антибіотика флориміцину.

За результатами роботи опубліковано: 3 статті в наукових журналах.

ФЛОРИМІЦИН, АНТИБІОТИК, ФЕРМЕНТЕР, КУЛЬТУРАЛЬНА РІДИНА, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК, ОХОЛОДЖУЮЧА СОРОЧКА, ТУРБІННИЙ ПЕРЕМІШУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ, БАРБОТЕР.

Abstract

Diploma thesis of the educational qualification level 'Bachelor' on the topic: 'Installation of florimycin biosynthesis with the development of fermenter' / NTUU 'KPI'; Supervisor Kosova Vira Petrivna, performer Tretyakov Yaroslav Oleksandrovych.

The work consists of a list of symbols, introduction, 8 chapters, conclusions, references and appendices. The total volume of the work is 91 pages, 22 figures, 8 tables and a list of references of 19 items (on 2 pages).

The purpose of the project is to study the parameters of the processes that occur during the cultivation of the antibiotic florimycin, calculate the necessary parameters of these processes, and create a model of the fermenter of the last stage of cultivation based on the data obtained.

Research methods – analysis of possible fermenter designs based on existing models depending on the required cultivation conditions, mathematical calculations and modelling of individual structural elements.

Results of the work and their novelty: the necessary calculations, including material and heat balance, were performed, the heat transfer surface area and mixing power were calculated, and the elements were tested for strength and stability.

Based on the calculated data and the results of the research, a fermenter for the cultivation of the antibiotic florimycin was designed.

The results of the work were published: 3 articles in scientific journals.

FLORIMYCIN, ANTIBIOTIC, FERMENTER, CULTURE LIQUID, HEAT BALANCE, THERMAL CALCULATION, COOLING JACKET, TURBINE STIRRER, BUBBLER.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів.....	11
ВСТУП.....	12
1. Призначення та область застосування установки біосинтезу флориміцину	14
1.1 Призначення ферментера і галузь його застосування.....	14
1.2 Характеристика кінцевої продукції	16
2. Опис технологічного процесу	18
2.1. Вирощування посівного матеріалу	18
2.2. Приготування поживного середовища	19
2.3. Робоча ферментація.....	20
2.4 Очищення культуральної рідини та фасування препарату	21
3. Опис і обґрунтування вибраної конструкції	22
3.1. Конструкція та принцип дії виробу	22
3.2. Порівняння основних показників вибраної конструкції з її аналогами.....	28
3.3 Відомості про використані винаходи і патентну чистоту	32
4. Технічна характеристика ферментера	33
5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	34
5.1 Визначення параметрів середовища в ферментері, складання та розв'язання інтегрального стехіометричного рівняння	34
5.2 Робочий баланс процесу ферментації.....	39
5.3 Конструктивний розрахунок	41
5.4 Тепловий баланс ферментера	43
5.5 Розрахунок теплового ефекту синтезу 1 кг АСБ.....	43
5.6 Розрахунок потужності перемішування	47
5.7 Розрахунок перемішуючого пристрою.....	50
5.8 Вибір електроприводу.....	52
5.9 Тепловий розрахунок ферментера	52
5.10 Розрахунок газорозподільного пристрою	60
5.11 Розрахунок на міцність циліндричної обичайки	63
5.12 Розрахунок на стійкість циліндричної обичайки	66
5.13 Перевірка на міцність еліптичної кришки та днища.....	67
5.14 Розрахунок сорочки на міцність	68

					БІО117.7215002-10 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Третьяков Я.О.			Установка біосинтезу флориміцину з розробкою ферментера		
Перевірів		Косова В.П.					
Н. контр.							
Затвердив		Мельник В.М.					
						Літ.	Арк.
							9
						Аркушів	91
						НТУУ "КПІ", ФБТ, БІ-01	

5.15 Уточнення геометричних параметрів прямої спіралі сорочки	70
5.16 Розрахунок діаметру штуцерів	71
5.17 Розрахунок валу на вібростійкість	72
5.18 Вибір опори	75
6. Моделювання	77
7. Рекомендації щодо монтажу та експлуатації	81
7.1 Монтаж і такелажні роботи	81
7.2. Експлуатація	83
8. Рівень стандартизації та уніфікації	85
ВИСНОВОК	87
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ДОДАТКИ	91

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

БАР – біологічно активна речовина;

КР – культуральна рідина;

ПС – поживне середовище;

ПМ – посівний матеріал;

БА – біологічний агент;

α_i – стехіометричний коефіцієнт;

V_n – номінальний об'єм, м³;

Q_6 – тепло, що виділяється при синтезі одного кг АСБ, кВт;

$D_{вн}$ – внутрішній діаметр апарата, мм;

d_M – діаметр мішалки, м;

α_i – коефіцієнт тепловіддачі, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$;

N_e – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

Re_i – критерій Рейнольдса;

Nu_i – критерій Нуссельта;

Pr_i – число Прандтля;

d_i – діаметр входів/виходів патрубків, мм;

Δt_i – температурний напір, °С;

$[P]$ – максимальний допустимий тиск, МПа.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В 1675 році голландець Антоні ван Левенгук, розглядаючи під мікроскопом краплю води, побачив у ній велику кількість незрозумілих об'єктів, які тоді отримали назву «наливні дрібні тварини». Пізніше виявилося, що ними були прості одноклітинні мікроорганізми.

В наш час про мікроорганізми відомо вже досить багато, хоча й не більше 1% від потенційно доступної інформації як про їх види та поведінку, так і більш специфічні характеристики. За ці, майже 350 років, людство навчилося ефективно застосовувати деякі з них у харчовій, фармацевтичній, біотехнологічній, та інших галузях з метою забезпечення своїх потреб. Більшість мікроорганізмів при цьому не є шкідливими, тобто не мають впливу на фізичний стан людини. Проте також існують і представники, які згубно впливають на різні системи людини при потраплянні всередину її організму. Деякі з них викликають легкі захворювання, які супроводжуються мінімальною кількістю негативних наслідків. А деякі при цьому є смертельно небезпечними. Наразі велика кількість найбільш відомих смертельно небезпечних людських захворювань спричиняється конкретними представниками мікроорганізмів – бактеріями. Часто ці захворювання крім того, що викликають швидку смерть, супроводжуються ще й жахливими симптомами. Тому створенню засобів, які можуть протидіяти бактеріям і відповідно захворюванням, таким чином рятуючи життя людей, завжди приділялося дуже багато уваги [1].

Одним з таких захворювань є туберкульоз – летальне інфекційне захворювання, яке спричиняють різні види мікобактерій, але частіше за все саме бактерія *Mycobacterium tuberculosis* (більш відома назва – паличка Коха). Основною проблемою, та загалом причиною, чому туберкульоз і в наш час є захворюванням з високою смертністю, не враховуючи саму патологічну дію захворювання, є дуже швидке утворення у бактерій резистентності до антибіотиків. Трапляються окремі типи туберкульозу, при яких бактерії з самого початку є резистентними до дії як одного, так і декількох препаратів

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одночасно. Тому кількість препаратів, які використовуються для лікування даного захворювання, є дуже великою. Їх поділяють на протитуберкульозні засоби 1-го ряду, 2-го ряду та інші. Лікування зазвичай починають препаратами 1-го ряду, а потім для запобігання стійкості мікобактерій туберкульозу до медикаментів призначають препарати 2-го ряду та інші. За ефективністю препарати умовно поділяють на [2]:

- Група А: найбільш ефективні препарати: ізоніазид, рифампіцин;
- Група Б: менш ефективні препарати: етамбутол, стрептоміцин, канаміцин, флориміцин, етіонамід, протіонамід, піразинамід, циклосерин;
- Група С: найменш ефективні препарати: ПАСК, тіоацетазон.

Боротьба з туберкульозом показала, що чим більше доступно різних засобів, тим краще. Тому однакову увагу приділяють дослідженням задля покращення як існуючих препаратів, так і синтезу нових.

Препаратом, який є досить ефективним у групі Б є флориміцин або флориміцин сульфат. Спричинено це як безпосередньою дією препарату, так і складністю його отримання, в порівнянні з іншими препаратами [2].

Розробкою та удосконаленням технологій отримання як флориміцину, так і інших протитуберкульозних препаратів, займаються багато провідних фармацевтичних компаній світу, серед яких: «Johnson & Johnson», «Macleods Pharmaceuticals Ltd», «Otsuka Pharmaceutical Co. Ltd», «Sequella, Inc.», «Lupin Limited» тощо.

Основною метою є підвищення ефективності препаратів, покращення технологій їх виготовлення та таким чином створення максимальної доступності протитуберкульозних засобів. Тому дослідження і практичні експерименти в цій сфері будуть актуальними до тих пір, доки людство не переможе туберкульоз, як в свій час це сталося наприклад з натуральною віспою.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Призначення та область застосування установки біосинтезу флориміцину

В даному дипломному проєкті розглядається установка біосинтезу флориміцину з більш детальним розглядом і відповідно проектуванням саме головного ферментера, який використовується в завершальній фазі біосинтезу для безпосереднього культивування продуценту флориміцину.

Сама установка являє собою певний набір основного і допоміжного обладнання, до якого входять ферментер останнього етапу культивування, інокулятори для відновлення культури продуцента, реактор-змішувач для приготування ПС, теплообмінники для забезпечення необхідних температурних параметрів ПС, води, повітря, фільтри для стерилізації відпрацьованого повітря, насоси для прокачування речовин по трубопроводам, та власне трубопроводи – місцеві, які з'єднують всі апарати з магістральними трубопроводами та між собою.

Основною задачею установки є отримання в результаті робочого циклу антибіотику флориміцину у вигляді одного з компонентів неочищеної культуральної рідини з головного ферментера, яка після закінчення процесу культивування направляється спочатку в цех очистки, а потім в цех фасування та пакування.

1.1 Призначення ферментера і галузь його застосування

Головна задача ферментера – безпосередньо культивування продуценту флориміцину. Культивування мікроорганізмів можна охарактеризувати як процес практичного застосування БА, який проходить у штучно створених умовах і реалізується у відповідному обладнанні, яке повинно забезпечити оптимальні умови середовища, що оточує мікроорганізми для реалізації їх біологічного потенціалу. Створення оптимальних умов оточення у вигляді фізико-хімічних параметрів поживного середовища залежить від фенотипічних ознак мікроорганізмів, що визначені фізіологією продуцентів БАР [1].

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Флориміцин являється антибіотиком, який є результатом життєдіяльності бактерій *Streptomyces puniceus*, *Streptomyces floridae* та інших видів. В даному випадку розглядаються культивування саме *Streptomyces floridae*. Він вилучається з культуральної рідини по завершенню процесу ферментації. Ферментація відбувається глибинним способом, тобто культивуванням культури, яка занурена всередину рідкого поживного середовища. Оскільки *Streptomyces floridae* є аеробом, то для того, щоб поживні речовини і кисень надходили до всіх клітин продуцента, які були внесені в ферментер разом з посівним матеріалом, необхідно механічне перемішування і безперервна аерація, які разом утворюють сприятливі умови для ефективного росту популяції продуцента та накопичення біомаси продуктів його метаболізму.

Таким чином ферментер забезпечує продуцент поживним середовищем, яке постійно перемішується, за рахунок чого гомогенність отриманої КР зберігається на високому рівні, киснем, без якого культивування аеробних мікроорганізмів неможливе, та необхідним температурним режимом за рахунок теплообмінних пристроїв. Це основні параметри.

Крім вищевказаних параметрів ферментер також повинен забезпечувати фактично другорядні параметри, недотримання яких однак може негативно відобразитися на всьому процесі культивування. Це рівень рН культуральної рідини, наявність та рівень піни, тривалість культивування, стерилізуватися після закінчення кожного процесу ферментації, бути побудованим з підходящого матеріалу, щоб не реагувати з КР тощо.

Зазвичай такі заключні ферментери мають більший об'єм та відповідно розміри, ніж ферментери-інокулятори початкових стадій відновлення та підготовки культури до головної ферментації, є переважно вертикальними апаратами, та досить широко застосовуються в біотехнологічній, хімічній та харчовій промисловостях.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Характеристика кінцевої продукції

Флориміцин – антибіотик, який являє собою продукт життєдіяльності грибів *Streptomyces floridiae*. Синонімічні назви: біоміцин, *Geliomycin*, *Vinictane*, *Viocin*. По хіміотерапевтичним властивостям близький до канаміцину. Надає специфічну бактеріостатичну дію на мікобактерії туберкульозу. Флориміцин активний також по відношенню до грампозитивних та грамнегативних бактерій.

Приймають його, як резервний препарат при лікуванні різних форм туберкульозу. Призначається хворим, для яких туберкулоостатичні препарати I ряду виявилися неефективними внаслідок розвитку резистентності до них або з інших причин, а також при негативній реакції на вживання інших протитуберкульозних препаратів. Застосовують внутрішньом'язово (у кишечнику препарат не всмоктується). Вводять (повільно) глибоко у верхній зовнішній квадрант сідниці. Розчини для ін'єкцій готують перед вживанням; у флакон, що містить 0,5-1,0 г препарату, вводять 3-5 мл стерильної води для ін'єкцій, 0,25-0,5% розчину новокаїну. Розчин має бути використаний протягом першої доби.

У випадку лікування дітей флориміцин сульфат слід застосовувати з обережністю. Призначають препарат дітям, в яких розвинений хронічний деструктивний туберкульоз, при неефективності інших засобів. Варто враховувати, що флориміцин може викликати токсичну дію на слуховий нерв, тому лікування повинне проводитися під контролем аудіометрії. При перших ознаках погіршення слуху препарат негайно відмінюють.

Флориміцин можна поєднувати з препаратами I і II ряду. Проте його не можна комбінувати із стрептоміцином та іншими антибіотиками, які мають ототоксичну дію (неоміцин, мономіцин, канаміцин тощо). При вживанні флориміцину можуть з'явитися такі побічні ефекти, як головний біль, алергічні дерматити, білок в сечі. Необхідно враховувати, що у хворих з порушенням видільної функції нирок виведення флориміцина з організму затримується, що може привести до посилення його токсичної дії. Послабленню

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нейротоксичних і алергічних реакцій може сприяти вживання кальцію пантотената. Протипоказання: ураження VIII пар черепних нервів і порушення функції нирок.

Антибіотик флориміцин є поліпептидом і його молекулярна структура поки що повністю не встановлена.

Потенціометричне титрування розчину флориміцину показало, що ця сполука є двовалентною основою. В молекулі цього антибіотика є одна сильноосновна та слабоосновна група. Він утворює солі з кислотами, багато з яких отримуються у кристалічному стані – сульфат, оксалат, хлоргидрат, пікрат, рейнекат. В медичній практиці застосовують сульфатну сіль флориміцину тобто флориміцин сульфат. Температура розкладання 252...280°C. Антибіотик у водному розчині при кімнатній температурі стабільний при рН 3...7. В лужних розчинах флориміцин нестійкий.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Опис технологічного процесу

2.1. Вирощування посівного матеріалу

Споровий матеріал вирощують та зберігають на кукурудзяно-крохмальному агарі. Посівний міцелій вирощують у три стадії.

Як було вказано вище, продуцент флориміцину – *Streptomyces floridiae*. Так само, як і продуценти стрептоміцину і леворину, він належить до глобиспоринової групи актиноміцетів. Під час розсівання на кукурудзяному середовищі виявляються 2 типи колоній. Колонії першого типу плоскі, гладкі або трохи складчасті з опуклим центром. Повітряний міцелій світло-сірий з рожевим відтінком. Субстратний міцелій червоно-буро-коричневий. Колонії другого типу великі, плоскі, гладкі. Повітряний міцелій сірий, добре розвинений. Субстратний міцелій темно-коричневий.

Найбільш активними є колонії першого типу. Продуцент порівняно стійкий під час зберігання за різних умов (в ліофільному стані до 3 років). Продуцент флориміцину витримує 5-6 пасажів спорами, не знижуючи продуктивності.

Культура *Streptomyces floridiae* характеризується енергійним ростом, тому тривалість вирощування маточної культури триває 24...48 годин, посівної культури – 24 години, посівного міцелію в посівному апараті (інокуляторі останнього ступеня відновлення) – 24...40 годин.

Для вирощування посівного міцелію користуються середовищем, що містить соєве борошно, глюкозу або гідрол, сульфат амонію або нітрат натрію, крейду, фосфат калію. У посівні колби засівають 5% маточної культури, у посівні апарати (інокулятори) – 1% посівного міцелію, а у ферментери з останньої стадії інокуляції – 10% посівного міцелію за об'ємом.

В інокулятор Іn1, об'єм якого складає 0,063 м³, завантажують поживне середовище. Апарат герметизують. В оболонку апарата подають глуху пару. Суміш, перемішуючи, нагрівають до 120°C і при цій температурі витримують 40 хвилин. Конденсат водяної пари, який є перегрітою водою,

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що знаходиться в сорочках інокуляторів під значним тиском, дренують у зворотну каналізацію через холодильник Тк4 задля зниження тиску конденсату до атмосферного і зниження його температури до 30 ... 50°C. Після цього в рубашку подають охолоджувальну воду, стерильне середовище охолоджують до 29°C. Через спиртовий пальник з карлсберзьких колб в апарат заливають лабораторний посівний міцелій (5% від маси ПС). Подають аераційне повітря. Культивування продуцента проводять протягом 20...40 годин.

Готовий інокулят стерильним повітрям перетискають з інокулятора Ін1 в інокулятор Ін2 (об'єм 0,63 м³) із завантаженням і простерилізованим поживним середовищем. В інокуляторі Ін2 проводять аналогічний ферментаційний процес.

Інокулят стерильним повітрям перетискають з інокулятора Ін2 в інокулятор Ін3 (об'єм 5 м³) із завантаженням і простерилізованим поживним середовищем. В інокуляторі Ін3 проводять аналогічний ферментаційний процес. З інокулятора Ін3 посівний матеріал перетискають стерильним повітрям у ферментер Ф12. Цикл приготування посівного матеріалу становить 135 годин.

2.2. Приготування поживного середовища

У реакторі-змішувачі Р5 (об'єм 25 м³) протягом 2 годин набирають половину потрібної питної води (7 м³), вмикають мішалку і поступово протягом 3 годин завантажують соєве борошно (194,4 кг). Суміш, перемішуючи, нагрівають до 90°C, витримують протягом 0,5 годин, охолоджують до 70°C, завантажують KH_2PO_4 (22,05 кг), $NaNO_3$ (169,1 кг), глюкозу (4166,4 кг). Завантаження решти сировини проводять протягом 3 годин. Потім додають решту води (7 м³) протягом 2 годин. Процес повторюють двічі. Підготовлене середовище через насос Н6 подають в рекуператор Тп7 в якому ПС нагрівається від 50°C до 100,7°C. Після чого підготовлене середовище потрапляє в нагрівач Тк8, в який одночасно подають

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пару під тиском 3 атм з температурою 132,9°C. Після проходження нагрівача ПС має температуру 125,5 °C потрапляє у збірник 369. Потім ПС потрапляє в рекуператор Тп7, де охолоджується, потім потрапляє в холодильник Тп10, в який одночасно подається вода. Таким чином на виході з холодильника Тп10 поживне середовище має температуру 28 ... 29 °C. Потім відбувається завантаження ПС в ферментер Ф12. Після закінчення процесу вміст збірника 369 насосом Н6 повертають в реактор-змішувач Р5. Цикл приготування поживного середовища разом з простоюванням триває 135 годин.

2.3. Робоча ферментація

Після завантаження протягом 2 годин стерильного поживного середовища (загальна маса 38880 кг, об'єм 37,74 м³) у ферментер подають аераційне повітря (коефіцієнт аерації 0,5), потім перетискають посівний матеріал з останнього ступеня інокуляції в кількості 3888 кг об'ємом 3,81 м³. Ферментацію проводять протягом 120 годин, підтримуючи рН культуральної рідини в межах 7,1...7,6. За необхідністю його регулюють 10%-ми розчинами хлоридної кислоти або NaOH, які готують у реакторах Р13, Р14. Температуру ферментації 27...29°C підтримують подачею води в оболонку ферментера. Найбільш бурхливий ріст біомаси спостерігається на 40-60 годині ферментації. В цей період подачу аераційного повітря збільшують до максимального коефіцієнта 1,31.

Після закінчення ферментації культуральну рідину видаляють насосом Н15. Звільнений ферментер миють і стерилізують гострою парою.

Для стерилізації аераційного повітря використовують глибинний фільтр ФП11, на ферментері та інокуляторах встановлені додаткові індивідуальні фільтри з тканиною Петрянова. Відпрацьоване повітря з ферментерів видаляється з цеху у загальнозаводську систему очищення газових викидів.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Очищення культуральної рідини та фасування препарату

Після закінчення ферментації з ферментера видаляють темно-коричневу в'язку культуральну рідину, яку спочатку відфільтровують в декілька етапів в спеціальному цеху, далі висушують, теж в декілька етапів, а потім отриманий препарат флориміцину надходить у цех фасування і пакування.

Кінцевий вигляд препарату – порошок або пориста маса білого або, майже білого кольору, без запаху, дещо гірка на смак. Легко розчиняється у воді.

Форма випуску: у герметично укупорених флаконах, що містять по 500000 і 1000000 одиниць препарату. Зберігати необхідно у сухому темному приміщенні при температурі не вище 20°C.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Опис і обґрунтування вибраної конструкції

3.1. Конструкція та принцип дії виробу

Загалом, в залежності від ситуацій, конструкції ферментерів для культивування можуть бути дуже різноманітними.

Перш за все, як і всі апарати, ферментери можна поділити на горизонтальні та вертикальні. Однак важко уявити ситуацію, в якій використання горизонтального ферментера буде більш ефективним ніж вертикального, передусім через недоцільність такої конструкції для процесу культивування. Тому розташування ферментера однозначно буде вертикальним.

Основу конструкції ферментера складають обичайка, кришка та днище. Обичайка це просто циліндрична тонкостінна оболонка з фіксованими параметрами, які зазвичай приймаються згідно до стандартів (нормативних документів). Кришка та днище можуть бути сферичними, еліптичними, плоскими та конічними. Конічні днища зазвичай використовуються у реакторах-змішувачах, циклонах, сушарках, проте в ферментерах рідко. Плоскі днища та кришки дуже сильно поступаються іншим типам, оскільки гірше витримують навантаження, а в місцях їх з'єднань з обичайкою виникає досить серйозний концентратор напружень, що зазвичай компенсують підвищеною товщиною стінки. Сферичні елементи так само поступаються за даними параметрами еліптичним. Еліптичні елементи є найбільш часто використовуваними в апаратах даного типу і призначення та є найбільш ефективними. Тому обираємо еліптичну кришку та днище [3].

З'єднання кришки та днища з обичайкою може бути роз'ємним або нероз'ємним, тобто фланцеве або зварювання. Зазвичай тип з'єднання обирається відповідно до виконання апарата за стандартом, в залежності від необхідних умов. В даному випадку оптимальним буде варіант нероз'ємного з'єднання днища з обичайкою та роз'ємного кришки з обичайкою. Такий вибір ускладнить збірку апарата, проте надасть низку переваг, основною з яких буде

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливість вільного знімання кришки у разі виникнення технічної несправності всередині корпусу.

Далі обираємо тип теплообмінного пристрою. Відомі конструкції ферментерів як з внутрішнім, так і зовнішнім розташуванням теплообмінних пристроїв. Для невеликих апаратів перевагу надають зовнішньому теплообмінному пристрою у вигляді гладкої оболонки – сорочки. Однак для ферментерів об'ємом більше ніж 2-3 м³ поверхня теплообміну, особливо для культивування продуцентів антибіотиків, як правило, буде вже недостатньою. Були розроблені конструкції з внутрішніми теплообмінними пристроями у вигляді горизонтальних спіралей та більш сучасний варіант – вертикальних спіралей у вигляді в'язки труб. Внутрішні та зовнішні теплообмінні пристрої можуть використовуватися як окремо, так і разом. Обидва варіанти не несуть загрози контамінації сторонньою мікрофлорою КР. Проте внутрішні пристрої досить суттєво ускладнюють очистку і миття апаратів. Тому останніми роками перевагу надають сорочкам з різними модифікаціями для підвищення теплопередачі. Це можуть бути такі конструкції, як: сорочка з напів-труб, сорочка з прямою спіраллю (тобто в якій утворюється канал), або сорочка з кількох секцій, які в свою чергу також можуть мати пряму спіраль. Такі модифікації дають змогу збільшити коефіцієнт тепловіддачі в 2-4 і більше разів в порівнянні з звичайною гладкою сорочкою [4].

Виносні теплообмінні пристрої (теплообмінник в парі з циркуляційним насосом) використовуються лише в установках з нестерильними умовами виробництва, оскільки існує загроза контамінації КР через ущільники насосів і щілини теплообмінників.

Вибір комбінації теплообмінних пристроїв зазвичай зводиться до визначення необхідної площі теплообміну сорочки, порівняння отриманого значення з заданим (якщо таке є) і подальше прийняття рішення на основі отриманих результатів. Зазвичай у разі нестачі необхідної площі у конструкцію додають зміювик – внутрішню спіральну трубу [4], [5].

Варто відзначити конструкцію ферментера з U-подібною сорочкою,

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки вона також є досить ефективною, однак таке рішення можна застосовувати для порівняно невеликих ферментерів, для яких в якості опори обираються опорні лапи в кількості 2-4 одиниці, які встановлюються на поверхні обичайки вище центра мас апарата. У випадку якщо апарат великий (особливо параметр висоти), важко здійснювати його монтаж у робоче положення з опорними лапами. Тому використовують опори у вигляді циліндричної або конічної обичайки з закріпленням за допомогою фундаментних болтів. Якщо під такою опорою буде сорочка, то товщина її стінки буде надзвичайно великою.

Отже зважаючи на задані параметри ферментера обираємо гладку сорочку з прямою спіраллю по циліндричній частині апарата. Після виконання теплового розрахунку буде зрозуміло, чи треба додавати внутрішній теплообмінний пристрій, чи проводити зміни в конструкції сорочки. В якості опори обираємо опору у вигляді циліндричної/конічної обичайки, оскільки апарат високий (більше 12 м) [4], [5].

Більшість антибіотиків є результатом культивування і життєдіяльності аеробних мікроорганізмів, тобто для росту та розвитку яких потрібне постійне надходження кисню та його розподіл по всьому об'єму КР. За способом аерації та перемішування ферментери поділяють на апарати з пневматичним та механічним перемішуванням.

У пневматичних ферментерах перемішування відбувається шляхом аерації потоком стисненого повітря, тобто бульбашкам, що піднімаються. В таких апаратах зазвичай отримують високі значення темпу росту та розвитку для великої кількості культур. При цьому в таких конструкціях є суттєвий недолік, а саме важкість підтримки гомогенності КР особливо при високій концентрації біомаси клітин продуцента. Ці значення концентрації досягаються при використанні спеціальних ерліфтних конструкцій, за рахунок яких створюються спрямовані циркуляційні потоки, які в свою чергу викликають утворення градієнту густин. У конструкціях з барботажними колонами повітря під значним тиском надходить у нижню частину апарата,

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що викликає його нерівномірний розподіл по об'єму КР. Також подача повітря під високим тиском може призвести до досить сильного піноутворення, що є небажаним явищем [6].

В ферментерах з механічним перемішуванням використовуються відповідно конструкція механічного перемішуючого пристрою у вигляді центрального валу з насадками на нього – мішалками різної форми. У таких ферментерах повітря подається за допомогою барботера, який є трубою з великою кількістю невеликих отворів, внаслідок чого повітря подається у вигляді дрібних бульбашок і за допомогою механічного перемішування рівномірно розподіляється по об'єму КР. Барботер може бути круглим або квадратним (теоретично можлива й трикутна форма, проте не доводилось зустрічати). Найбільш простим у виготовленні є круглий барботер, конструкційні розміри якого розраховуються в залежності від попередньо розрахованих параметрів мішалки. В такого типу систему перемішування можуть входити також відбивні перегородки – вузькі металеві пластини, які прикріплені до внутрішніх стінок ферментера. Ці перегородки запобігають виникненню виру навколо обертової мішалки, переводячи рідинний круговий рух у вихровий, який рівномірно розподілений по всьому об'єму КР. Отже обираємо конструкцію з механічним перемішуючим пристроєм та круглим барботером [5], [6].

Мішалка є елементом, який безпосередньо приводить КР в рух. Їх може прийматися декілька, переважно в залежності від рівня висоти КР в ферментері та необхідної потужності перемішування [5].

Є велика кількість різних конструкцій/типів мішалок, кожна з яких підходить для різних ситуацій, це: трюхлопатева, пропелерна (гвинтова), турбінна відкрита, турбінна закрита, шестилопатева, кліткова, лопатева, шнекова, якірна, рамна, стрічкова, стрічкова з шкребками тощо. Для кожного типу мішалки є своє оптимальне значення в'язкості КР, яку потрібно буде перемішувати:

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Типи мішалок [5]

Тип мішалки	Граничні значення в'язкості речовини, Па · с
Турбінна	0,001 – 50
Гвинтова	0,001 – 10
Лопатева	0,1 – 50
Рамна	1 – 100
Якірна	0,1 – 2
Шнекова	5 – 500
Стрічкова	10 – 2000

Мішалки поділяють на швидкохідні та тихохідні. До перших відносяться пропелерні та турбінні мішалки. Мішалки даного типу в залежності від форми лопаток і способу їх встановлення можуть створювати радіальний, осьовий і радіально-осьовий потоки рідини. При використанні таких мішалок практично завжди треба встановлювати відбивні перегородки, оскільки утворюється велика воронка. До других – лопатеві, якірні та рамні. Вони утворюють переважно круговий потік рідини, тобто рідина обертається навколо осі ферментера. Для малов'язких рідин зазвичай використовують швидкохідні мішалки, для високов'язких – тихохідні. Для перемішування рідин з низькою і середньою в'язкістю використовують турбінні мішалки з прямими лопатками або пропелерні мішалки. Якірні мішалки використовують для інтенсифікації теплообміну й запобігання випадіння осаду на стінках і днищі апарата. Трьохлопатеві або пропелерні мішалки є ефективними у випадках, коли необхідно створити значну циркуляцію рідини при невеликих затратах енергії. Лопатеві мішалки використовують коли немає потреби в інтенсивній радіально-осьовій циркуляції рідини в апараті. В даному випадку мішалка була задана – турбінна відкрита, проте окрім стандартної можна трохи ускладнити конструкцію з додаванням кутів нахилу лопатей та валу [5], [7].

Привод перемішуючого пристрою буде обиратися в залежності від розрахунку необхідної потужності перемішування за стандартом або за конкретним пошуком необхідної моделі. Вал приводу з'єднується з валом

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перемішуючого пристрою перехідним елементом – муфтою, вибір якого залежить також від обраного редуктора для електропривода.

Також на місці входу валу в кришку апарата зазвичай додають торцеве ущільнення для кращої герметизації. В ферментерах біотехнологічної промисловості, враховуючи високі вимоги до асептики, застосовують переважно торцеві ущільнення типу ТТ, тобто з термічним затвором. Стандартне ущільнення складається з корпусу, уловлювача витоків, рухомого і нерухомого кілець ущільнювачів, пружин, що забезпечують контакт нерухомих і рухомих ущільнюючих кілець. Корпус ущільнення заповнюють авіаційним мастилом МС-20 або МК-22, яке створює термічний затвор і змащує пари тертя. У корпусі є сорочка, в яку подається пара для стерилізації ущільнення. У разі необхідності в сорочку подається охолоджуюча рідина. Параметри ущільнення підбираються в залежності від діаметру вала.

Штуцери застосовуються для підводу та відводу комунікацій. Виготовляються за стандартами в залежності від необхідного об'єму речовини, що підводиться або відводиться після визначення необхідного умовного діаметру.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Орієнтовна конструкція ферментера зображена нижче:

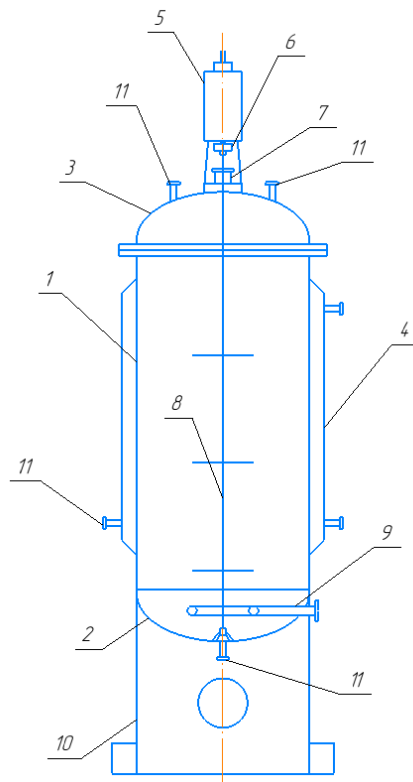


Рис. 3.1 – Орієнтовна конструкція ферментеру:

1 – корпус (циліндрична обичайка); 2 – еліптичне днище (нероз’ємне); 3 – еліптична кришка (роз’ємна); 4 – циліндрична сорочка; 5 – електропривод; 6 – муфта; 7 – торцеве ущільнення; 8 – перемішуючий пристрій; 9 – барботер; 10 – опора у вигляді циліндричної обичайки; 11 – штуцери.

3.2. Порівняння основних показників вибраної конструкції з її аналогами

Після попереднього пошуку актуальних конструкцій, що використовуються на даний момент виявилося, що досить багато компаній зі всього світу активно розробляють та продають свої моделі ферментерів для культивування мікроорганізмів. Проте найбільш велика різноманітність моделей саме китайського й американського виробництв. Нижче наведені варіанти ферментерів, які є найближчими до обраної конструкції:

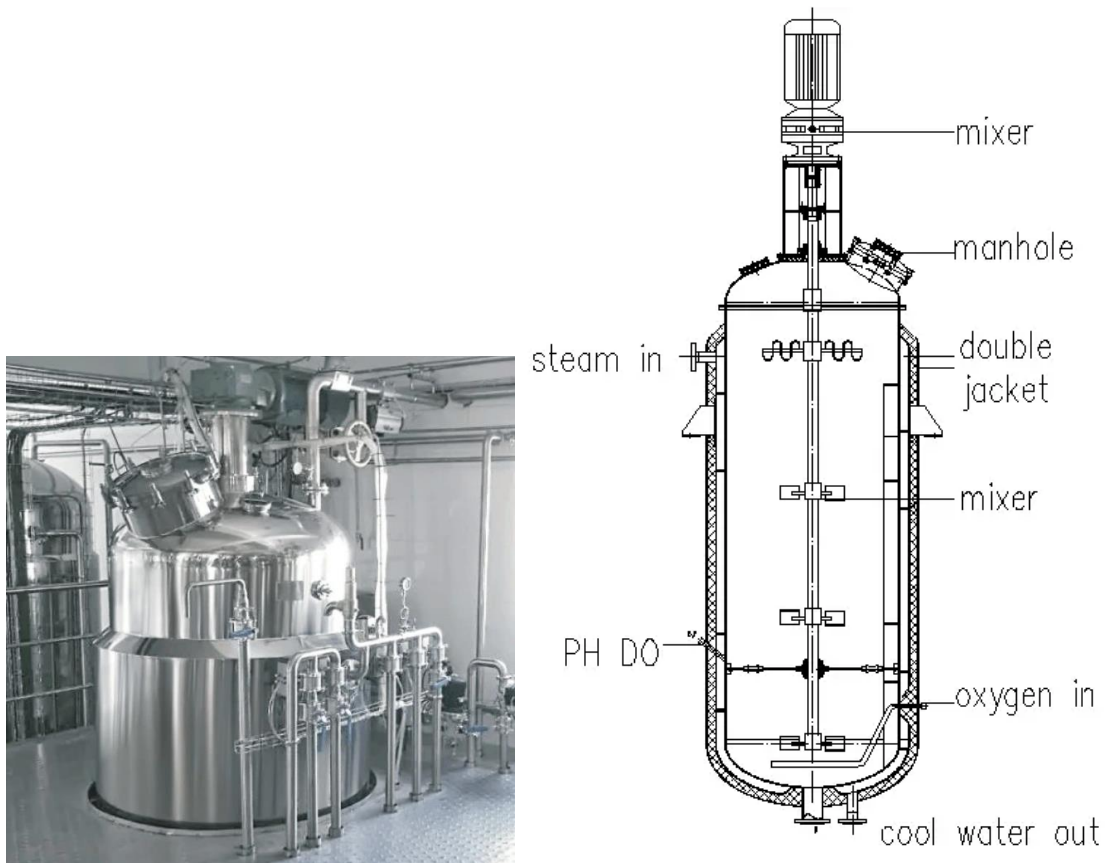


Рис. 3.2 – Ферментер китайського виробництва «Fermentation tank», компанія «Ruian Global Machinery CO., LTD» [8]



Рис. 3.3 – Ферментер китайського виробництва «BLBIO-SS/SJ/SJA/SCU/SCUV/SJB», компанія «Bailun Biotechnology CO., LTD.» [9]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БІО117.7215002-10 ПЗ

Арк.
29



Рис. 3.4 – Ферментер іспанського виробництва «FS Industrial Bioreactor», компанія «Bionet» [10]

Як бачимо, всі актуальні конструкції ферментерів є вертикальними апаратами з схожою загальною конструкцією. Звичайно кожна компанія вносить особливості у конструкцію з метою підвищення ефективності функціонування апарата, як наприклад ферментер «Fermentation tank» з подвійною сорочкою з додатковим шаром ізоляції. Характерною ознакою також є висока ступінь автоматизації та відповідно керування роботою апаратів, яка вдосконалюється найбільш швидкими темпами.

Також майже немає пропозицій продажу моделей з великим номінальним об'ємом. Більшість з апаратів, які доступні для придбання мають порівняно невеликі об'єми в межах декількох сотень літрів, й переважно призначені для використання як інокулятори для відновлення культури. Замовлення та придбання моделей промислових масштабів можливе, однак потребує спеціального подання заяви та декількох етапів верифікації, що логічно, адже виготовлення апарата промислового масштабу є дороговартісним. На основі доступних у вільному доступі параметрів технічних характеристик складемо порівняльну таблицю:

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Порівняння основних техніко-економічних показників ферментерів [8], [9], [10]

Показник	«Fermentation tank»	«BLBIO-SS/SJ/SJA/SCU/SCUV/SJB»	«FS Industrial Bioreactor»
Номінальний об'єм $V_H, \text{м}^3$	0,03...50	0,005...200	>0,2
Внутрішній діаметр $D_{BH}, \text{м}$	300...3100	$\frac{H}{D_{BH}} = \frac{1}{2,2 \dots 2,5}$	>100
Коефіцієнт заповнення $\varphi, \%$	0,65...0,8	0,3...0,7	0,5...0,8
Тиск всередині апарата $P_1, \text{МПа}$	0,2	0,3	0,3
Тиск в сорочці $P_2, \text{МПа}$	0,3	0,35	0,3
Пристрій відводу тепла	Сорочка/цирк. труба	Сорочка	Сорочка
Швидкість об. мішалки $n, \text{с}^{-1}$	1,67...6,67	0,83...6,67	-
Потужність перем. $N, \text{кВт}$	0,55...55	10...200	-

3.3 Відомості про використанні винаходи і патентну чистоту

Регламент пошуку – ферментер.

Огляд проводився на патенти таких країн: Україна, США, Китай, Іспанія, Німеччина, Японія.

Відповідно до даних, отриманих в результаті проведення патентного пошуку в міжнародних патентних базах, було з'ясовано, що кількість зареєстрованих патентів за ключовим словом «ферментер» сягає більше 100000 одиниць, найбільший стрибок відбувся в період 2015-2020 роки. Тобто можна зробити висновок, що останні роки інтерес науковців до даного типу обладнання зростає, а галузі, в яких дане обладнання застосовується розвиваються швидкими темпами.

Аналіз патентних баз України показав, що за останні роки кількість зареєстрованих патентів також зросла, в порівнянні з періодом до 2010 року, проте не в настільки великих масштабах.

Більш детальний аналіз показав, що існує тенденція на спрощення конструкції апарата в бік відмови від великої кількості внутрішніх складових для пониження рівня складності збірки, монтажу, очистки та підвищення продуктивності. Стабільно впроваджуються покращені методи автоматизованого регулювання і контролю процесів апарата.

Розроблений в даному проєкті апарат не зовсім відповідає цій концепції, адже довелося навпаки додавати внутрішні складові в силу невиконання певних умов, проте загальний характер конструкції, спрямований на зменшення матеріаломісткості та покращення ефективності функціонування, зберігається. Обрана конструкція має спільні риси з вже існуючими апаратами, проте наявні і відмінності.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Технічна характеристика ферментера

- Об'єм ферментера: 63 м³;
- Коефіцієнт заповнення: 0,7;
- Частота обертання валу мішалки: 2,95 с⁻¹;
- Тип мішалки: турбінна (відкрита);
- Потужність електродвигуна: 400 кВт;
- Площа поверхні теплообміну сорочки: 61 м³;
- Робочий тиск в корпусі апарата: 0,294 МПа;
- Робочий тиск в сорочці: 0,294 МПа;
- Середовище:
 - в корпусі: неагресивне, пожежобезпечне – культуральна рідина;
 - в сорочці: неагресивне, пожежобезпечне – вода;
- Температура середовища:
 - в корпусі: початкова - 28 °С, кінцева - 28 °С;
 - в сорочці: початкова - 18 °С, кінцева - 20 °С;
- Маса апарата без приводу: 22500 кг;
- Габаритні розміри:
 - висота: 12015 мм;
 - ширина: 3700 мм;
 - довжина: 3660 мм.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

5.1 Визначення параметрів середовища в ферментері, складання та розв'язання інтегрального стехіометричного рівняння

Розрахунок проводиться за методикою, наведеною в [4].

1. Відповідно до технології приготування склад поживного середовища такий: вода, соєве борошно, глюкоза, KH_2PO_4 та $NaNO_3$. За довідником визначаємо склад соєвого борошна (в масових частках) [4]:

- клітковина (не споживається) – 4,5%;
- мальтоза $C_{12}H_{22}O_{11}$ – 10,0%;
- білок – 43,0%;
- жир – 6,5%;
- попіл (умовно не споживається) – 5,5%;
- невизначені (не споживаються) – 21,5%;
- вода – 9,0%.

З відкритих джерел та довідників визначаємо необхідні молекулярні маси речовин і продуктів [4]:

- Глюкоза $C_6H_{12}O_6$ – 180 а.о.м;
- Мальтоза $C_{12}H_{22}O_{11}$ – 342 а.о.м;
- Білок $C_{4,25}H_{7,5}N_{1,18}O_{1,5}S_{0,03}$ – 99,98 а.о.м;
- Жир $C_{55}H_{104}O_6$ – 860 а.о.м;
- KH_2PO_4 – 136 а.о.м;
- $NaNO_3$ – 85 а.о.м;
- Кисень – 32 а.о.м;
- АСБ – 100,59 а.о.м;
- Флориміцин – 608 а.о.м;
- CO_2 – 44 а.о.м;
- H_2O – 18 а.о.м.

2. Отже, відповідно до компонентів поживного середовища, речовин,

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що утворюються внаслідок самого процесу культивування та додаючи необхідність наявності кисню (аеробний процес), початковий запис інтегрального стехіометричного рівняння буде виглядати так:

$$\begin{aligned} & \alpha_1[C_6H_{12}O_6](\text{глюкоза}) + \alpha_2[C_{12}H_{22}O_{11}](\text{мальтоза}) + \\ & + \alpha_3[C_{4,25}H_{7,5}N_{1,18}O_{1,5}S_{0,03}](\text{білок}) + \alpha_4[C_{55}H_{104}O_6](\text{жир}) + \\ & + \alpha_5[KH_2PO_4] + \alpha_6[NaNO_3] + \alpha_7[O_2] = \\ & = \alpha_8[C_{3,9}H_{6,9}N_{0,8}O_2K_{0,05}P_{0,05}S_{0,006}](\text{АСБ}) + \alpha_9[C_{23}H_{36}O_8N_{12}](\text{флориміц.}) + \\ & + \alpha_{10}[CO_2] + \alpha_{11}[H_2O] + \dots \end{aligned}$$

3. Визначаємо коефіцієнти. Приймаємо, що глюкоза $\alpha_1 = 1$. Далі за рецептурними співвідношеннями поживного середовища визначаємо необхідні коефіцієнти $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$:

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_1 \cdot 180}{\alpha_2 \cdot 342} &= \frac{6}{1 \cdot 0,1}; \\ \alpha_2 &\approx 0,0088 = 0,009; \\ \frac{\alpha_1 \cdot 180}{\alpha_3 \cdot 99,98} &= \frac{6}{1 \cdot 0,43}; \\ \alpha_3 &\approx 0,129 = 0,13; \\ \frac{\alpha_1 \cdot 180}{\alpha_4 \cdot 860} &= \frac{6}{1 \cdot 0,065}; \\ \alpha_4 &\approx 0,0023 = 0,002. \end{aligned}$$

За інформацією про норми споживання вуглецевмісних субстратів [4] знаходимо α_8 :

Синтез біомаси з глюкози:

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_1 \cdot 180}{\alpha_{61} \cdot 100,59} &= \frac{2 \cdot 2}{1}; \\ \alpha_{61} &\approx 0,4474 = 0,45. \end{aligned}$$

Синтез біомаси з білка соєвого борошна:

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_2 \cdot 342}{\alpha_{62} \cdot 100,59} &= \frac{2 \cdot 2}{1}; \\ \alpha_{62} &\approx 0,0077 = 0,008. \end{aligned}$$

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Синтез біомаси з білка соєвого борошна:

$$\frac{\alpha_3 \cdot 99,98}{\alpha_{63} \cdot 100,59} = \frac{1,5 \cdot 2}{1};$$

$$\alpha_{63} \approx 0,0431 = 0,043.$$

Синтез біомаси з жиру соєвого борошна:

$$\frac{\alpha_4 \cdot 860}{\alpha_{63} \cdot 100,59} = \frac{1 \cdot 2}{1};$$

$$\alpha_{63} \approx 0,0086 = 0,009.$$

Коефіцієнт α_8 буде сумою знайдених коефіцієнтів:

$$\alpha_8 = \alpha_{61} + \alpha_{62} + \alpha_{63} + \alpha_{64} = 0,45 + 0,008 + 0,043 + 0,009 = 0,51.$$

Далі визначаємо α_9 :

Маса флориміцину за рецептурними даними становить 5,2% від маси АСБ. Маса АСБ дорівнює:

$$m_{\text{АСБ}} = 100,59 \cdot 0,51 = 51,3 \text{ кг.}$$

Таким чином маса флориміцину:

$$m_{\text{флор.}} = \frac{51,3 \cdot 5,2}{100} = 2,67 \text{ кг.}$$

Стехіометричний коефіцієнт α_9 дорівнює:

$$\alpha_9 = \frac{m_{\text{флор.}}}{M_{\text{флор.}}} = \frac{2,67}{608} \approx 0,00439 = 0,0044.$$

Відповідно до рецепту, початкова концентрація фосфору повинна бути 0,0006%. Маса поживного середовища становить 38880 кг. Маса посівного матеріалу – 3888 кг. Отже сумарна маса складає 42768 кг.

Маса елементарного фосфору в цій суміші буде:

$$m_{\text{ф}} = \frac{0,0006 \cdot 42768}{100} = 0,257 \text{ кг.}$$

Отже, фосфату калію потрібно взяти:

$$m_{\text{KH}_2\text{PO}_4} = \frac{136 \cdot 0,257}{31} = 1,128 \text{ кг.}$$

Знаходимо коефіцієнт α_5 :

$$\alpha_5 = \frac{m_{\text{KH}_2\text{PO}_4}}{M_{\text{KH}_2\text{PO}_4}} = \frac{1,128}{136} \approx 0,00829 = 0,0083.$$

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Баланс за атомами фосфору:

$$0,0083 \cdot 1 + X = 0,51 \cdot 0,05;$$

$$X = 0,0172.$$

Оскільки X вийшло позитивним числом, то фосфор згідно з рецептурою знаходиться в нестачі. Для отримання необхідного значення збільшимо α_5 до потрібного рівня (щоб отримати від'ємне значення), тобто $\alpha_5 = 0,026$.

Атоми натрію, що звільняються під час розкладання нітрату натрію, повинні утворювати їдкий натрій, проте, реагуючи з вуглекислим газом і водою при невисокій температурі утворюють $NaHCO_3$. Стехіометричний коефіцієнт при $NaNO_3$ становить 0,307 [4]. Отже коефіцієнт $\alpha_6 = 0,307$. Додаємо компонент $NaHCO_3$ до загального рівняння.

Оскільки сірковмісний компонент був взятий з надлишком, зайві атоми будуть утворювати сульфатну кислоту. Сульфатна кислота реагує з NH_4HCO_3 [4]:



В результаті стехіометричний коефіцієнт при NH_4HCO_3 зменшується на 0,001 від α_6 ($\alpha_{12} = 0,306$) і з коефіцієнтом 0,001 утворюється NH_4HSO_4 ($\alpha_{13} = 0,001$).

Додаємо компоненти до рівняння:

$$\begin{aligned} & \alpha_1[C_6H_{12}O_6](\text{глюкоза}) + \alpha_2[C_{12}H_{22}O_{11}](\text{мальтоза}) + \\ & + \alpha_3[C_{4,25}H_{7,5}N_{1,18}O_{1,5}S_{0,03}](\text{білок}) + \alpha_4[C_{55}H_{104}O_6](\text{жир}) + \\ & + \alpha_5[KH_2PO_4] + \alpha_6[NaNO_3] + \alpha_7[O_2] = \\ & = \alpha_8[C_{3,9}H_{6,9}N_{0,8}O_2K_{0,05}P_{0,05}S_{0,006}](\text{АСБ}) + \alpha_9[C_{23}H_{36}O_8N_{12}](\text{флориміц.}) + \\ & + \alpha_{10}[CO_2] + \alpha_{11}[H_2O] + \alpha_{12}[NaHCO_3] + \alpha_{13}[NH_4HSO_4] + \dots \end{aligned}$$

Визначаємо кількість атомів карбону в лівій і правій частинах і складаємо відповідне рівняння. За його допомогою знаходимо коефіцієнт при вуглекислому газі [4]:

$$1 \cdot 6 + 0,009 \cdot 12 + 0,13 \cdot 4,25 + 0,002 \cdot 55 = 0,51 \cdot 3,9 + 0,0044 \cdot 23 +$$

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$+\alpha_{10} \cdot 1 + 0,306 \cdot 1;$$

$$\alpha_{10} \approx 4,3773 = 4,38.$$

За такою ж методикою знаходимо коефіцієнти при воді:

$$1 \cdot 12 + 0,009 \cdot 22 + 0,13 \cdot 7,5 + 0,002 \cdot 104 + 0,026 \cdot 2 =$$

$$= 0,51 \cdot 6,9 + 0,0044 \cdot 36 + \alpha_{11} \cdot 2 + 0,306 \cdot 1 + 0,001 \cdot 5;$$

$$\alpha_{11} \approx 4,7275 = 4,73.$$

Та кисні:

$$1 \cdot 6 + 0,009 \cdot 11 + 0,13 \cdot 1,5 + 0,002 \cdot 6 + 0,026 \cdot 4 + 0,307 \cdot 3 + \alpha_7 \cdot 2 =$$

$$= 0,51 \cdot 2 + 0,0044 \cdot 8 + 4,38 \cdot 2 + 4,73 \cdot 1 + 0,306 \cdot 3 + 0,001 \cdot 4;$$

$$\alpha_7 \approx 4,0681 = 4,07.$$

Підставляємо всі отримані коефіцієнти в рівняння:

$$\begin{aligned} &1 \cdot [C_6H_{12}O_6] + 0,009 \cdot [C_{12}H_{22}O_{11}] + 0,13 \cdot [C_{4,25}H_{7,5}N_{1,18}O_{1,5}S_{0,03}] + \\ &+ 0,002 \cdot [C_{55}H_{104}O_6] + 0,026 \cdot [KH_2PO_4] + 0,307 \cdot [NaNO_3] + 4,07 \cdot [O_2] = \\ &= 0,51 \cdot [C_{3,9}H_{6,9}N_{0,8}O_2K_{0,05}P_{0,05}S_{0,006}] + 0,0044 \cdot [C_{23}H_{36}O_8N_{12}] + \\ &+ 4,38 \cdot [CO_2] + 4,73 \cdot [H_2O] + 0,306 \cdot [NaHCO_3] + 0,001 \cdot [NH_4HSO_4]. \end{aligned}$$

За допомогою отриманих даних визначаємо оптимальний матеріальний баланс для біосинтезу флориміцину та формуємо на основі отриманих даних таблицю [4]:

Таблиця 5.1 – Ідеальний матеріальний баланс біосинтезу флориміцину

На вході (взято), кг			
Речовина	Молекулярна маса, а.о.м	Стехіометричний коефіцієнт	Маса, кг
Глюкоза	180	1	180
Мальтоза	342	0,009	3,08
Білок	99,98	0,13	13
Жир	860	0,002	1,72
KH_2PO_4	136	0,026	3,54
$NaNO_3$	85	0,307	26,1
O_2	32	4,07	130,24

Таблиця 5.1 – Продовження

Загалом			357,68
На виході (отримано), кг			
Речовина	Молекулярна маса, а.о.м	Стехіометричний коефіцієнт	Маса, кг
АСБ	100,59	0,51	51,3
Флориміцин	608	0,0044	2,68
CO_2	44	4,38	192,72
H_2O	18	4,73	85,14
$NaHCO_3$	84	0,306	25,7
NH_4HSO_4	115	0,001	0,115
Загалом			357,66

5.2 Робочий баланс процесу ферментації

При визначенні робочого балансу ферментації необхідно врахувати посівний матеріал та реально взяті маси сировинних субстратів. Також необхідно врахувати те, що біомаса в культуральній рідині існує у вигляді клітинної маси й продуктом життєдіяльності продуцента є вуглекислий газ.

Дані, щодо мас поживного середовища і посівного матеріалу, які надходять у ферментер останньої стадії культивування відомі – це 38880 кг і 3888 кг відповідно.

При цьому при приготуванні ПС бралися такі маси речовин:

- Вода питна: $7 \text{ м}^3 + 7 \text{ м}^3$, отже приблизно 14000 кг, з урахування густини води $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ як при нормальних умовах;
- Соєве борошно: 194,4 кг;
- KH_2PO_4 : 22,05 кг;
- $NaNO_3$: 169,1 кг;
- Глюкоза: 4166,4 кг.

Разом 18551,95 кг поживного середовища. Відомо, що процес повторювався двічі (загрузка ПС), отже в сумі: 37103,9 кг. Як видно, до необхідного значення 38880 кг не вистачає. Остачею буде додатковий кисень, що надходив для аерації, тобто 1776,1 кг.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Склад посівного матеріалу умовно приймаємо стандартним для подібних процесів:

- АСБ: 2 %, отже 77,76 кг;
- Решта – умовно вода, тобто 3810,24 кг.

Відповідно до розрахованого в попередньому підрозділі ідеального матеріального балансу біосинтезу визначаємо маси речовин, які отримаємо на виході:

- АСБ: 6132,93 кг;
- Флориміцин: 320,76 кг;
- $NaHCO_3$: 3075,02 кг;
- NH_4HSO_4 : 13,69 кг;
- Вода: 10183,06 кг;
- Вуглекислого газу: 22981,27 кг.

За отриманими даними створюємо таблицю:

Таблиця 5.2 – Робочий баланс ферментації

Взято	Маса, кг
Глюкоза	$4166,4 \cdot 2 = 8332,8$
Соеве борошно (окремо за його складовими): - мальтоза – 38,82 кг; - білок – 167,18 кг; - жир – 25,28 кг; - клітковина – 17,5 кг; - неорганічні солі – 21,38 кг; - невизначені – 83,66 кг; - вода – 34,98 кг.	$194,4 \cdot 2 = 388,8$
KH_2PO_4	$22,05 \cdot 2 = 44,1$
$NaNO_3$	$169,1 \cdot 2 = 338,2$
Вода	28000
Всього поживного середовища	37103,9
Посівний матеріал (за складовими): - АСБ – 77,76 кг; - вода – 3810,24 кг.	3888

Таблиця 5.2 – Продовження

Кисень (для аерації)	1776,1
Загалом	42768
Отримано	Маса, кг
АСБ (біомаса)	6132,93
Флориміцин	320,76
$NaHCO_3$	3075,02
NH_4HSO_4	13,69
Неорганічні солі	10,69
Невизначені	41,83
Клітковина	8,75
Вода	10183,06
Загалом культуральної рідини	19786,73
CO_2 (викиди)	22981,27
Загалом	42768

5.3 Конструктивний розрахунок

Конструктивний розрахунок виконується для визначення основних та найголовніших розмірів початкової конструкції апарату, тобто обичайки, кришки та днища. Виконується відповідно до стандарту СОУ МПП 71.120-217:2009 (Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови). Сам розрахунок проводиться за методикою, наведеною в [4], [12].

Розрахуємо робочий об'єм: $V_p = V_n \varphi = 63 \cdot 0,7 = 44,1 \text{ м}^3$, де φ – коефіцієнт заповнення ферментера; V_n – номінальний об'єм.

Відповідно до номінального об'єму обираємо внутрішній діаметр для ферментера: $D_{вн} = 3200 \text{ мм}$.

При цьому висота складає: $H = 8300 \text{ мм}$.

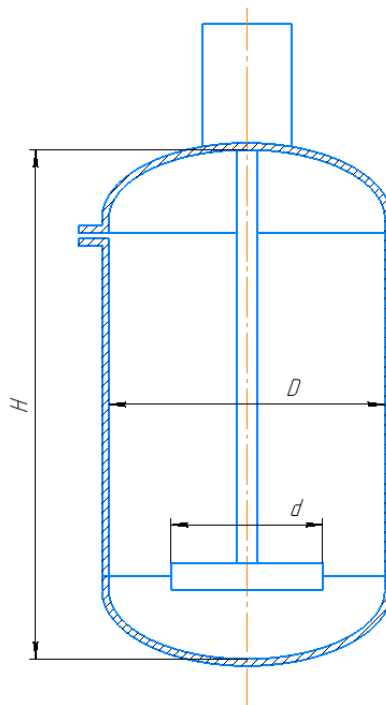


Рис. 5.1 – Конструкція корпусу відповідно до стандарту

Кришка в конструкціях даного типу може формувати з обичайною роз'ємне або нероз'ємне з'єднання. В даному випадку обираємо роз'ємне.

Визначимо параметри еліптичних елементів. У випадку стандартного еліптичного днища: $h_b = 0,25D_{вн} = 0,25 \cdot 3200 = 800$ мм.

Відповідно до стандарту приймаємо конструктивні розміри еліптичного елемента (кришки та днища):

- $D_b = 3200$ мм;
- $h_1 = 80$ мм;
- $h_b = 800$ мм;
- $S_e = 30$ мм (попередньо прийняте значення).
- $F_e = 11,90$ м²;
- $m_e = 2865,7$ кг;
- $V_e = 4913,1$ дм³ = 4,913 м³.

Отже й для обичайки попередньо приймаємо товщину стінки $S_{об} = 30$ мм.

Таким чином висота еліптичного елемента буде: $h_e = 800 + 80 = 880$ мм.

Отже висота циліндричної частини (обичайки):

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{об} = 8300 - 2 \cdot 880 = 6540 \text{ мм.}$$

Висота рівня середовища в ферментері:

$$H_p = \frac{4(V_p - V_e)}{\pi D_{BH}^2} + h_1 + h_b = \frac{4 \cdot (44,1 - 4,913)}{3,14 \cdot 3,2^2} + 0,88 = 5,75 \text{ м.}$$

Площа поверхні теплообміну сорочки відома: $F_{сор} = 61 \text{ м}^2$. Визначимо її висоту:

Оскільки сорочка буде покривати тільки циліндричну частину апарата, то її висота буде визначатися:

$$h_{сор} = \frac{F_{сор}}{\pi \cdot D_{зов}} = \frac{61}{3,14 \cdot 3,26} = 5,95 \text{ м} \approx 6 \text{ м.}$$

5.4 Тепловий баланс ферментера

Життєдіяльність будь-якого гетеротрофного мікроорганізму супроводжується продукуванням теплової енергії, з якої згідно з термодинамікою відкритих систем лише незначна частка використовується в конструктивному метаболізмі. Решта тепла виділяється у навколишнє середовища.

Нехтуючи теплом, що вноситься з аеруючим повітрям, витрачається на випаровування частини КР та передається у довкілля природним шляхом тепловий баланс ферментера можна записати як [4]:

$$Q_6 + Q_{\pi} = Q_{ох},$$

де Q_6 – екзотермічне тепло синтезу біомаси; Q_{π} – тепло від перемішуючого пристрою; $Q_{ох}$ – тепло, що передається охолоджувальній воді.

5.5 Розрахунок теплового ефекту синтезу 1 кг АСБ

Найкращі результати визначення екзотермічної теплової потужності біосинтезу дають експериментальні дослідження, які проводять двома методами:

1. Метод непрямой калориметрії, який полягає у визначенні різниці теплот згоряння вихідної суміші субстратів і кінцевої культуральної рідини за допомогою калориметричної бомби;

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Метод теплового балансу, який проводять на експериментальному ферментері. За даними про витрату охолоджувальної води, її початкову та кінцеву температури, потужність мішалки визначають складові теплового рівняння [4].

Проте у випадку приблизних орієнтовних розрахунків можна використати емпіричну формулу Менделєєва. Згідно з цією формулою у разі спалювання 1 кг речовини виділяється Q кДж тепла [4]:

$$Q = 339,3C + 1256H - 109(O - S), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

де C, H, O, S – відсотковий вміст елемента в брутто-формулі речовини.

При цьому $C + H + O + S + N = 100$. Використаємо дану методику:

Випишуємо речовини з робочого балансу, які здатні згоряти:

Таблиця 5.3 – Речовини, що здатні згоряти [4]

Взято	Маса, кг	Отримано	Маса, кг
Глюкоза	8332,8	АСБ	6132,93
Мальтоза	38,82	Флориміцин	320,76
Білок	167,18		
Жир	25,28		
Разом	8564,08	Разом	6453,69

Тепло, що виділяється під час згоряння 1 кг глюкози, яка має брутто-формулу $C_6H_{12}O_6$ (мол. маса 180 а.о.м.):

$$Q_1 = 339,3 \cdot \frac{6 \cdot 12 \cdot 100}{180} + 1256 \cdot \frac{12 \cdot 1 \cdot 100}{180} - 109 \cdot \frac{6 \cdot 16 \cdot 100}{180} =$$

$$= 16132 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Тепло, що виділяється під час згоряння 1 кг мальтози, яка має брутто-формулу $C_{12}H_{22}O_{11}$ (мол. маса 342 а.о.м.):

$$Q_2 = 339,3 \cdot \frac{12 \cdot 12 \cdot 100}{342} + 1256 \cdot \frac{22 \cdot 1 \cdot 100}{342} - 109 \cdot \frac{11 \cdot 16 \cdot 100}{342} =$$

$$= 16757 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Тепло, що виділяється при згорянні 1 кг білка, який має брутто-формулу $C_{4,25}H_{7,5}N_{1,18}O_{1,5}S_{0,03}$ (мол. маса 99.98 а.о.м.):

$$Q_3 = 339,3 \cdot \frac{4,25 \cdot 12 \cdot 100}{99,98} + 1256 \cdot \frac{7,5 \cdot 1 \cdot 100}{99,98} - 109 \cdot \left(\frac{1,5 \cdot 16 \cdot 100}{99,98} - \frac{0,03 \cdot 32 \cdot 100}{99,98} \right) = 24218 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Тепло, що виділяється під час згоряння 1 кг жиру, який має брутто-формулу $C_{55}H_{104}O_6$ (мол. маса 860 а.о.м.):

$$Q_4 = 339,3 \cdot \frac{55 \cdot 12 \cdot 100}{860} + 1256 \cdot \frac{104 \cdot 1 \cdot 100}{860} - 109 \cdot \left(\frac{6 \cdot 16 \cdot 100}{860} - 0 \right) = 40011 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Брутто-формула АСБ без атомів металів і фосфору $C_{3,9}H_{6,9}N_{0,8}O_2S_{0,006}$ (мол. маса 96.97 а.о.м.):

$$Q_5 = 339,3 \cdot \frac{3,9 \cdot 12 \cdot 100}{96,97} + 1256 \cdot \frac{6,9 \cdot 1 \cdot 100}{96,97} - 109 \cdot \left(\frac{2 \cdot 16 \cdot 100}{96,97} - \frac{0,006 \cdot 32 \cdot 100}{96,97} \right) = 21737 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Тепло, що виділяється під час згоряння 1 кг флориміцину, який має брутто-формулу $C_{23}H_{36}O_8N_{12}$ (мол. маса 608 а.о.м.):

$$Q_6 = 339,3 \cdot \frac{23 \cdot 12 \cdot 100}{608} + 1256 \cdot \frac{36 \cdot 1 \cdot 100}{608} - 109 \cdot \frac{8 \cdot 16 \cdot 100}{608} = 20545 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Розраховуємо теплоти згоряння [4]:

Таблиця 5.4 – Теплоти згоряння речовин

Сумарне тепло, що утворюється під час згоряння вхідних речовин, кДж			
Речовина	Кількість, кг	Тепло згоряння, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Тепло, кДж
Глюкоза	8332,8	16132	134424729,6
Мальтоза	38,82	16757	650506,74
Білок	167,18	24218	4048765,24

Таблиця 5.4 – Продовження

Жир	25,28	40011	1011478,08
Разом			140135479,66
Сумарне тепло, що утворюється під час згоряння кінцевих продуктів, кДж			
Речовина	Кількість, кг	Тепло згоряння, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Тепло, кДж
АСБ	6132,93	21737	133311499,41
Флориміцин	320,76	20545	6590014,2
Разом			139901513,61

Різниця теплот вхідних та вихідних речовин:

$$Q_{\text{заг.}} = Q_{\text{заг.вх.}} - Q_{\text{заг.кін.}} = 140135479,66 - 139901513,61 = 233966,05 \text{ кДж.}$$

Знаходимо кількість тепла, що виділяється при біосинтезі 1 кг АСБ:

$$E_T = \frac{Q_{\text{заг.}}}{m_{\text{АСБ}}} = \frac{233966,05}{6132,93} = 38,15 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Залежність питомих тепловиділень від часу проведення ферментації описується відповідним рівнянням:

$$Q_6 = aX + b \left(\frac{dX}{dt} \right), \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{год}},$$

де a - теплова потужність, що виділяється у навколишнє середовище синтезованою біомасою, $\frac{\text{кДж}}{\text{од.біомаси} \cdot \text{год}}$;

X – концент. мікроорганізмів в даний момент часу ферментації, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

b – приведена кількість тепла, що виділяється у навколишнє середовище, $b = E_T$;

t – час проведення ферментації, год.

Найбільші тепловиділення очевидно спостерігаються у піковий момент біосинтезу. Відповідно до методики, формула тепловиділення набуде вигляду:

$$Q_6 = \left(\frac{1,8110^{-2} \cdot X_K}{2} + \frac{\mu X_K}{4} \right) E_T$$

Приймаємо, що процес проводився практично до 100%-го ступеня конверсії, і таким чином розрахована кінцева концентрація АСБ і є X_K .

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо густину КР за даними з технології виробництва (орієнтовне значення):

$$\rho_{\text{кр}} = \frac{m_{\text{кр}}}{V_{\text{кр}}} = \frac{38880 + 3888}{37,74 + 3,81} \approx 1029,3 = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

Визначаємо X_K :

$$X_K = m_{\text{АСБ заг}} \cdot \frac{\rho_{\text{кр}}}{m_{\text{кр}}} = (77,76 + 6132,93) \cdot \frac{1030}{19786,73} = 323,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Залишається визначити питому швидкість росту біомаси, проте в даному випадку отримати цю величину розрахунками неможливо, оскільки було прийнято, що поточна концентрація АСБ є кінцевою. Орієнтовно можна взяти усереднене значення питомої швидкості росту, характерне для актиноміцетів, тобто $\mu = 0,1 \text{ год}^{-1}$. Таким чином [4]:

$$Q_6 = \left(\frac{1,8110^{-2} \cdot 323,3}{2} + \frac{0,1 \cdot 323,3}{4} \right) \cdot 38,15 = 2188,7 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{год}} = 0,61 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}.$$

5.6 Розрахунок потужності перемішування

Відповідно до рівняння теплового балансу наступною складовою, яку необхідно визначити є тепло від перемішуючого пристрою.

Перемішуючий пристрій є необхідною складовою ферментерів, особливо при аеробних процесах ферментації, оскільки забезпечує оптимальний розподіл кисню по всьому об'єму КР, тобто оптимальний масообмін та підтримує гомогенність отриманої системи.

Таким чином, перемішуючий пристрій перш за все повинен забезпечити потрібну інтенсивність масопередачі. Його безпосередні параметри залежать від необхідної для цього потужності перемішування.

Питому потужність перемішування (N_V), необхідну для забезпечення заданої інтенсивності масопередачі (за киснем) в ферментерах з турбінними мішалками можна розрахувати попередньо визначивши об'ємний коефіцієнт масопередачі (K_V) та відносний газовміст (φ) [5], [6].

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Загальний тиск в системі на виході повітря з ферментера можна прийняти рівним атмосферному: $P_{\text{атм}} = 1,01 \cdot 10^5$ Па. Висоту стовпа рідини вже було розраховано: $H_p = 5,75$ м = 5750 мм.

2. Тиск на вході:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{атм}} + \rho_{\text{сер}} g H_p = 1,01 \cdot 10^5 + 1030 \cdot 9,81 \cdot 5,75 = 1,591 \cdot 10^5 \text{ Па} \\ = 0,159 \text{ МПа};$$

3. Масову частку кисню в атмосферному повітрі на вході приймаємо: $y_{\text{п}} = 0,232$;

4. На виході з апарата концентрація кисню в повітрі $y_{\text{к}}$ менша ніж на вході (тобто в повітрі зовнішнього середовища):

$$y_{\text{к}} = \frac{W_{\text{г}} \rho_{\text{п}} y_{\text{п}} - q_{\text{вс}} V_{\text{р}}}{W_{\text{г}} \rho_{\text{п}} - q_{\text{вс}} V_{\text{р}}} = \frac{0,905 \cdot 1,173 \cdot 0,232 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 44,1}{0,905 \cdot 1,173 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 44,1} = 0,169,$$

де $W_{\text{г}}$ – витрата повітря, що подається в ферментер. На перших етапах процесу $W_{\text{г}} = 0,5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$. Проте в період найбільш бурхливого росту біомаси його

підвищують до максимального значення $W_{\text{г}} = 1,31 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$. Візьмемо для

розрахунків середнє значення: $W_{\text{г}} = \frac{0,5+1,31}{2} = 0,905 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; $q_{\text{вс}} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$ –

питома (віднесена до одиниці об'єму культуральної рідини) швидкість поглинання кисню мікроорганізмами, приймаємо середнє стандартне значення для типових розрахунків з урахуванням минулого досвіду; $V_{\text{р}} = 44,1 \text{ м}^3$ – робочий об'єм; $\rho_{\text{п}} = 1,173 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина повітря при температурі КР 28 °С.

5. За допомогою отриманих значень y та P розраховуємо концентрацію кисню в рідині, рівноважну з повітрям, на вході до ферментеру ($C_{\text{р}}^{\text{п}}$):

$$C_{\text{р}}^{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{кр}} M_{\text{г}} y_{\text{п}} P_{\text{п}}}{M_{\text{кр}} m_{\text{рх}}} = \frac{1030 \cdot 32 \cdot 0,232 \cdot 1,591 \cdot 10^5}{18 \cdot 5,13 \cdot 10^9} = 0,0132 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

де $M_{\text{кр}} = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ – молекулярна маса культуральної рідини, приймаємо усереднене стандартне значення, оскільки фактичну молекулярну масу визначити неможливо; $M_{\text{г}} = 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ – молекулярна маса кисню; $m_{\text{рх}} = 5,13 \cdot$

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10^9 Па – константа фазової рівноваги, яка встановлює зв'язок між парціальним тиском кисню в повітрі та концентрацією його в рідкій фазі.

6. Розраховуємо концентрацію кисню в рідині, рівноважну з повітрям, на виході з ферментеру (C_p^k):

$$C_p^k = \frac{\rho_{кр} M_{гk} P_{атм}}{M_{сер} m_{px}} = \frac{1030 \cdot 32 \cdot 0,169 \cdot 1,01 \cdot 10^5}{18 \cdot 5,13 \cdot 10^9} = 0,0061 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

7. Поточна концентрація кисню, що розчинений в рідині, в процесі культивування при повному перемішуванні в усіх точках ферментеру:

$$C = 0,1 C_p = 0,1 \cdot \frac{C_p^n + C_p^k}{2} = 0,1 \cdot \frac{0,0132 + 0,0061}{2} = 0,000965 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

8. Різниця концентрацій на вході повітря в ферментер:

$$\Delta C_6 = C_p^n - C = 0,0132 - 0,000965 = 0,01224 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

9. Різниця концентрацій на виході повітря з ферментеру:

$$\Delta C_m = C_p^k - C = 0,0061 - 0,000965 = 0,00514 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

10. Середня різниця концентрацій:

$$\Delta C_{cp} = \frac{\Delta C_6 - \Delta C_m}{\ln \frac{\Delta C_6}{\Delta C_m}} = \frac{0,01224 - 0,00514}{\ln \frac{0,01224}{0,00514}} = 0,00818 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

11. Розраховуємо об'ємний коефіцієнт масопередачі (K_V):

$$K_V = \frac{q_{VC}}{\Delta C_{cp}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,00818} \approx 0,2445 \equiv 0,245 \text{ с}^{-1};$$

12. Задаємо питому потужність перемішування: $N_V = 5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^3};$

13. Знаходимо приведену швидкість повітря, відносно до поперечного перерізу ферментера:

$$\omega = \frac{W_{г}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0,905}{\frac{3,14 \cdot 3,2^2}{4}} = 0,113 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

14. Визначаємо відносний газовміст:

$$\varphi = \left(\frac{\omega}{\omega_0} \cdot \varphi \right)^{0,5} + 3,42 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{N_V^{0,4} \cdot \rho_{кр}^{0,2}}{\sigma_{кр}^{0,6}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{0,5} =$$

$$= \left(\frac{0,113}{0,25} \cdot \varphi \right)^{0,5} + 3,42 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{5^{0,4} \cdot 1030^{0,2}}{(7,51 \cdot 10^{-2})^{0,6}} \cdot \left(\frac{0,113}{0,25} \right)^{0,5} =$$

$$= 0,672 \cdot \varphi^{0,5} + 0,083,$$

де $\omega_0 = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – швидкість вільного підйому бульбашок газу, приймаємо стандартне розрахункове значення; $\sigma_{\text{кр}} = 7,51 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ – поверхневий натяг КР, приймаємо усереднене розрахункове значення.

З рівняння знаходимо: $\varphi = 0,61$.

15. Питома потужність:

$$N_V = \left(\frac{K_V}{0,171 \varphi^{0,67}} \right)^{\frac{1}{0,44}} = \left(\frac{0,245}{0,171 \cdot 0,61^{0,67}} \right)^{\frac{1}{0,44}} = 4,81 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^3};$$

Оскільки отримане значення мало відрізняється від прийнятого в подальших розрахунках і уточненнях немає необхідності.

5.7 Розрахунок перемішуючого пристрою

Визначивши потужність переходимо до безпосереднього визначення конструктивних параметрів обраної мішалки.

Розрахунок полягає в визначення розмірів мішалки та уточненні питомої потужності, необхідної для перемішування. На основі отриманих значень вкінці обирається привод, який забезпечить необхідну інтенсивність перемішування [5, [6], [7].

Частота обертання мішалки є заданою: $n = 2,95 \text{ с}^{-1}$.

Для інтенсифікації перемішування, а також враховуючи висоту апарата, приймаємо три відкриті турбінні мішалки. Оскільки перемішуючий пристрій буде мати 3 яруси та апарат є доволі високим приймаємо також наявність 3 відбивних перегородок для запобігання утворенню великої воронки при перемішуванні.

Приймаємо значення симплексів геометричної подібності та критерію Ейлера, що характерні для турбінної мішалки [5]:

$$\Gamma_{D_0} = \Gamma_{H_0} = 3; \Gamma_{n_0} = 1; \Gamma_{B_0} = 0,2; Eu_M = Eu_{M_0} = 8.$$

1. Потужність перемішування газорідинної системи:

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{p-г} = N_V \cdot V_p = 4,81 \cdot 44,1 = 212,1 \text{ кВт};$$

2. Визначаємо попередній діаметр мішалки:

$$d_M = \left[\frac{N_{p-г} \cdot W_\Gamma^{0,25}}{0,695 \cdot (Eu_M \cdot \rho_{кр})^{0,9} \cdot n^{3,15}} \right]^{\frac{1}{5,85}} = \left[\frac{212,1 \cdot 10^3 \cdot 0,905^{0,25}}{0,695 \cdot (8 \cdot 1030)^{0,9} \cdot 2,95^{3,15}} \right]^{\frac{1}{5,85}} = 1,2 \text{ м};$$

Приймаємо більше найближче стандартне значення для турбінної мішалки: $d_M = 1250 \text{ мм}$; $b = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$; $H_1 = 0,1 \text{ м}$; $S = 0,012 \text{ м}$.

3. Уточнюємо значення Eu_M :

$$Eu_M = Eu_{M_0} \left(\frac{\Gamma_D}{\Gamma_{D_0}} \right)^0 \left(\frac{\Gamma_H}{\Gamma_{H_0}} \right)^{0,5} \left(\frac{\Gamma_B}{\Gamma_{B_0}} \right)^{0,3} = 8 \cdot 1 \cdot \left(\frac{4,6}{3} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{0,256}{0,2} \right)^{0,3} = 10,7,$$

де $\Gamma_D = \frac{D}{d_M} = \frac{3,2}{1,25} = 2,56$; $\Gamma_H = \frac{H_p}{d_M} = \frac{5,75}{1,25} = 4,6$; $\Gamma_B = \frac{0,1 \cdot D}{d_M} = \frac{0,1 \cdot 3,2}{1,25} = 0,256$ – симплекси геометричної подібності; $Eu_{M_0} = 8$ – критерій Ейлера для експериментальної мішалки.

Коефіцієнт опору для турбінної мішалки: $\xi_M = 8,4$;

4. Визначаємо допоміжний параметр θ :

$$\theta = \frac{2 \cdot \Gamma_D \cdot z_n \cdot H_p}{\xi_M \cdot D \cdot z_M} \cdot \ln \frac{D}{D - 2b} = \frac{2 \cdot 2,56 \cdot 3 \cdot 5,75}{8,4 \cdot 3,2 \cdot 3} \cdot \ln \frac{3,2}{3,2 - 2 \cdot 0,25} = 0,186,$$

де $\Gamma_D = 2,56$, $b = 0,25 \text{ м}$; $z_n = 3$ – кількість відбиваючих перегородок; $z_M = 3$ – кількість мішалок.

За номограмою визначаємо коефіцієнт: $K_M = 0,1$.

5. Уточнюємо значення Eu_M :

$$Eu_M = 4 \cdot \xi_M \cdot z_M \cdot K_M = 4 \cdot 8,4 \cdot 3 \cdot 0,1 = 10,08.$$

Приймаємо це значення для подальших розрахунків.

6. Уточнюємо потужність перемішування газорідинної системи:

$$N_{p-г} = 0,695 \cdot \frac{(Eu_M \cdot \rho_{кр})^{0,9} \cdot n^{3,15} \cdot d_M^{5,85}}{W_\Gamma^{0,25}} = 0,695 \cdot \frac{(10,08 \cdot 1030)^{0,9} \cdot 2,95^{3,15} \cdot 1,25^{5,85}}{0,905^{0,25}} = 326,9 \text{ кВт}.$$

7. Питома потужність перемішування газорідинної системи:

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_V = \frac{N_{p-г}}{V_p} = \frac{326,9}{44,1} = 7,4 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}.$$

8. Порівнюємо раніше отримане значення N_V :

$$7,4 > 4,81,$$

тобто обрані мішалки забезпечать необхідну швидкість масообміну.

9. Номінальна потужність електродвигуна приводу з урахуванням ККД редуктора ($\eta = 0,9$):

$$N_e = \frac{N_{p-г}}{\eta} = \frac{326,9}{0,9} = 363,2 \text{ кВт}.$$

5.8 Вибір електроприводу

Оскільки отримане значення номінальної потужності вийшло досить великим $N_e = 363,2 \text{ кВт}$, стандартний двигун підібрати буде важко. Звернемося до відкритих джерел. Необхідній потужності відповідає електродвигун NMST 355L4 з такими параметрами:

- $N = 400 \text{ кВт}$;
- $n = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв}} = 25 \text{ с}^{-1}$;
- Виконання: В5.

Отже підберемо ще необхідний редуктор, який зменшить частоту обертання вала до потрібного значення $n = 2,95 \text{ с}^{-1}$.

5.9 Тепловий розрахунок ферментера

Необхідні значення теплот були знайдені. Тепер, відповідно до рівняння теплового балансу їх сума буде значенням теплоти, яку необхідно відвести від КР. Перш за все цю функцію виконує зовнішній теплообмінний пристрій ферментера – сорочка. Так, як площа поверхні теплообміну сорочки є заданою, необхідно перевірити, чи зможе вона відвести теплоту й на основі отриманих результатів робити подальші кроки.

Отже метою теплового розрахунку є визначення необхідної площі теплообміну та перевірка, чи забезпечить задана площа теплообміну сорочки необхідне охолодження [4], [5], [7].

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Визначаємо тепло, що передається охолоджувальній воді [4]:

$$Q_{\text{ох}} = Q_{\text{б}} + Q_{\text{п}} = 0,61 + 7,4 = 8,01 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^3},$$

де $Q_{\text{п}} = N_V$ – тепло від перемішуючого пристрою.

2. Тепер визначаємо фактичне значення теплоти, яку потрібно відвести від всього об'єму КР:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{ох}} \cdot V_p = 8,01 \cdot 44,1 = 353,2 \text{ кВт.}$$

3. Температури:

- в ферментері: $t_{\text{п.кр}} = 28^\circ\text{C}$; $t_{\text{к.кр}} = 28^\circ\text{C}$; отже визначальна $t_{\text{кр}} = 28^\circ\text{C}$;

- в сорочці: $t_{\text{п.сор}} = 18^\circ\text{C}$; $t_{\text{к.сор}} = 20^\circ\text{C}$; отже визначальна $t_{\text{сор}} = 19^\circ\text{C}$;

4. Для розрахунку поверхні охолодження необхідно знайти коефіцієнт теплопередачі K_0 та температурний напір:

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від КР, що перемішується до стінки апарата, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{K}}$; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки апарата до охолоджуючої води, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{K}}$; $\delta_{\text{ст}} = 0,02 \text{ м}$ – товщина стінки апарата; $\lambda_{\text{ст}} = 16,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{K}}$ – теплопровідність стінки для сталі марки 08X18H10T.

$$\Delta t_{\text{ср.сор}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{|t_{\text{п.кр}} - t_{\text{п.сор}}| - |t_{\text{к.кр}} - t_{\text{к.сор}}|}{\ln \frac{|t_{\text{п.кр}} - t_{\text{п.сор}}|}{|t_{\text{к.кр}} - t_{\text{к.сор}}|}};$$

Визначаємо α_1 . Для ферментерів з сорочкою при перемішуванні мішалкою коефіцієнт тепловіддачі від рідини, яка перемішується, до стінки визначається за наступною методикою:

5. Спочатку визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Re_M = \frac{\rho_{\text{кр}} n d_M^2}{\mu_{\text{кр}}} = \frac{1030 \cdot 2,95 \cdot 1,25^2}{0,9 \cdot 10^{-3}} = 5275174,$$

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\mu_{кр} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамічна в'язкість культуральної рідини (середовища в ферментері), приймаємо орієнтовне значення, близьке до значення води при температурі, враховуючи отриману густину КР та її склад.

6. Критерій Нуссельта в даному випадку визначається за формулою:

$$Nu = 0,36 Re_M^{0,67} Pr^{0,33} \left(\frac{\mu_{кр}}{\mu_{ст}} \right)^{0,14};$$

При цьому: $Nu = \frac{\alpha_1 D_{вн}}{\lambda_{кр}}$.

7. Розраховуємо число Прандтля:

$$Pr_{кр} = \frac{\mu_{кр} \cdot c_{кр}}{\lambda_{кр}} = \frac{0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 4200}{0,6} = 6,3,$$

де $c_{кр} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – теплоємність КР, приймаємо орієнтовне значення враховуючи її склад; $\lambda_{кр} = 0,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ – теплопровідність КР, приймаємо орієнтовне значення враховуючи її склад.

8. Визначаємо критерій Нуссельта:

$$Nu_1 = 0,36 \cdot 5275174^{0,67} \cdot 6,3^{0,33} \cdot \left(\frac{0,9 \cdot 10^{-3}}{1,25 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} = 20137,7,$$

де $\mu_{ст} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамічна в'язкість при температурі стінки з сторони середовища в ферментері (КР). Температура стінки в даному випадку визначається як: $t_{ст} = \frac{t_{кр} + t_{сop}}{2} = \frac{28 + 19}{2} = 23,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Дане значення в'язкості орієнтовно повинно бути більше за $\mu_{кр}$, отже приймаємо на обраному рівні.

9. Тепер розраховуємо коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_{кр}}{D_{вн}} = \frac{20137,7 \cdot 0,6}{3,2} = 3775,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

10. Враховуючи, що ферментер має відбивні перегородки, отриманий коефіцієнт необхідно збільшити на 35-40%:

$$\alpha_1 = 3775,8 \cdot 1,4 = 5286,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Визначаємо α_2 . Відстань між зовнішньою поверхнею апарата та внутрішньою поверхнею сорочки для апаратів діаметром 1-4 м зазвичай

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймають 30-80 мм. Оскільки діаметр апарата в даному випадку складає 3,2 м, то приймемо цю відстань на рівні 70 мм. Також для покращення теплообміну сорочка має напрямну спіраль, яка відповідно утворює канал прямокутного перерізу в якого [4]:

- Ширина каналу складає 70 мм, тобто $b_{\text{сп.сор}} = 0,07$ м;

- Висоту приймемо 250 мм, тобто $l_{\text{сп.сор}} = 0,25$ м;

11. Таким чином площа перерізу каналу:

$$F_{\text{сп.сор}} = 0,25 \cdot 0,07 = 0,0175 \text{ м}^2;$$

12. Визначимо необхідну витрату води в сорочці за заданих температур:

$$G_{\text{в.сор}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{c_{\text{в.сор}} \cdot (t_{\text{в.к}} - t_{\text{в.п}})} = \frac{353,2 \cdot 10^3}{4190 \cdot (20 - 18)} = 42,15 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = \frac{42,15}{998,2} = 0,0422 \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

де $c_{\text{в.сор}} = 4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – теплоємність води в сорочці; $\rho_{\text{в.сор}} = 998,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина води в сорочці.

13. Швидкість руху води в каналі сорочки:

$$w_{\text{сор}} = \frac{G_{\text{в.сор}}}{F_{\text{сп.сор}}} = \frac{0,0422}{0,72754} = 2,41 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

14. Визначаємо еквівалентний діаметр каналу (визначальний розмір):

$$d_{\text{екв}} = \frac{4F_{\text{сп.сор}}}{\Pi_{\text{сп.сор}}} = \frac{4 \cdot 0,0175}{2 \cdot (0,07 + 0,25)} = 0,1094 \text{ м};$$

15. Визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{сор}} = \frac{w_{\text{сор}} d_{\text{екв}}}{\nu_{\text{вод.сор}}} = \frac{2,41 \cdot 0,1094}{1,04 \cdot 10^{-6}} = 253514,$$

де $\nu_{\text{вод.сор}} = 1,04 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – кінематична в'язкість води в сорочці.

16. Число Прандтля: $Pr_{\text{сор}} = 7,27$;

17. Критерій Нуссельта:

Оскільки режим руху відповідно до числа Рейнольдса вийшов турбулентний, використовуємо формулу:

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,4} \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} X \varepsilon_l;$$

$$Nu_2 = 0,021 \cdot 253514^{0,8} \cdot 7,27^{0,4} \cdot \left(\frac{7,27}{6,46} \right)^{0,25} \cdot 1,12 \cdot 1 = 1127,4,$$

де $X = 1 + 3,54 \cdot \left(\frac{d_{екв}}{D_{зов}} \right) = 1 + 3,54 \cdot \left(\frac{0,1094}{3,26} \right) = 1,12$ – коефіцієнт, який враховує кривизну каналу; $\varepsilon_l = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив довжини каналу, приймаємо 1, бо відношення еквівалентного діаметру до довжини каналу більше 50; $Pr_{ст} = 6,46$ – число Прандтля для стінки зі сторони води за температури $t_{ст} = 23,5$ °C.

18. Визначаємо α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_{сop}}{d_{екв}} = \frac{1127,4 \cdot 0,5966}{0,1094} = 6148,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де $\lambda_{сop} = 0,5966 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ – теплопровідність води в сорочці.

19. Знаходимо коефіцієнт теплопередачі:

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{кр} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5286,1} + 2 \cdot 10^{-4} + \frac{0,02}{16,2} + \frac{1}{6148,1}} =$$

$$= 559,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де $R_{кр} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ – термічний опір забруднення зі сторони КР.

20. Температурний напір:

$$\Delta t_{ср.сop} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{|t_{кр.п} - t_{поч.сop}| - |t_{кр.к} - t_{кін.сop}|}{\ln \frac{|t_{кр.п} - t_{поч.сop}|}{|t_{кр.к} - t_{кін.сop}|}} =$$

$$= \frac{|28 - 18| - |28 - 20|}{\ln \frac{|28 - 18|}{|28 - 20|}} = 8,96 \text{ °C};$$

21. Необхідна поверхня теплообміну:

$$F_{сop} = \frac{Q_{заг.нове}}{K_0 \cdot \Delta t_{ср.сop}} = \frac{353,2 \cdot 10^3}{559,8 \cdot 8,96} = 70,5 \text{ м}^2;$$

Як бачимо, заданої поверхні теплообміну сорочки не вистачить. Щоб забезпечити необхідну площу теплообміну можна збільшити витрату води, проте вона і так знаходиться вже на досить високому рівні. Тому можна додатково встановити внутрішній теплообмінний пристрій – змієвик.

22. Уточнюємо, які кількість теплоти відводить сорочка з заданою площею теплообміну:

$$F_{\text{сор}} = 61 \text{ м}^2;$$

$$Q_{\text{сор}} = F_{\text{сор}} \cdot K_0 \cdot \Delta t_{\text{ср.сор}} = 61 \cdot 559,8 \cdot 8,96 = 305964,3 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{зм}} = Q_{\text{заг}} - Q_{\text{сор}} = 353200 - 305964,3 = 47235,7 \text{ Вт} \approx 50 \text{ кВт}.$$

23. Приймаємо такі параметри змієвика [4]:

- Діаметр труби: $d_{\text{вн.з}} = 25 \text{ мм};$

- Товщина стінки труби: $\delta_{\text{ст.з}} = 2 \text{ мм};$

- Діаметр витка: $D_{\text{вит.з}} = 0,6 \text{ м},$ приймаємо враховуючи діаметр апарату та мішалки;

24. Приймаємо число Рейнольдса та Прандтля для розрахунку α_1 від КР до стінки змієвика такими ж, як і у випадку попереднього розрахунку:

$$Re_M = 5275174;$$

$$Pr_{\text{кр}} = 6,3;$$

25. Визначаємо критерій Нуссельта:

$$Nu = 0,87 Re^{0,62} Pr^{0,33} = 0,87 \cdot 5275174^{0,62} \cdot 6,3^{0,33} = 23501;$$

26. Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α_{13} :

$$\alpha_{13} = \frac{Nu \lambda_{\text{кр}}}{D_{\text{вит.з}}} = \frac{23501 \cdot 0,6}{0,6} = 23501 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

27. Приймаємо на вході в змієвик температуру охолоджуючої води таку ж як і на вході сорочки: $t_{\text{поч.з}} = 18 \text{ }^\circ\text{C},$ а на виході: $t_{\text{кін.з}} = 26 \text{ }^\circ\text{C},$ отже визначальна температура в змієвику буде: $t_3 = \frac{18+26}{2} = 22 \text{ }^\circ\text{C}.$

28. Тоді температурний напір:

$$\Delta t_{\text{ср.з}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{|t_{\text{кр.п}} - t_{\text{поч.з}}| - |t_{\text{кр.к}} - t_{\text{кін.з}}|}{\ln \frac{|t_{\text{кр.п}} - t_{\text{поч.з}}|}{|t_{\text{кр.к}} - t_{\text{кін.з}}|}} = \frac{|28 - 18| - |28 - 26|}{\ln \frac{|28 - 18|}{|28 - 26|}}$$

$$= 4,97^{\circ}\text{C};$$

29. Необхідна площа поверхні зміювика орієнтовно 12 м^2 . Визначаємо потрібний коефіцієнт теплопередачі:

$$K_3 = \frac{Q_{\text{зм}}}{F_3 \cdot \Delta t_{\text{ср.з}}} = \frac{50000}{12 \cdot 4,97} = 838,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

30. Визначаємо α_{23} з рівняння:

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{13}} + R_{\text{кр}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст.з}}} + \frac{1}{\alpha_{23}}},$$

де $\lambda_{\text{ст.з}} = 401 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ – теплопровідність матеріалу зміювика (міді); $R_{\text{кр}} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ – термічний опір зі сторони КР.

$$838,4 = \frac{1}{\frac{1}{23501} + 2 \cdot 10^{-4} + \frac{0,003}{401} + \frac{1}{\alpha_{23}}};$$

$$\alpha_{23} = 1060,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

30. Уточнюємо α_{23} :

$$X = 1 + 3,54 \cdot \left(\frac{d_{\text{вн.з}}}{D_{\text{внт.з}}} \right) = 1 + 3,54 \cdot \left(\frac{0,025}{0,6} \right) = 1,1475;$$

$$\alpha_{23} \cdot 1,1475 = 1060,8;$$

$$\alpha_{23} = 924,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

31. Визначаємо критерій Нуссельта з рівняння:

$$\alpha_{23} = \frac{Nu_3 \lambda_{\text{в.з}}}{d_{\text{вн.з}}},$$

де $\lambda_{\text{в.з}} = 0,6028 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ – теплопровідність води в зміювику за визначальної температури $t_3 = 22^{\circ}\text{C}$.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$924,4 = \frac{Nu_3 \cdot 0,6028}{0,025};$$

$$Nu_3 = 38,3;$$

31. Визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Nu_3 = 0,021 Re_3^{0,8} Pr_3^{0,8},$$

де $Pr_3 = 6,7$ – число Прандтля для води при $t_3 = 22^\circ\text{C}$.

$$38,3 = 0,021 \cdot Re_3^{0,8} \cdot 6,7^{0,43};$$

$$Re_3 = 4287,6;$$

32. Визначаємо необхідну швидкість подачі води в змійовик:

$$Re_3 = \frac{w_{\text{вод.з}} d_{\text{вн.з}}}{\nu_{\text{вод.з}}},$$

де $\nu_{\text{вод.з}} = 0,97 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – кінематична в'язкість води в змійовику при $t_3 = 22^\circ\text{C}$.

$$4287,6 = \frac{w_{\text{вод.з}} \cdot 0,025}{0,97 \cdot 10^{-6}};$$

$$w_{\text{вод.з}} = 0,17 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

33. Визначаємо конструкційні параметри змійовика. Довжина труби:

$$L_3 = \frac{F_3}{\pi \cdot (d_{\text{вн.з}} + 2 \cdot s_{\text{ст.з}})} = \frac{12}{3,14 \cdot (0,025 + 2 \cdot 0,002)} = 132 \text{ м};$$

34. Довжина витка:

$$L_{\text{вит.з}} = \pi \cdot D_{\text{вит.з}} = 3,14 \cdot 0,6 = 1,88 \text{ м};$$

35. Кількість витків у спіралі:

$$n_{\text{вит.з}} = \frac{L_3}{L_{\text{вит.з}}} = \frac{132}{1,88} = 70,2 \approx 70 \text{ витків};$$

36. Приймаємо, що відстань між витками дорівнює двом зовнішнім діаметрам труби змійовика. Таким чином висота спіралі:

$$\begin{aligned} H_3 &= n_{\text{вит.з}} \cdot d_{\text{зов.з}} + (n_{\text{вит.з}} - 1) \cdot 2 \cdot d_{\text{зов.з}} = \\ &= 70 \cdot 0,029 + 69 \cdot 2 \cdot 0,029 = 6,1 \text{ м}; \end{aligned}$$

37. Таким чином сумарна площа теплообміну складе (з врахуванням,

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що невелика частина площі теплообміну зміювика фактично не використовується, внаслідок рівня стовпа рідини в ферментері):

$$F_T = 61 + 12 = 73 \text{ м}^2 > 70,5 \text{ м}^2;$$

Отримане значення задовольнить необхідні умови.

5.10 Розрахунок газорозподільчого пристрою

Розрахунок барботера полягає у визначенні його конструктивних розмірів та необхідної кількості отворів для подачі газу, що забезпечить необхідні умови. В даному випадку розрахунок проводиться відносно розрахованої раніше мішалки (також уточнюються параметри мішалки) [6], [7].

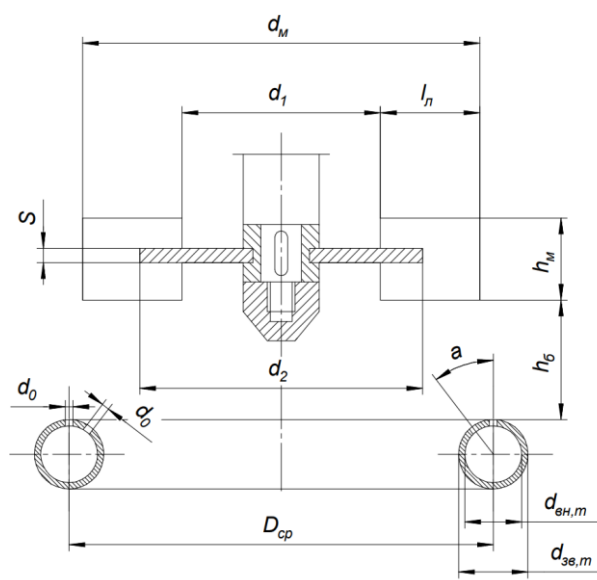


Рис. 5.2 – Розміщення й основні параметри мішалки і барботера

Внутрішній діаметр апарата відомий: $D_{\text{вн}} = 3200 \text{ мм}$.

Відомі параметри мішалки: $d_M = 1250 \text{ мм}$; $b(h_M) = 0,25 \text{ м}$; $H_1 = 0,1 \text{ м}$; $S = S_1 = 0,012 \text{ м}$.

1. Визначаємо розміри мішалки, що лишилися та деякі розміри барботера:

$$d_1 = 0,5 \cdot d_M = 0,5 \cdot 1250 = 625 \text{ мм};$$

$$d_2 = 0,5 \cdot d_M = 0,75 \cdot 1250 \approx 940 \text{ мм};$$

$$l_n = 0,25 \cdot d_M = 0,25 \cdot 1250 \approx 315 \text{ мм};$$

$$h_6 = 0,25 \cdot d_M = 0,25 \cdot 1250 \approx 315 \text{ мм};$$

$$D_{\text{cp}} = (0,5 \dots 1) \cdot d_M = 1 \cdot 1250 = 1250 \text{ мм};$$

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

2. Витрата повітря, що подається у ферментер була прийнята:

$$W_{\Gamma} = \frac{0,5 + 1,31}{2} = 0,905 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

3. Визначаємо внутрішній діаметр труби барботера, приймаємо попередньо швидкість газу у ній $\omega_6 = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$:

$$d_{\text{вн.барб}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_{\Gamma}}{\pi \cdot \omega_6}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,905}{3,14 \cdot 40}} = 0,169 \text{ м} \approx 170 \text{ мм};$$

Зовнішній діаметр приймаємо: $d_{\text{зов.барб}} = 180 \text{ мм}$.

4. Необхідна площа всіх отворів барботеру:

$$F_{\text{заг.отв}} = \frac{W_{\Gamma}}{\omega_6} = \frac{0,905}{40} = 0,02263 \text{ м}^2;$$

5. Приймаємо діаметр одного отвору 7 мм, тоді площа одного отвору:

$$F_{\text{отв}} = \frac{\pi d_{\text{отв}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,007^2}{4} = 3,8465 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

6. Кількість отворів:

$$z_0 = \frac{F_{\text{заг.отв}}}{F_{\text{отв}}} = \frac{0,02263}{3,8465 \cdot 10^{-5}} = 589 \text{ отворів};$$

7. Розмістимо їх на верхньому півколі труби з кроком у 20° таким чином:

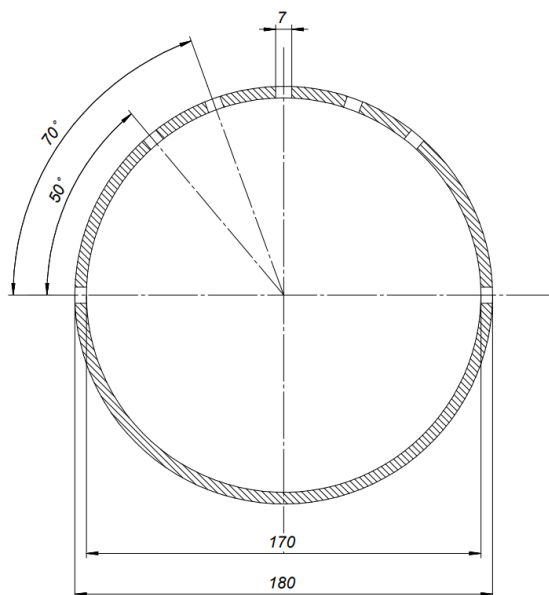


Рис. 5.3 – Переріз труби барботера і розміщення отворів

8. На верхній поверхні буде розташовано 400 отворів.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина труби по середньому діаметру:

$$L_{\text{ср}} = \pi D_{\text{ср}} = 3,14 \cdot 1250 = 3925 \text{ мм};$$

В одному ряду буде: $n_{1.\text{отв}} = \frac{400}{5} = 80$ отворів;

Крок між осями розміщення отворів складає: $\frac{3925}{80} \approx 49$ мм, або в кутах $4,5^\circ$;

Крок між отворами (в стовпці): $t_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 180 \cdot \frac{20}{360} \approx 62,8$ мм або 20° .

Враховуємо ділянку під зварювання, тому кінцева кількість отворів на верхній поверхні буде: 384 отвори.

9. На бічній поверхні треба розмістити 205 отворів. Вони розміщуються по одному з обох боків. Приймаємо, що їх буде 212. Тоді в з кожного боку буде 106 отворів.

Довжина труби по внутрішньому діаметру: $L_{\text{вн}} = 3,14 \cdot 1070 = 3359,8$ мм;

Довжина труби по зовнішньому діаметру: $L_{\text{зон}} = 3,14 \cdot 1430 = 4490,2$ мм;

Крок між отворами на осі внутрішнього діаметру: $t_2 = \frac{3359,8}{106} \approx 32$ мм, або в кутах приблизно $3,4^\circ$;

Крок між отворами на осі зовнішнього діаметру: $t_3 = \frac{4490,2}{106} \approx 42$ мм, або в кутах приблизно $4,5^\circ$;

Прибираємо 7 отворів з осі зовнішнього діаметра, які потрапляли у зону зварювання. Отримуємо 205 отворів на бічній поверхні.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

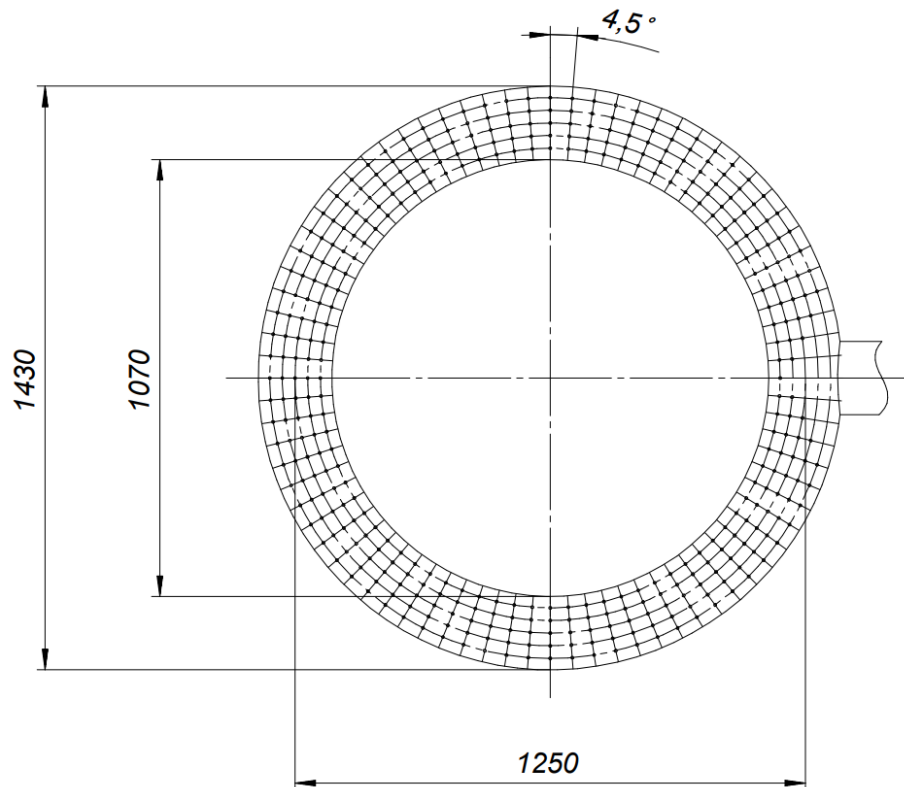


Рис. 5.4 – Конструкція барботера та розташування отворів на верхній поверхні

5.11 Розрахунок на міцність циліндричної обичайки

Перевіряємо, чи задовольнить необхідні умови прийняте значення товщини стінки апарата. Розрахунок проводиться за методикою, наведеною в посібнику [15].

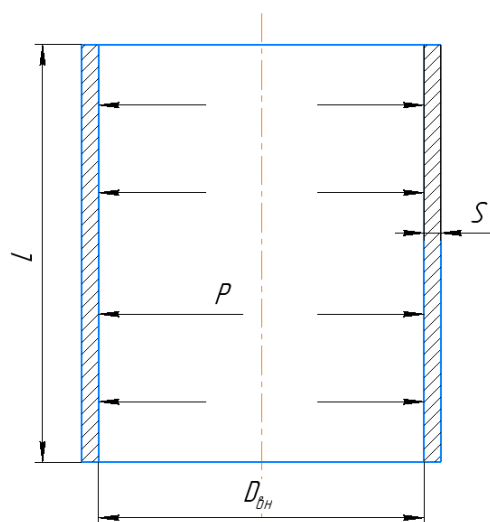


Рис. 5.5 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском

1. Відомі дані:

- Робочий тиск в корпусі апарата: $P = P_p = 0,294$ МПа;

- $D_B = 3200$ мм;

- $L = 6540$ мм;

- Температура середовища в корпусі: початкова - 28°C , кінцева - 28°C ,
отже $t_{\text{сер.}} = 28^\circ\text{C}$.

За вибору матеріалу конструкції керуємося технічними вимогами, технічною характеристикою апарата та особливостями внутрішнього середовища. Враховуючі дані параметри необхідно обрати конструкційну сталь стійку до корозії, ерозії та хімічного впливу. До корозійностійких сталей відносяться сталі феритного, аустенітно-феритного та аустенітного класів.

Відповідно до таблиць, поданих у посібнику [15], обираємо сталь аустенітного класу 08X18H10T – корозійностійку і жаростійку сталь аустенітного класу (група: стійка до корозії, бал: 5), що характеризується гарною зварюваністю. Дана сталь використовується для виготовлення зварної апаратури, що працює в агресивних середовищах, теплообмінників, труб, реакторів тощо. Також вона входить до переліку рекомендованих Міністерством Охорони Здоров'я України для використання у мікробіологічній промисловості.

2. На початку конструктивного розрахунку приймалася за стандартом товщина стінки обичайки $S = 30$ мм.

При цьому прибавки до розрахункової товщини:

$c_1 = \Pi\tau = 0,1 \cdot 10 = 1$ мм, де Π – швидкість корозії та ерозії, приймаємо для сталі 08X18H10T, яка відноситься до стійких $\Pi = 0,1 \frac{\text{мм}}{\text{рік}}$, τ – час служби апарату, приймаємо $\tau = 10$ років.

c_2 – прибавка на компенсацію мінусового допуску, за таблицею 2 для листа 20 мм приймаємо $c_2 = 0,8$ мм.

c_3 – прибавка на компенсацію стоншення внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$ мм.

Отже $c = c_1 + c_2 + c_3 = 1 + 0,8 = 1,8$ мм.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Визначаємо розрахунковий тиск в апараті.

За робочий тиск в обичайці приймаємо заданий тиск:

$$P = P_p = 0,294 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск в апараті:

$$P_r = \rho_{\text{сер}} g h_p = \rho_{\text{сер}} \cdot g \cdot (H_p - h_e) = 1030 \cdot 9,81 \cdot (5,75 - 0,88) = 49207,9 \text{ Па} \\ = 0,049 \text{ МПа,}$$

де h_p – рівень стовпа рідини безпосередньо в обичайці; $\rho_{\text{сер}} = \rho_{\text{кр}} = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина культуральної рідини.

Відношення гідростатичного тиску до робочого:

$$\frac{P_r}{P_p} \cdot 100\% = \frac{0,049}{0,294} \cdot 100\% = 16,7\% \geq 5\%,$$

отже приймаємо розрахунковий тиск рівним значенню суми робочого тиску та гідростатичного: $P_R = P_p + P_r = 0,294 + 0,049 = 0,343 \text{ МПа.}$

4. Визначаємо допустиме напруження матеріалу стінки $[\sigma]$:

За таблицями з посібника [15] для сталі марки 08X18H10T при середній температурі 28 °С нормативне допустиме напруження становить:

$$\sigma = 166,8 \text{ МПа;}$$

Для листового прокату $\eta = 1$, отже максимальне допустиме напруження: $[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 166,8 = 166,8 \text{ МПа.}$

5. Визначаємо допустимий тиск в обичайці:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 166,8 \cdot 1 \cdot (30 - 1,8)}{3200 + (30 - 1,8)} = 2,91 \text{ МПа;}$$

6. Умова міцності:

$$P_R = 0,343 \text{ МПа} < [P] = 2,91 \text{ МПа, умова міцності виконується.}$$

7. Перевіряємо умови використання формул (умови тонкостінності).

Оболонка вважається тонкостінною, якщо виконуються умови:

$$7.1. \frac{S - c}{D} = \frac{(30 - 1,8)}{3200} = 0,0088 \leq 0,1;$$

$$7.2. P_R = 0,343 \text{ МПа} < 10,0 \text{ МПа;}$$

$$7.3. \frac{[\sigma]\varphi}{P_R} = \frac{166,8 \cdot 1}{0,343} = 486 \geq 5,5.$$

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі умови тонкостінності виконуються, отже дану обичайку можна вважати тонкостінною.

8. Визначимо додатково масу обичайки:

$$m = \rho_{\text{мет}} L \frac{\pi}{4} [(D + S)^2 - D^2] = 7900 \cdot 6,54 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot [(3,2 + 0,02)^2 - 3,2^2] = 7823,6 \text{ кг},$$

де $\rho_{\text{мет}} = 7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина сталі 08X18H10T.

5.12 Розрахунок на стійкість циліндричної обичайки

Оскільки наявна сорочка, то необхідно провести й розрахунок на стійкість або дію зовнішнього надлишкового тиску [15]. Відомі дані:

- Робочий тиск в сорочці (зовнішній надлишковий): $P = P_R = 0,294 \text{ МПа}$;
- Максимальні допустимі напруження: $[\sigma] = 168,2 \text{ МПа}$;
- Середня температура: $t_{\text{сер.}} = \frac{t_{\text{п.сop}} + t_{\text{к.сop}}}{2} = \frac{18 + 20}{2} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

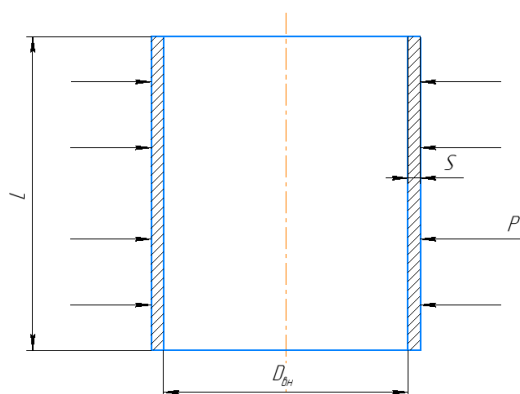


Рис. 5.6 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої зовнішнім тиском

1. Розрахункова товщина стінки $S = 30 \text{ мм}$.

2. Допустимий зовнішній тиск з умови міцності в межах пружності:

$$[P]_{\text{п}} = \frac{2[\sigma](S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 168,2 \cdot (30 - 1,8)}{3200 + (30 - 1,8)} = 2,94 \text{ МПа};$$

3. Допустимий зовнішній тиск з умови стійкості в межах пружності:

$$[P]_{\text{Е}} = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} E \cdot D}{n_y B_1 l} \cdot \left[\frac{100(S - c)}{D} \right]^{2,5} =$$

$$= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2,051 \cdot 10^5 \cdot 3200}{2,4 \cdot 1 \cdot 6000} \cdot \left[\frac{100 \cdot (30 - 1,8)}{3200} \right]^{2,5} = 0,691 \text{ МПа},$$

де $E = 2,051 \cdot 10^5$ МПа – модуль Юнга для сталі 08Х18Н10Т при температурі $t_{\text{сер.}} = 19$ °С; $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості для робочих умов; $l = H_{\text{сор.}} = 6$ м – довжина циліндричної обичайки, навантаженої зовнішнім тиском, тобто довжина обичайки під сорочкою.

Коефіцієнт B_1 :

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \frac{D}{l} \sqrt{\frac{D}{100(S - c)}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{3200}{6000} \cdot \sqrt{\frac{3200}{100 \cdot (30 - 1,8)}} \right\} = \min\{1,0; 5,37\} = 1$$

4. Допустимий зовнішній тиск:

$$[P] = \frac{[P]_{\text{П}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{\text{П}}}{[P]_{\text{Е}}} \right)^2}} = \frac{2,94}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,94}{0,691} \right)^2}} = 0,673 \text{ МПа} > 0,294 \text{ МПа}.$$

Умова стійкості виконується.

5.13 Перевірка на міцність еліптичної кришки та днища

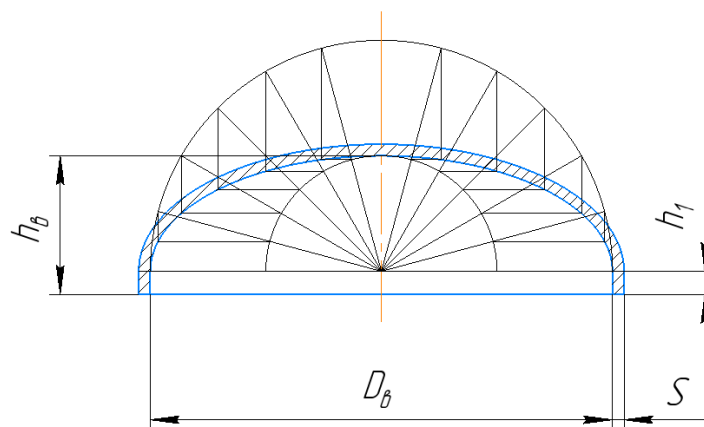


Рис. 5.7 – Конструкція еліптичного елемента за стандартом
Розрахунок виконується за методикою, наведеною в [15].

1. Товщина стінки прийнята раніше $S = 30$ мм.

2. Для стандартних еліптичних днищ, у яких $h_b = 0,25D_b = 0,25 \cdot 3200 = 800$ мм, радіус кривизни $R = D_b = 3200$ мм.

3. Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - c)}{R + 0,5(S - c)} = \frac{2 \cdot 166,8 \cdot 1 \cdot (30 - 1,8)}{3200 + 0,5 \cdot (30 - 1,8)} = 2,93 \text{ МПа};$$

4. Умова міцності: $P_R = 0,343 \text{ МПа} < [P] = 2,93 \text{ МПа}$, умова міцності виконується.

Отже можна зробити висновок, що прийнята товщина стінки апарата 30 мм задовольняє необхідні умови роботи.

5.14 Розрахунок сорочки на міцність

Розрахунок виконується за методикою, наведеною в [15], [16].

1. Робочий тиск в сорочці – 0,294 МПа.

2. Внутрішній діаметр сорочки: $D_{\text{вн.сор}} = D_{\text{вн}} + 2 \cdot b_{\text{сп.сор}} = 3,26 + 2 \cdot 0,07 = 3,4$ м;

3. В якості матеріалу сорочки обираємо конструкційну вуглецеву сталь звичайної якості Ст3. Ця сталь набагато дешевше ніж інші леговані сталі. Із Ст3 можна виготовити вироби підвищеної міцності. Зварка виконується без обмежень, тобто без нагріву та наступної термічної обробки. Однак при товщині виробу понад 3,6 см рекомендується підігрівати матеріал до ста градусів і виконувати подальшу термообробку.

4. Допустиме напруження для Сталі 3:

Визначальна температура в сорочці: $t_{\text{сор}} = 19^\circ\text{C}$;

Допустиме напруження: $[\sigma_{\text{сор}}] = 154,06 \text{ МПа}$;

5. Розрахункова товщина стінки сорочки:

$$S_{R\text{сор}} = \frac{P_{R\text{сор}} \cdot D_{\text{вн.сор}}}{2 \cdot [\sigma_{\text{сор}}] \cdot \varphi_p - P_{R\text{сор}}} = \frac{0,294 \cdot 3400}{2 \cdot 154,06 \cdot 0,9 - 0,294} = 3,6 \text{ мм},$$

де $\varphi_p = 0,9$ – коефіцієнт міцності зварних швів, приймаємо за таблицею 3.3, оскільки сорочка приварюється з одного боку вручну.

6. Визначаємо прибавки до розрахункової товщини стінки:

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$c_1 = \Pi \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5$ мм, де Π – швидкість корозії та ерозії, приймаємо для Сталі 3, яка відноситься до стійкого класу та враховуючи середовище сорочки; $\Pi = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{рік}}$, τ – час служби апарату, приймаємо $\tau = 10$ років.

c_2 – прибавка на компенсацію мінусового допуску, за таблицею 2 для листа 4 мм приймаємо $c_2 = 0,5$ мм.

c_3 – прибавка на компенсацію стоншення внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$ мм.

Отже $c = c_1 + c_2 + c_3 = 0,5 + 0,5 = 1$ мм.

$$S_{\text{кор}} = S_{R\text{кор}} + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = 3,6 + 1 + c_4 = 6 \text{ мм},$$

де $c_4 = 1,4$ мм – поправка на округлення до стандартного ряду.

7. Таким чином допустимий внутрішній тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma_{\text{кор.}}]\varphi(S_{\text{кор}} - c)}{D_{\text{вн.кор}} + (S_{\text{кор}} - c)} = \frac{2 \cdot 154,06 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2,4)}{3400 + (6 - 2,4)} = 0,29 \text{ МПа};$$

8. $P_{R\text{кор}} = 0,294 \text{ МПа} < [P] = 0,29 \text{ МПа}$, як видно, умова міцності не виконується. Тому збільшуємо товщину стінки до значення, при якому буде нормальний запас.

9. Приймаємо $S_{\text{кор}} = 10$ мм.

10. Прибавки:

$c_1 = \Pi \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5$ мм, де Π – швидкість корозії та ерозії, приймаємо для Сталі 3, яка відноситься до класу зниженої стійкості $\Pi = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{рік}}$, τ – час служби апарату, приймаємо $\tau = 10$ років.

c_2 – прибавка на компенсацію мінусового допуску, за таблицею 2 для листа 10 мм приймаємо $c_2 = 0,8$ мм.

c_3 – прибавка на компенсацію стоншення внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$ мм.

11. Допустимий внутрішній тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma_{\text{кор.}}]\varphi(S_{\text{кор}} - c)}{D_{\text{вн.кор}} + (S_{\text{кор}} - c)} = \frac{2 \cdot 154,06 \cdot 0,9 \cdot (10 - 2,3)}{3400 + (10 - 2,3)} = 0,708 \text{ МПа};$$

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Умова міцності:

$P_{R\text{сop}} = 0,294 \text{ МПа} < [P] = 0,708 \text{ МПа}$, умова міцності виконується.

13. Умова використання розрахункових формул:

$$\frac{S_{\text{сop}} - c}{D_{\text{вн.сop}}} = \frac{10 - 1,3}{3400} = 0,0026 < 0,1 - \text{виконується.}$$

5.15 Уточнення геометричних параметрів напрямної спіралі сорочки

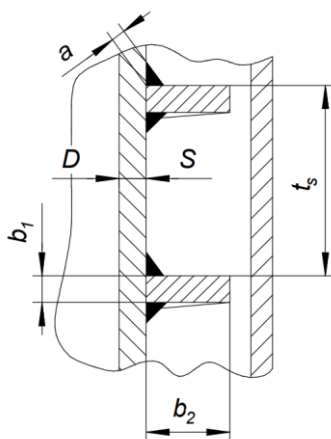


Рис. 5.8 – Розміри напрямної спіралі сорочки [16]

1. Попередньо було прийнято:

- Ширину каналу було прийнято 70 мм, тобто приймаємо $b_2 = 0,065 \text{ м}$;
- Висоту каналу було прийнято 250 мм, тобто $l_{\text{сп.сop}} = 0,25 \text{ м}$;

2. З конструктивних міркувань приймаємо [16]:

- Ширину спіралі: $b_1 = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$;
- Таким чином крок вийде: $t_{\text{сп.сop}} = b_1 + l_{\text{сп.сop}} = 0,26 \text{ м}$;

3. Перевіряємо умови:

$$t_{\text{сп.сop}} = 260 < 0,3D_{\text{вн}} = 0,3 \cdot 3200 = 960 \text{ мм} - \text{виконується;}$$

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{65}{10} = 6,5 \leq 8 - \text{виконується;}$$

4. Таким чином число витків спіралі:

$$n_{\text{сп.сop}} = \frac{h_{\text{сop}}}{t_{\text{сп.сop}}} = \frac{6}{0,26} \approx 23 \text{ витка.}$$

Враховуючи діаметри штуцерів входу та виходу сорочки, максимальне число витків зменшиться до 21.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.16 Розрахунок діаметру штуцерів

Метою розрахунку є визначення потоку речовини і трубопроводах і розрахунок діаметрів штуцерів.

1. Штуцери для подачі та відводу охолоджуючої води в сорочці [17]:

$$d_{\text{шт.сор}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{в.сор}}}{w_{\text{в.сор}} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0422}{2,41 \cdot 3,14}} = 0,149 \text{ м};$$

Приймаємо $d_{\text{шт.сор}} = 150 \text{ мм}$.

3. Для завантаження поживного середовища використовується люк. За стандартами приймаємо люк з плоским приварним фланцем та сферичною кришкою (виконання 2) [16]:

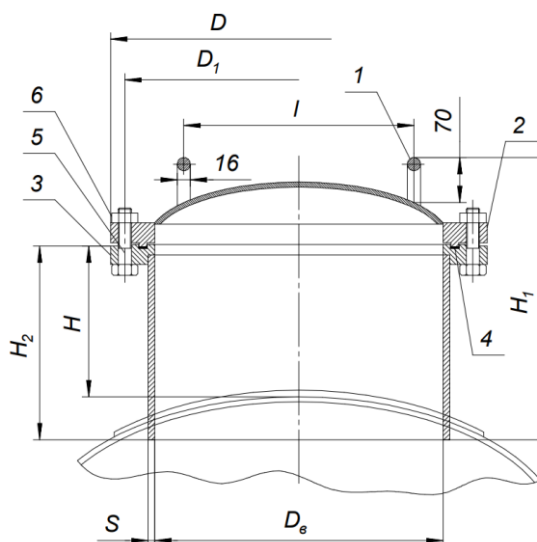


Рис. 5.9 – Люк з приварним плоским фланцем та сферичною кришкою (виконання 2)

1 – ручка, 2 – кришка; 3 – фланець з втулкою; 4 – прокладка; 5 – болт; 6 – гайка.

Таблиця 5.5 – Розміри люка [16]

Умовний тиск PN, МПа	Внутрішній діаметр люка $D_{\text{в}}$, мм	D	D_1	H	H_1	H_2	l	S
1,0	400	535	495	200	395	275	160	8

4. Всі інші штуцери для надходження до ферментеру допоміжних речовин приймаємо в діапазоні 50-100 мм. Діаметр штуцера зливу приймаємо 200 мм.

5. Розрахунок діаметру отворів, що не потребують укріплення [15]:

Для циліндричної частини (сорочки):

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S_p}{S - c} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_{\text{вн}} \cdot (S - c)}$$

$$= 2 \cdot \left(\frac{10}{10 - 2,3} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{3400 \cdot (10 - 2,3)} = 161 \text{ мм};$$

6. Для еліптичних елементів:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S_p}{S - c} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - c)}$$

$$= 2 \cdot \left(\frac{30}{30 - 1,8} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{3464 \cdot (30 - 1,8)} = 165 \text{ мм},$$

$$\text{де } D_p = 2 \cdot D_{\text{вн}} \cdot \sqrt{\frac{0,75}{D_{\text{вн}}^2} \cdot x^2} = 2 \cdot 3200 \cdot \sqrt{\frac{0,75}{3200^2} \cdot 2000^2} = 3464 \text{ мм},$$

де $x = 2 \text{ м}$ – відстань від осі днища до осей отворів.

8. З'єднання кришки з обичайкою відбувається за допомогою фланцевого з'єднання типу шип-паз з наступними параметрами [17]:

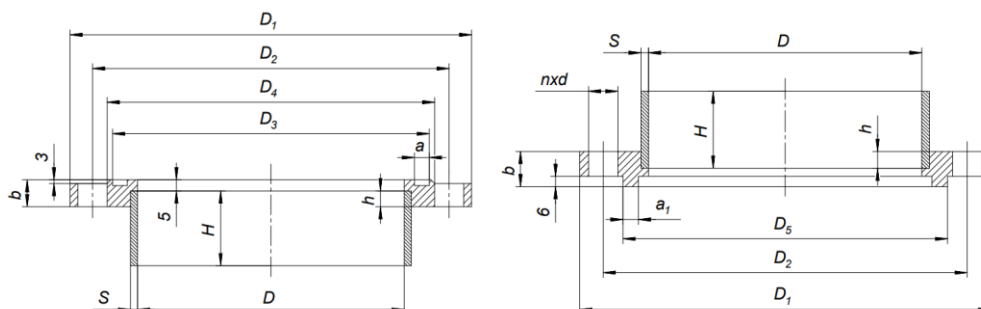


Рис. 5.10 – Параметри плоского фланцевого з'єднання типу «шип-паз»

Таблиця 5.6 – Розміри з'єднання

D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	a	D ₅	a ₁	b	S	d	Болти (шпильки)		PN, МПа
											діам.	кіл.	
3200	3660	3480	3300	3340	20	3320	19	89	30	60	M56	40	0,3

5.17 Розрахунок валу на вібростійкість

1. Діаметр валу за умови міцності визначається за формулою [19]:

$$d_{\text{вал}} = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\sigma]_B}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 135593}{3,14 \cdot 800}} = 0,095 \text{ м},$$

де $T = \frac{N}{n} = \frac{400}{2,95} = 135593 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – обертаючий момент на валі; $[\sigma]_B = 500 \dots 800 \text{ МПа}$ – границя міцності для матеріалу вала (середньовуглецева сталь), приймаємо максимальне значення.

Приймаємо стандартне значення: $d_{\text{вал}} = 100 \text{ мм}$.

2. Складаємо схему вала за попередньо прийнятими значеннями, з урахуванням висоти рівня КР та інших параметрів:

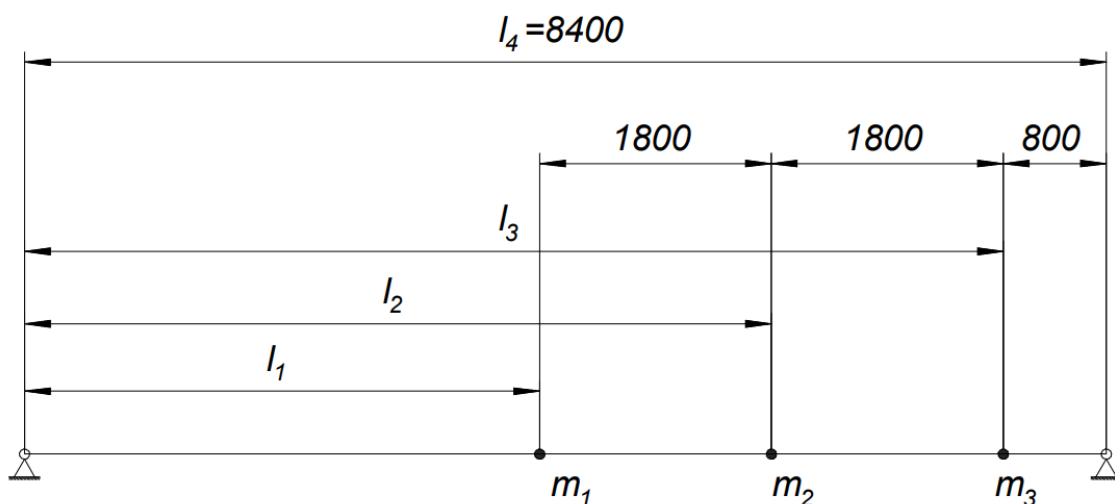


Рис. 5.11 – Схема вала

1. Визначаємо відносні координати центру тяжіння перемішуючих пристроїв:

$$\bar{l}_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{8400 - (1800 + 1800 + 800)}{8400} = 0,476;$$

$$\bar{l}_2 = \frac{l_2}{L} = \frac{8400 - (1800 + 800)}{8400} = 0,691;$$

$$\bar{l}_3 = \frac{l_3}{L} = \frac{8400 - 800}{8400} = 0,905;$$

2. Безрозмірні динамічні прогини вала в центрі тяжіння перемішуючих пристроїв визначаються за номограмами:

$$\bar{y}_{l1} = f(\bar{l}_1) = f(0,476) = 0,5;$$

$$\bar{y}_{l2} = f(\bar{l}_2) = f(0,691) = 0,7;$$

$$\bar{y}_{l3} = f(\bar{l}_3) = f(0,905) = 0,91;$$

3. Безрозмірний коефіцієнт ξ , який враховує приведену масу вала дорівнює:

$$\xi = \frac{\rho \omega^2 L^2}{3E} = \frac{7850 \cdot 18,54 \cdot 8,4^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 3,17 \cdot 10^{-4},$$

де $\omega = 2,95 \text{ с}^{-1} = 18,54 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $\rho = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – приблизна густина металу вала;
 $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – приблизний модуль пружності металу вала.

4. Приймаємо маси мішалок на рівні 30 кг. Тоді приведені до середини прольоту вала маси мішалок:

$$m_{1\text{пр}} = m_1 \cdot (\bar{y}_{l1})^2 = 30 \cdot 0,5^2 = 7,5 \text{ кг};$$

$$m_{2\text{пр}} = m_2 \cdot (\bar{y}_{l2})^2 = 30 \cdot 0,7^2 = 14,7 \text{ кг};$$

$$m_{3\text{пр}} = m_3 \cdot (\bar{y}_{l3})^2 = 30 \cdot 0,91^2 = 24,843 \text{ кг};$$

Тоді сумарна маса:

$$m_{\text{пр}} = 7,5 + 14,7 + 24,843 = 47,04 \text{ кг};$$

5. Маса одиниці довжини вала:

$$m_l = \frac{\pi d_{\text{вал}}^2 \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 7850}{4} = 61,62 \frac{\text{кг}}{\text{м}};$$

6. Відносна маса мішалок:

$$\bar{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{m_l L} = \frac{47,04}{61,62 \cdot 8,4} = 0,09;$$

7. Корінь часткового рівняння згідно номограми:

$$a_1 = f(\bar{m}_{\text{пр}}) = f(0,09) = 1,5;$$

8. Осьовий момент інерції перетину вала складає:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,1^4}{64} = 4,91 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4;$$

9. Критична кутова швидкість вала:

$$\omega_{\text{кр}} = \left(\frac{a_1}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{EI}{m_l}} = \left(\frac{1,5}{8,4}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 4,91 \cdot 10^{-6}}{61,62}} = 4,03 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

10. Оскільки: $\omega = 18,54 \frac{\text{рад}}{\text{с}} > \omega_{\text{кр}} = 4,03 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, то вал гнучкий.

Таким чином умова вібростійкості:

$$\frac{\omega}{\omega_{\text{кр}}} = \frac{18,54}{4,03} = 4,6 \geq 1,3;$$

Умова вібростійкості виконується.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.18 Вибір опори

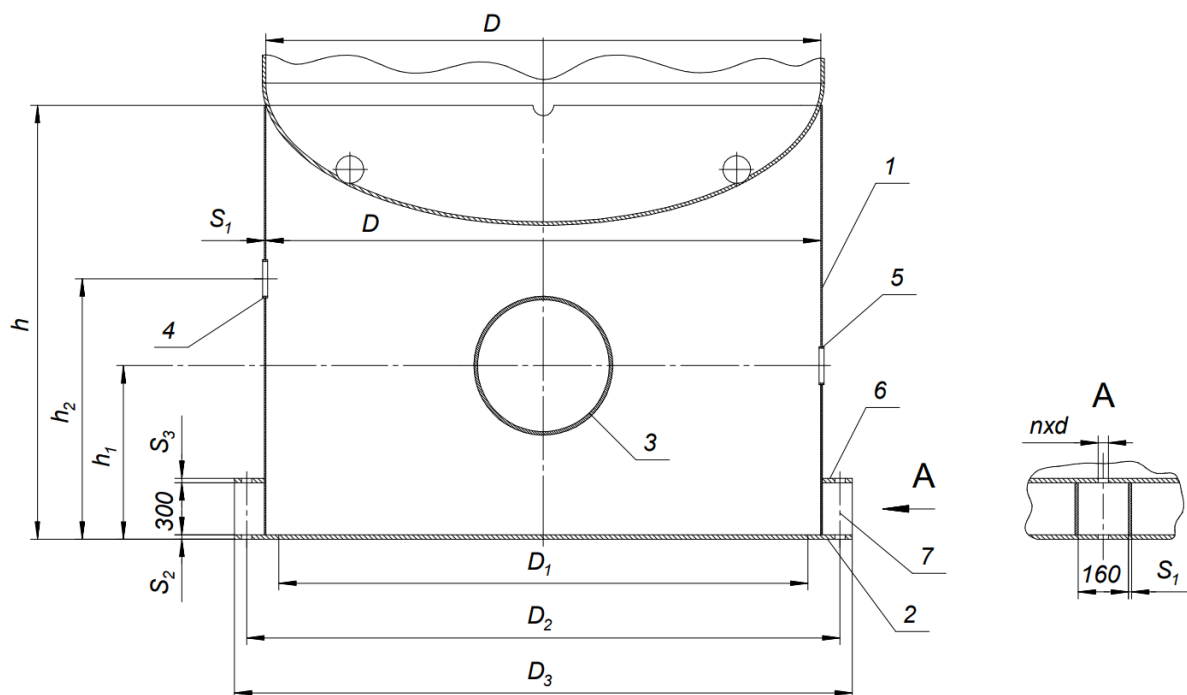


Рис. 5.12 – Опора циліндрична з кільцевим опорним поясом

1 – обичайка; 2 – кільце нижнє; 3 – лаз; 4, 5 – укріплювальні кільця; 6 – кільце верхнє; 7 – ребро.

Розрахунок проводиться за методикою, наведеною в посібнику [18].

При приваренні опор із вуглецевих та низьколегованих сталей до апаратів із корозійностійких марок сталей слід передбачати перехідні обичайки зі сталей тих же марок, що і корпус апарата. Межі застосування опор залежно від мінімального зведеного навантаження та діаметра апарата наведені в додатку Б. Висота циліндричних опор вибирається з конструктивних міркувань, але повинна бути не менше 600 мм. Необхідна кількість отворів під труби, лазів, їх розміри, розташування і форма вибираються за умови монтажу та повинні відповідати вимогам галузевого стандарту. Для вентиляції опори у її верхній частині повинно бути не менше двох отворів діаметром 100 мм. При зваренні опор з днищами, виготовленими із окремих частин, в обичайках опор необхідно передбачати вирізи, які дозволяють мати доступ до зварних радіальних швів на днищах. При застосуванні вирізів окремі отвори для вентиляції не передбачаються. В опорах апаратів масою понад 100 т повинні передбачатися два кронштейни

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БІО117.7215002-10 ПЗ

Арк.

75

(лівий та правий) шарнірного пристрою за галузевим стандартом, який застосовується при монтажі вертикального апарата способом повороту [18].

Необхідно визначити, яким буде максимальне значення навантаження на опору. Визначимо його за формулою:

$$G_{\text{оп}} = m_{\text{заг}} g;$$

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{води}} + m_{\text{конс}} + m_{\text{пр}};$$

- Маса води при гідравлічних випробуваннях:

$$m_{\text{води}} = \rho_{\text{води}} \cdot V_{\text{н}} = 1000 \cdot 63 = 63000 \text{ кг};$$

- Маса конструкції (апарата) без врахування привода:

$$m_{\text{конс}} = 22500 \text{ кг};$$

- Маса привода (приймаємо орієнтовно максимальне можливе):

$$m_{\text{пр}} \approx 5000 \text{ кг};$$

$$G_{\text{оп}} = 9,81 \cdot 90500 = 887805 \text{ Н} = 0,89 \text{ МН}.$$

Таким чином відповідно до $D_{\text{вн}} = 3200 \text{ мм}$, обираємо опору циліндричну з кільцевим опорним поясом з наступними параметрами:

- Максимальне зведене навантаження: $Q_{\text{max}} = 1,6 \text{ МН}$;

- Мінімальне зведене навантаження: $Q_{\text{min}} = 0,8 \text{ МН}$;

- $D = 3200 \text{ мм}$;

- $D_1 = 3050 \text{ мм}$;

- $D_2 = 3420 \text{ мм}$;

- $D_3 = 3560 \text{ мм}$;

- $S_1 = 18 \text{ мм}$;

- $S_2 = 25 \text{ мм}$;

- $S_3 = 25 \text{ мм}$;

- $d = 60 \text{ мм}$;

- Болт фундаментний: діаметр нарізі: 36 мм, кількість: 16 штук.

Позначення: Опора 4-3200-1,6-0,8-2700 ГСТУ 3-17-193-2000.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Моделювання

За отриманими значеннями будуємо модель. Використовується для цього пакет програмного забезпечення SolidWorks. Загальний орієнтовний вигляд моделі буде таким:



Рис. 6.1 – Модель ферментера

Розміри електропривода бралися орієнтовні (у відповідності до таких на кресленні), оскільки дійсні розміри немає можливості визначити.

Додаткові види моделі в розрізах:

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

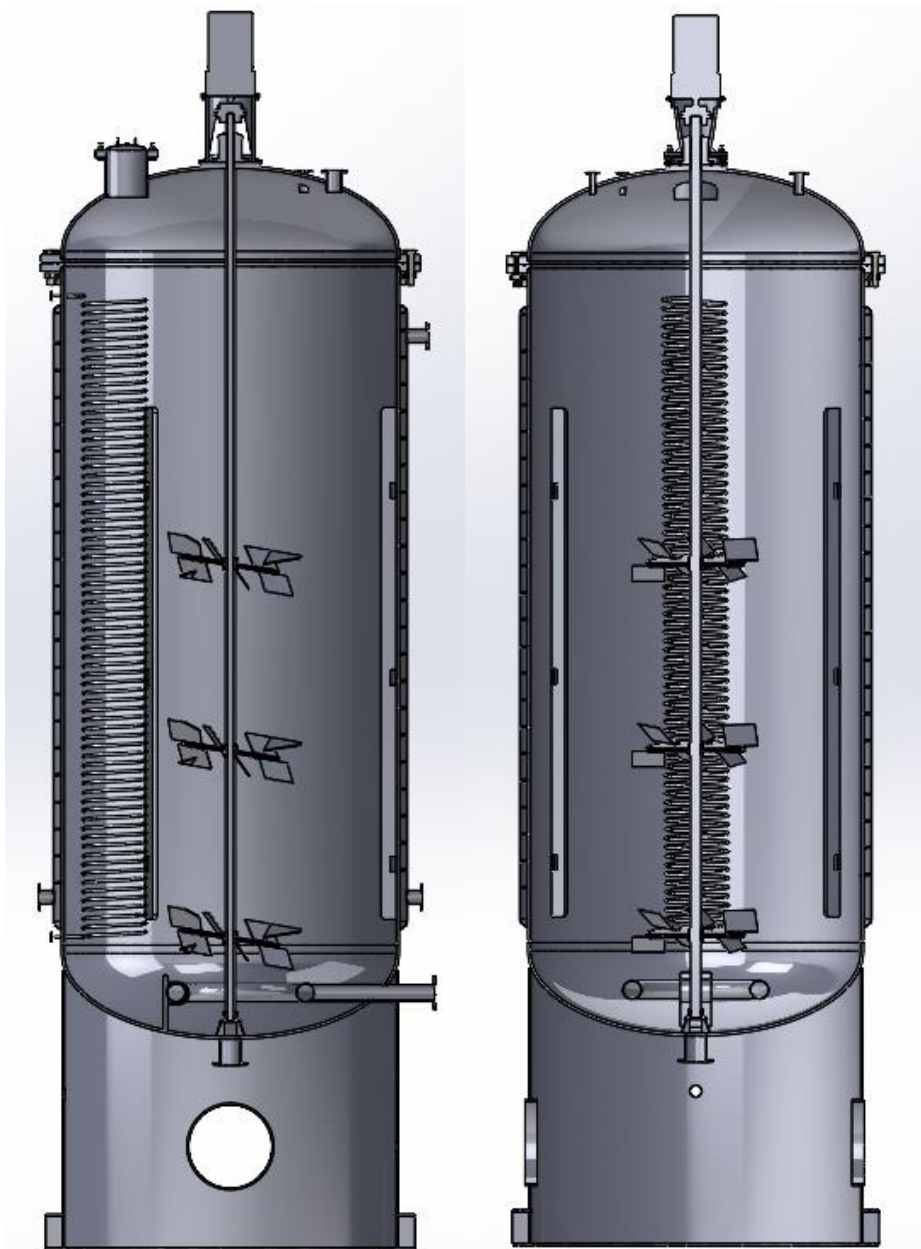


Рис. 6.2 – Модель в розрізах

Додатково перевіримо обичайку та еліптичні елементи на міцність. Для цього використовуємо функцію Static Simulation. Першою перевіряємо обичайку: задаємо всі необхідні параметри (фіксована геометрія, температура, тиск, матеріал). Отримали:

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БІ0117.7215002-10 ПЗ

Арк.
78

Model name: Циліндрична обичайка
Study name: Static 1(-Default-)
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 4 456,38

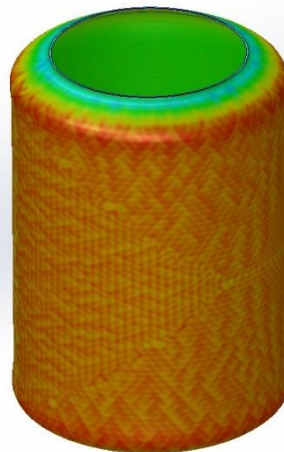


URES (mm)

1,473e-01
1,326e-01
1,178e-01
1,031e-01
8,838e-02
7,365e-02
5,892e-02
4,419e-02
2,946e-02
1,473e-02
1,000e-30

Рис. 6.3 – Епюра деформацій обичайки

Model name: Циліндрична обичайка
Study name: Static 3(-Default-)
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 4 456,38



von Mises (N/m^2)

2,155e+05
2,003e+05
1,850e+05
1,698e+05
1,545e+05
1,393e+05
1,240e+05
1,087e+05
9,348e+04
7,822e+04
6,296e+04

→ Yield strength: 2,344e+08

Рис. 6.4 – Епюра напружень обичайки

На отриманих епюрах бачимо, що деформації задовільні – максимальні значення досягають приблизно 0,15 мм в центральній зоні. Напруження відповідно до епюри також вийшли допустимі – максимальні значення на рівні 0,2 МПа.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БІО117.7215002-10 ПЗ

Арк.

79

Еліптичне днище:

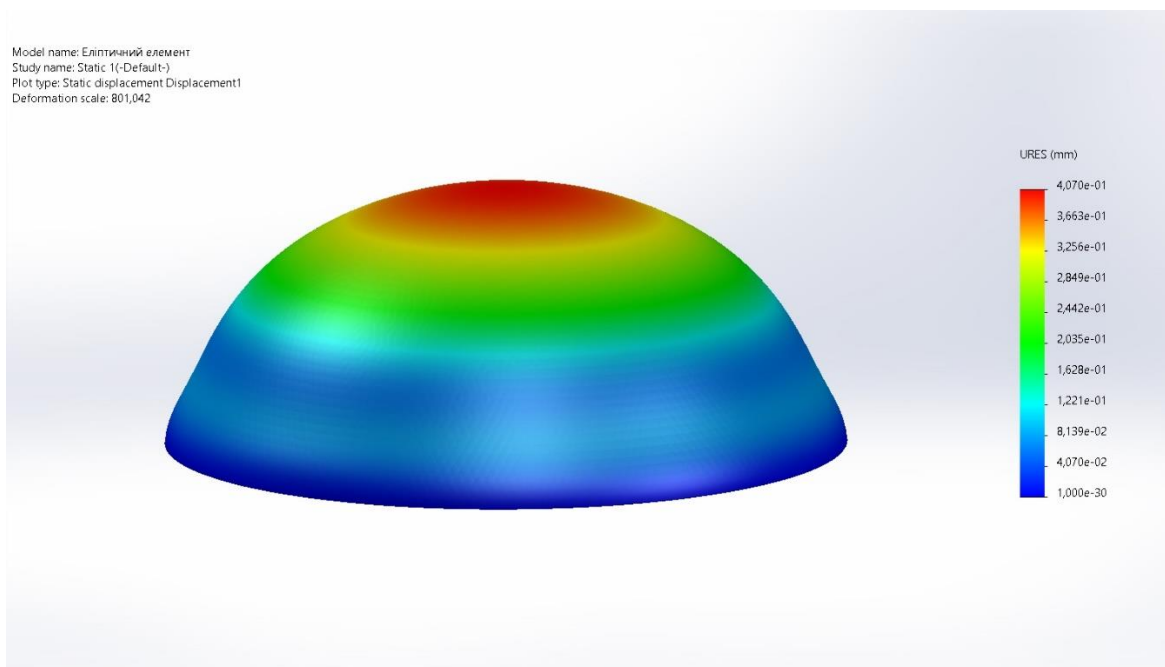


Рис. 6.5 – Епюра деформацій еліптичного елемента

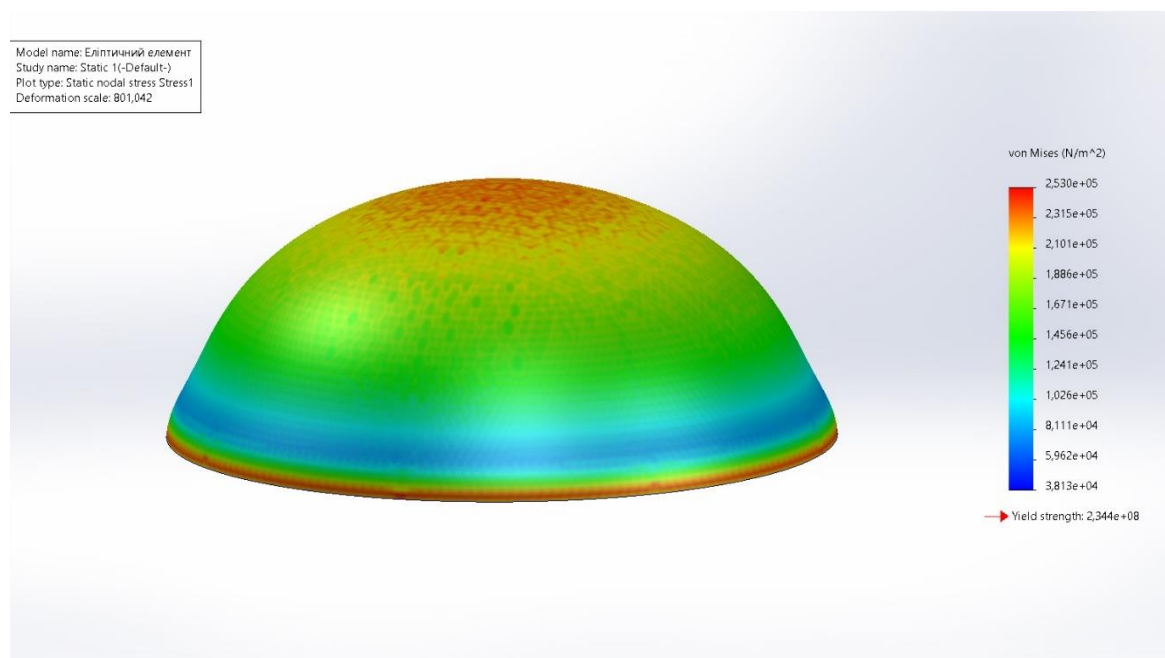


Рис. 6.6 – Епюра напружень еліптичного елемента

На отриманій епюрі деформації кришки/днища бачимо, що максимальні значення трохи більші, на рівні 0,4 мм, проте є допустимими. Епюра напружень показує, що максимальні значення досягають 0,25 МПа.

Отримані значення напружень елементів не перевищують максимальні допустимі значення тисків, які були отримані шляхом розрахунків, тобто моделювання успішне і підтверджує отримані розрахункові результати.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БІ0117.7215002-10 ПЗ

Арк.

80

7. Рекомендації щодо монтажу та експлуатації

7.1 Монтаж і такелажні роботи

Монтажні роботи проводяться по спеціально розробленому проекту організації монтажу, в якому відображені наступні основні питання і технічні рішення:

- 1) календарні плани робіт по монтажу в цілому, а також по монтажу окремих об'єктів і виду обладнання;
- 2) план майданчика для монтажних робіт;
- 3) методи робіт і їх механізація, заходи по безпечному веденню робіт;
- 4) технологічні схеми процесів монтажу окремих об'єктів обладнання в планах і розрізах;
- 5) необхідність в підйомно-транспортному обладнанні, пристроях, опорному обладнанні і інструменті для механізації монтажних робіт;
- 6) необхідність в робочій силі, розміщення спеціалізованих і монтажних бригад;
- 7) схема поєднання монтажних робіт із будівельними і спеціально будівельними;
- 8) кошторис на виконання монтажних робіт.

Монтаж даного ферментера рекомендується проводити індустріальним способом, який дозволяє різко скоротити тривалість монтажних робіт і затрат праці на них. Його сутність полягає в тому, що обладнання встановлюється в проектне положення в максимально готовому до експлуатації вигляді (мається на увазі повне збирання обладнання, металоконструкцій для його обслуговування, випробування, нанесення теплової ізоляції, футерування поверхні, установка запірної арматури, монтажного обв'язувального трубопроводу тощо). Тобто апарат повинен або прибути до місця експлуатації в зібраному або майже цілком зібраному стані, або на місці експлуатації повинно бути доступним і справним все необхідне допоміжне обладнання для виконання монтажу апарата в робоче положення.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний спосіб монтажу є найбільш передовим та ефективним зважаючи на параметри апарата. Вертикальні апарати масою 30-200 т монтують, застосовуючи спарені самохідні стрілові крани, наприклад СКГ-100, трубчасті і гратчасті мачти, портали, гідравлічні підйомники тощо. Послідовність монтажу визначається попередньо погодженою технічною документацією з врахуванням всіх обставин та правил техніки безпеки.

Такелажні роботи полягають у похилому, горизонтальному переміщенні й вертикальному підйому устаткування, апаратів тощо. Вимоги до такелажних робіт полягають в наступних пунктах:

1. Такелажні роботи, як правило, проводять удень.
2. Такелаж не можна проводити на зовнішніх установках при швидкості вітру в шість балів, при дощі, ожеледі й снігопаді.
3. Початий підйом вантажу повинен бути закінчений у той же день. Якщо це зробити не вдалося, то вантаж повинен бути опущений на землю або постамент.
4. Вантаж, підвішений до гака піднімального механізму, повинен бути міцно й надійно застропований.

У випадку ферментерів частіше всього для виконання такелажних робіт застосовують стропи та траверси. Для цього ферментер повинен бути обладнаний додатковими пристроями для стропування. У випадку апаратів великих розмірів це або цапфи (рідше), або монтажні штуцери, які є більш розповсюдженим рішенням. Зважаючи на габаритні розміри апарата та складність конструкції його можна віднести до габаритного обладнання, тобто того, яке прийняте до перевезення залізницею без обмежень, і певною мірою негабаритне, прийняте до перевезення у зібраному вигляді з обмеженнями.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.2. Експлуатація

Після закінчення монтажно-такелажних робіт апарат має обов'язково пройти випробування. Спершу проводять підготовчі роботи, тобто переважно огляд та перевірку візуального стану з'єднання всіх вузлів між собою та комунікацій. При цьому особливу увагу необхідно звернути на присутність в конструкції арматури, приладів, кришок, заглушок, болтів, прокладок та інших деталей, які забезпечують герметичність системи.

Режим випробувань частіше за все включає гідравлічні та пневматичні випробування, при яких перевіряється герметичність та надійність роботи всіх потенційно небезпечних ділянок та місць з'єднань, а також підтверджується міцність та стійкість апарата.

При підготовці до експлуатації особливу увагу також треба звернути на надійність та безпомилкову роботу алгоритму управління технологічним процесом та перевірити всі вхідні та вихідні параметри, тобто впевнитись, що автоматизована система управління функціонує без помилок.

Результати випробувань виявляють дефекти та недоліки, які заносять в акт випробувань на конкретно взятий апарат. Якщо такі наявні, то далі рішення приймаються на основі попередньо прийнятого алгоритму дій у разі виявлення несправностей.

Експлуатація та безпосереднє обслуговування апарата не повинні порушувати Закон України «Про охорону праці» № 2695-XII від 14.10.92. З недавнього часу в Україні також почали переходити на міжнародні стандарти, серед яких до функціонування біотехнологічних та фармацевтичних виробництв найбільше відносяться ISO 14001 та BS OHSAS 18001, які актуалізують увагу на наступних питаннях:

Питання екології:

- Викиди в атмосферу (летючі органічні сполуки, тверді частки, викиди від джерел горіння, запахи);
- Стічні води (технологічні стічні води, очищення технологічних стічних вод, інші потоки стічних вод та водоспоживання);

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Тверді на небезпечні відходи;
- Контроль небезпечних матеріалів (Карти даних небезпечного фактору/MSDS-карти);

- Загрози для біорізноманіття (біорозробки, біобезпека);
- Біоетика.

Питання охорони праці та гігієни:

- Високотемпературний вплив;
- Хімічні речовини;
- Шкідливі патогенні та біологічні впливи;
- Шкідливі радіологічні впливи;
- Шум;
- Безпека технологічних процесів.

Показники ефективності та моніторинг:

1. Навколишнє середовище:

- Нормативи викидів;
- Моніторинг стану навколишнього середовища.

2. Гігієна та охорона праці:

- Вказівки по гігієні та охороні праці;
- Показники травматизму та частота нещасних випадків;
- Моніторинг дотримання норм гігієни та охорони праці.

8. Рівень стандартизації та уніфікації

У біотехнологічній промисловості уніфікація та стандартизація відіграють дуже важливу роль, оскільки завдяки встановленню певного ряду уніфікованих та стандартизованих елементів обладнання, їх вузлів або окремих деталей, при аварійній поломці не доведеться витратити дорогоцінний час на пошуки заміни та проведення технічних розрахунків всіх необхідних параметрів нового елемента, а просто взяти такий самий запасний елемент. При цьому час простоювання наприклад лінії виробництва (якщо поломка суттєва) дуже знижується, що таким чином запобігає додатковим витратам та тривалій зупинці процесу.

Вибір конструкції та її проектування виконувалися відповідно до СОУ МПП 71.120-217:2009. «Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови». Цей стандарт включає в себе велику кількість інформації з старих стандартів типу ГОСТ з певними доповненнями, виправленнями та нововведеннями. Зважаючи на перелік нормативних документів, що бралися за основу при його створенні, необхідний фактично єдиний цей стандарт для повного проектування ферментера.

Вибір опори виконувався відповідно до ГСТУ 3-17-193-2000 «Опори вертикальних апаратів. Типи та основні розміри».

Вибір болтів виконувався відповідно до ДСТУ EN ISO 4014:2022 «Болти з шестигранною головкою. Класи виробу А і В»; ДСТУ EN ISO 888:2022 «Кріпильні вироби. Болти, гвинти та шпильки. Номінальна довжина та довжина різьби».

Вибір гайок виконувався відповідно до ДСТУ EN ISO 4032:2022 «Гайки шестигранні стандартні (тип 1). Класи виробів А і В».

Вибір шайб виконувався відповідно до ДСТУ EN ISO 7089:2022 «Шайби плоскі. Нормальна серія. Клас виробу А».

Вибір прокладок під фланцеве з'єднання виконувався відповідно до ДСТУ EN 1514-3:2022 «Фланці та їх з'єднання. Розміри прокладок для

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фланців, позначених PN. Частина 3. Неметалеві Прокладки оболонки з ПТФЕ».

Вибір фланців виконувався відповідно до ДСТУ EN 1092-1:2018 «Фланці та їхні з'єднання. Круглі Фланці для труб, клапанів, з'єднувальної арматури та допоміжних деталей з позначеним номінальним тиском PN. Частина 1. Сталеві Фланці»; ДСТУ ГОСТ 12820:2008 «Фланці сталеві плоскі приварні на Ру від 0,1 до 2,5 МПа (від 1 до 25 кгс/см²). Конструкція і розміри».

Зварювання елементів виконувати відповідно до ДСТУ EN ISO 9692:2014 «Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань».

Контроль зварювання відповідно до ДСТУ EN ISO 15614:2015 «Технічні умови й атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання».

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломного проєкту було розглянуто установку біосинтезу антибіотику флориміцину з розробкою ферментера останньої стадії культивування.

Перш за все було проведено короткий аналіз актуальності розробки обладнання для виготовлення даного препарату й характеру проблеми туберкульозу на даний момент, після чого було описано область застосування як установки в цілому, так і конкретно ферментера. Далі на основі вхідних даних щодо технології виготовлення флориміцину та його характеристики було побудовано технологічну схему отримання антибіотику та розписано основні її етапи.

Далі було виконано обґрунтування орієнтовного вибору конструкції ферментера на основі відомих даних з літературних джерел та практичного досвіду і обрано найбільш оптимальну конструкцію. Порівняння обраної конструкції з існуючими та активно працюючими на даний час моделями показало, що вибір був зроблений вірно.

На основі деяких отриманих технічних параметрів ферментера відповідно до завдання дипломного проєкту було виконано його розрахунок, включно з: розрахунок ідеального матеріального балансу, робочого балансу ферментації, визначення теплового балансу, розрахунок перемішуючого пристрою та барботеру, відповідного теплового розрахунку, додаванні на основі його результатів деяких конструктивних елементів, розрахунки на стійкість та міцність елементів конструкції та допоміжні розрахунки штуцерів, опори, вала.

На основі отриманих значень було побудовано складальне креслення ферментера, декількох його складальних одиниць та деталей. За допомогою отриманих креслень було також побудовано модель ферментера в масштабі 1:1.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

In the course of the diploma project, the biosynthesis plant for the antibiotic florimycin with the development of a fermenter for the last stage of cultivation was considered.

First of all, a brief analysis of the relevance of the development of equipment for the manufacture of this drug and the nature of the tuberculosis problem at the moment was carried out, after which the scope of application of both the plant as a whole and the fermenter specifically was described. Then, based on the input data on the technology of florimycin production and its characteristics, a technological scheme for the production of the antibiotic was built and its main stages were described.

Next, we justified the tentative choice of the fermenter design based on known data from the literature and practical experience and selected the most optimal design. Comparison of the selected design with existing and currently operating models showed that the choice was correct.

Based on some of the obtained technical parameters of the fermenter, in accordance with the task of the diploma project, its calculation was performed, including: calculation of the ideal material balance, working balance of fermentation, determination of the heat balance, calculation of the stirrer and bubbler, the corresponding thermal calculation, adding some structural elements based on its results, calculations for the stability and strength of structural elements and auxiliary calculations of fittings, support, shaft.

Based on the obtained values, we created assembly drawings of the fermenter, several of its assembly units and parts. Using the obtained drawings, a 1:1 scale model of the fermenter was also built.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пирог Т. П., Решетняк Л. Р., Поводзинський В. М., Грегірчак Н. М. Мікробіологія харчових виробництв / За ред. Т. П. Пирог. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2007. – 464 с.
2. Туберкульоз. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Туберкульоз>
3. Павлов К.Ф. Приклади й задачі з курсу процесів і апаратів хімічної технології [Текст]/ Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.Н.// Л., Хімія, 1976-568с.
4. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв: Навч. Посібник. У 3 ч. – Ч. III. Ферментація. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004 – 240 с.
5. Стабніков В.Н. Проектування процесів і апаратів харчових виробництв [Текст] / В.Н. Стабніков, П.П. Лобода // Київ: Вища школа, 1982. – 199с.
6. Стренк Ф. Перемішування та апарати з мішалками [Текст]. Л., Хімія, 1975-384с.
7. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. Посіб. / За ред. Проф. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2012 – 543 с.
8. Fermentation tank. URL: https://chinapharmamachine.com/product/fermentation_tank
9. Membrane Bioreactor Tank 50000L Fermenter for Bacteria Culture. URL: <https://bailunbio.en.made-in-china.com/product/BOefsJQUEkrD/>
10. FS Industrial Bioreactor. URL: <https://bionet.com/technology/fs-industrial-bioreactors/>
11. Зайцев І.Д. Довідник. Фізико-хімічні властивості бінарних та багатокомпонентних розчинів неорганічних речовин [Текст] / І.Д. Зайцев, Г.Г. Асєєв // Москва: Хімія, 1988. – 415с.

					БІО117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. 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.

13. Процеси і апарати харчових виробництв / За ред. В. М. Стабникова. Київ, Вища школа, 1975 – 798 с.

14. Лацинський А. А. Основи конструювання та розрахунку хімічної апаратури. Довідник [Текст]/ Лацинський А. А., Толчинський А. Р.// М., Машинобудування, 1970 – 307с.

15. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища: / Укл. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Навч. посібник. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2005. – 310 с., 56 іл., 42 табл., 33 бібліогр назв.

16. І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. К65 Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Сорочки. Люки. Розрахунки на міцність елементів апаратів. Навчальний посібник. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2009. – 313 с., 81 іл., 69 табл., 37 бібліогр назв.

17. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. К65 Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2007. – 306 с., 108 іл., 117 табл., 48 бібліогр назв.

18. І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. К65 Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Стропові пристрої. Опори. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2008. – 289 с., 100 іл., 65 табл., 25 бібліогр назв.

19. Розрахунок і конструювання машин і апаратів хімічних виробництв. Приклади і задачі: Навч. Посібник для студентів ВНЗ / М. Ф. Михалєв, Н. П. Третьяков, А. І. Мільченко, В. В. Зобнін; Під заг. ред. М. Ф. Михалєва. Л.: Машинобудування, Ленінг. від-ня, 1984. – 301 с.

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БІ0117.7215002-10 ПЗ	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
Патентний пошук

Додаток А. Регламент патентного пошуку

Регламент патентного пошуку № БІ01.7215002-10 РП

Найменування теми: Ферментер

Шифр теми: БІ01.7215002.001

Етап: Вибір конструкції апарату, його проектування на основі вибраних та розрахованих даних (та його частин)

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:

БІ01.7215002.001, 10.05.24

Предмет пошуку – ферментер, біореактор, реактор

Об'єкт пошуку – Корисні моделі та винаходи

Мета пошуку інформації – визначення патентноздатності та патентної чистоти проєктованого апарату та визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці

Держави пошуку: Україна, США, Китай, Іспанія, Німеччина, Японія

Регламент пошуку встановлюємо 2010-2024 р.

Класифікаційні індекси:

- Міжнародна патентна класифікація: C05F17/50; C12M1/00; C12M1/02; C12M23/54; C12M29/08; C12M29/18; C12M1/36; C12M1/38; B01J19/18; B01F 7/16;

Джерела інформації:

- Офіційна патентна документація Держпатенту України;
- Підручники та навчальні посібники з курсу дисциплін «Процеси, апарати і машини галузі»;

- Інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>, <http://uapatents.com/>.

Початок пошуку: 10.05.2024

Закінчення пошуку: 9.06.2024

Таблиця Б.1 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Ферментер, біореактор, реактор	Визначення стану актуальності і обраної конструкції ферментера в даний момент та її порівняння з діючими моделями	Україна, США, Китай, Іспанія, Німеччина, Японія	C05F17/50; C12M1/00; C12M1/02; C12M23/54; C12M29/08; C12M29/18; C12M1/36; C12M1/38; B01J19/18; B01F 7/16	2010-2024	Моделі апаратів, їх характеристика та опис. Офіційні патентні бюлетені Укрпатенту та закордонних баз даних.

Таблиця В.1 – Джерела інформація, що використовувалися для пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	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
Ферментер, біореактор, реактор	Україна, США, Китай, Іспанія, Німеччина, Японія	C05F17/50; C12M1/00; C12M1/02; C12M23/54; C12M29/08; C12M29/18; C12M1/36; C12M1/38; B01J19/18; B01F 7/16	Фонд НТУУ “КПІ” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності. Електронні ресурси: http://ep.espacenet.com/ , http://uapatoms.com/ .	Описи корисних моделей патентів України. Описи корисних моделей інших країн	Підручники та навчальні посібники з курсу дисциплін «Процеси, апарати і машини галузі»

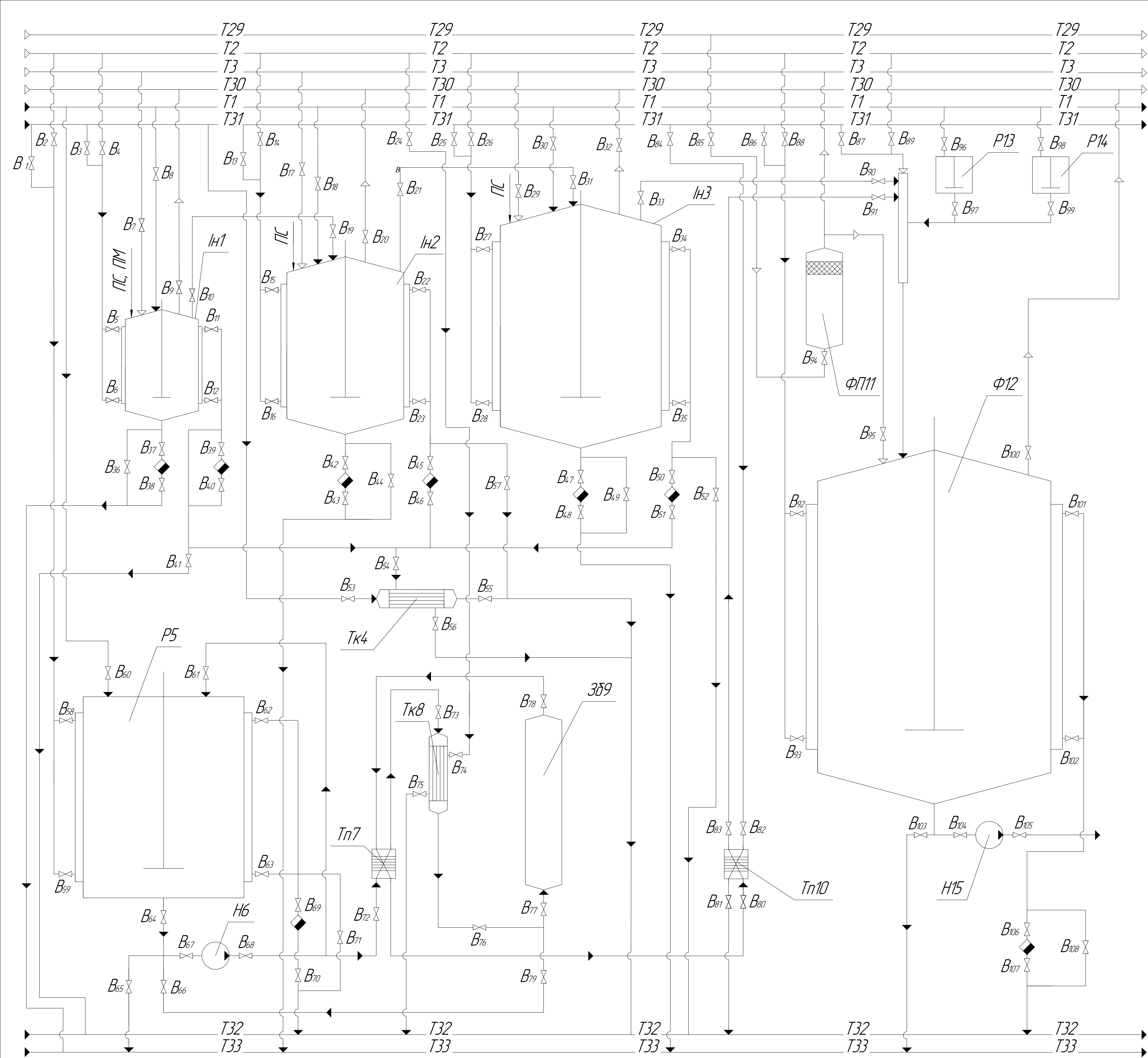
Таблиця Г1.1 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Fermentation apparatus	Patent № JP2021192599A (JP), Int. cl. C05F17/50; C05F17/90; C12M1/00 Fermentation apparatus and fermentation method (JP) / Iwate Compost CO LTD, - Inventor Sugawara Masaru. Pub. Date: 23.12.2022	Діє
Biocontrol fermentation tank	Patent № CN110938535A (CN), Int. cl. C12M23/54; C12M29/08; C12M29/18 Biocontrol actinomycete fermentation tank (CN) / Zhengzhou Technical College. – Inventors Zhang Yanli; Xu Zhike; Song Na; Li Zhusheng; Wang Yaping. Pub. Date: 31.03.2020	Діє
Microbial fermentation equipment	Patent № CN207958386U (CN), Int. cl. C12M1/00; C12M1/02; C12M1/36; C12M1/38 Microbial fermentation equipment (CN) / Jiangxi Kaiyuan Anfu Ham CO LTD. – Inventor Pi Lei. Pub. Date: 12.10.2018	Діє
Liquid fermentation device	Patent № CN111575173A (CN), Int. Cl. C12M1/00; C12M1/02; C12M1/36; C12M1/38 High-efficient actinomycete liquid fermentation device (CN) / Wheat Res Inst Agricultural Sciences. – Inventors Yang Bin; Liu Yutao; Xue Quanhong; Lu Lahu; Wen Hongwei; Sun Daizhen; Zhang Dongxu; Zhang Ting; Yuan Kai; Zhang Wei; Shi Xiaofang; Zheng Jun; Zheng Xingwei; Shan Hao; Yan Jinlong; Cui Huanhu. Pub.date: 25.08.2020	Діє
Реактор з пневматичним перемішуючим пристроєм	Патент № 116817 (UA), Int. Cl. B01J 19/18, B01F 7/16 Реактор з пневматичним перемішуючим пристроєм. – Автори Костик Сергій Ігорович, Перехрестенко Олена Василівна, Ревтов Олексій Олександрович, Шибєцький Владислав Юрійович. Опубліковано: 12.06.2017	Діє

Висновок. За отриманими результатами проведеного патентного дослідження було визначено, що обрана конструкція ферментера загалом має схожу концепцію з діючими запатентованими конструкціями, проте деякі рішення є нетиповими, тому конструкція цілком відповідає патентній новизні і чистоті, тобто є корисною моделлю.

Додаток Б

Апаратурно-технологічна схема



Умовне позначення		Найменування середовища в трубопроводі
Літера	Графічне	
T1		Вода питна
T2		Пара
T3		Повітря стерильне
T29		Повітря стиснене
T30		Викиди газів
T31		Вода зворотня
T32		Вода зворотня
T33		Каналізація

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
ІН1	Інкулятор	1	
ІН2	Інкулятор	1	
ІН3	Інкулятор	1	
Р5	Реактор-змішувач	1	
Ф12	Ферментер	1	
Тк4, 8	Теплообмінник кожухотрубний	2	
Тп7, 10	Теплообмінник пластинчатий	2	
ЗД1	Збірник	1	
ФП11	Фільтр глибинної стерилізації повітря	1	
Р13, 14	Реактор	2	
Н6, 15	Насос	2	
В1..В108	Вентиль	108	

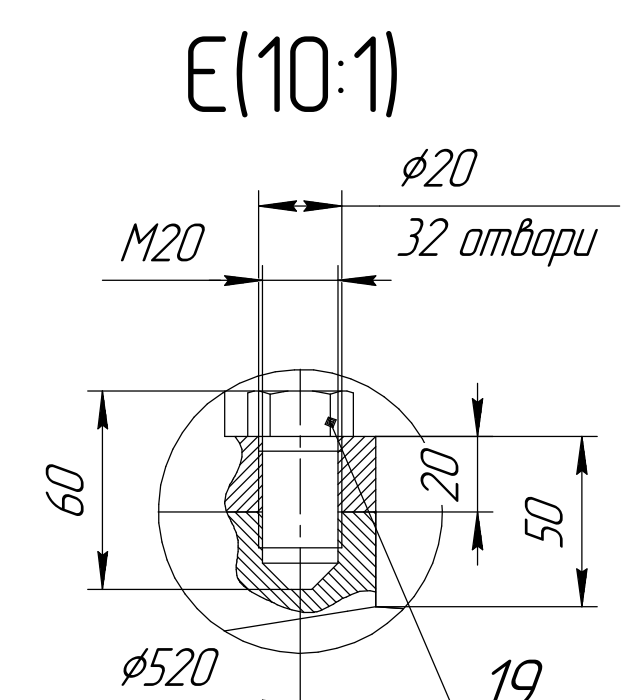
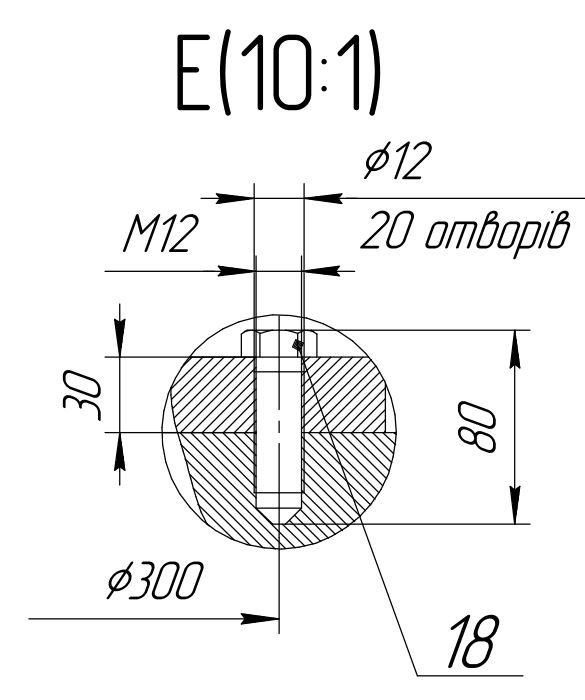
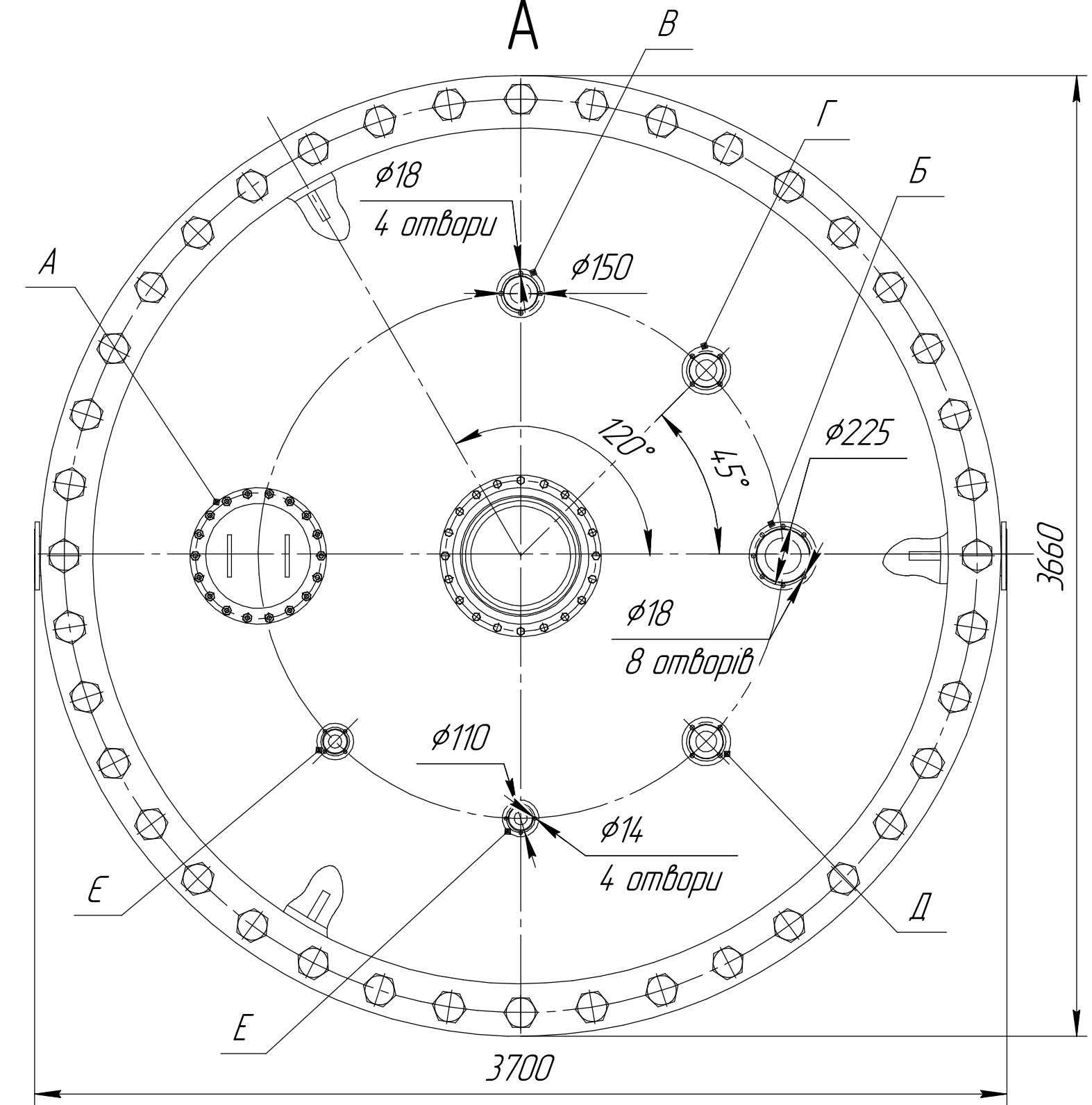
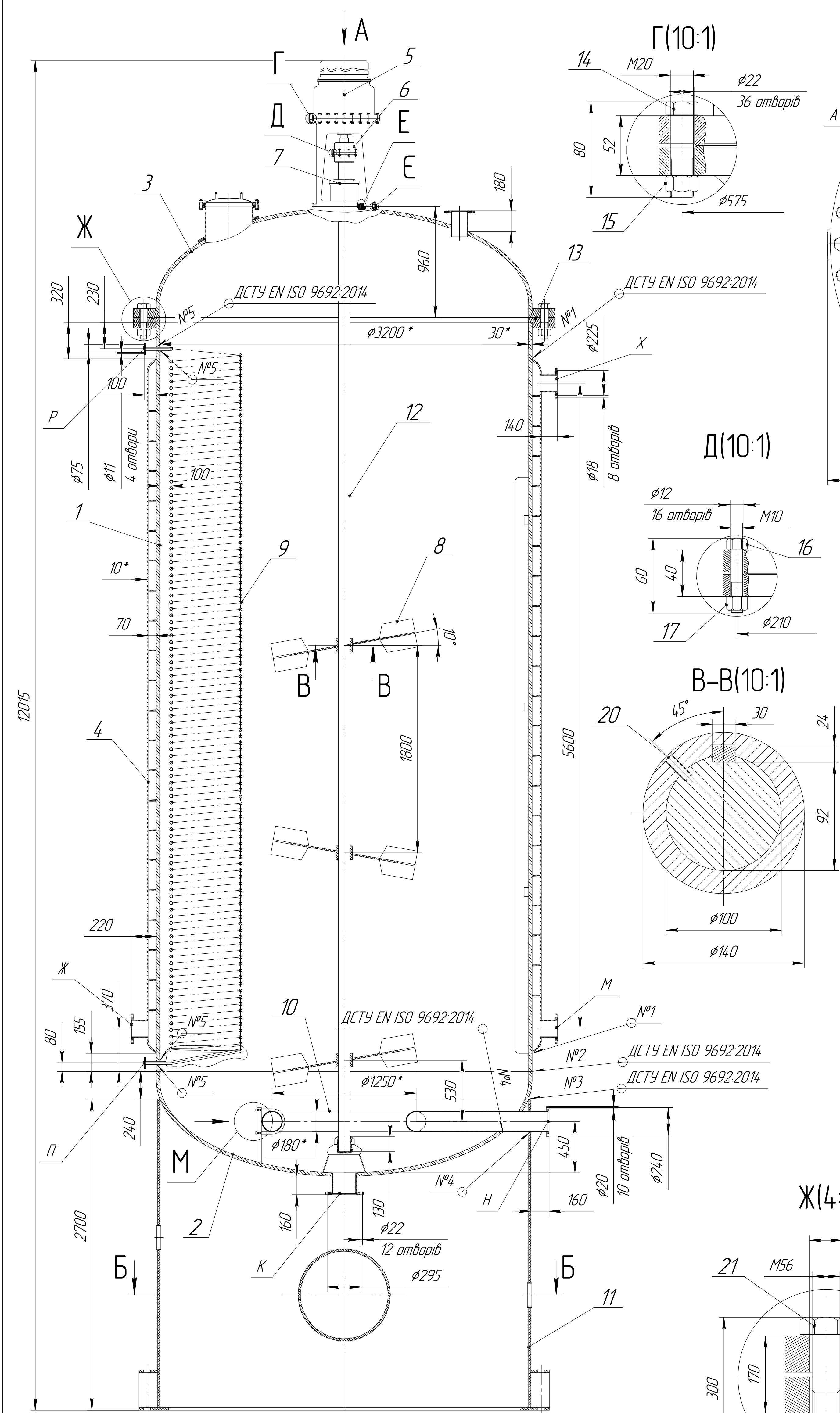
				БІО117.7215002.000-10 АС		
Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Установа біосинтезу флориміцину. Апаратурно-технологічна схема		
Розроб.	Третяков Я.О.					
Перевір.	Косова В.П.			Арк.		
Т.контр.						
Н.контр.				Архив		
Затв.	Мельник В.М.					
				НТУУ "КПІ", ФБТ, БІ-01		

Додаток В
Специфікації

[illegible]

[illegible]

[illegible]



Таблиця штуцерів

Поз.	Найменування	Кіл.	Діаметр умовний D _у , мм	Тиск умовний P _р , МПа
A	Вхід поживного середовища	1	400	1
Б	Вхід пасівного матеріалу	1	150	0,6
В	Вхід води для промивки	1	80	0,6
Г	Вхід пари для стерилізації	1	80	1
Д	Вихід відпрацьованого повітря	1	80	0,6
Е	Вхід регулятора	1	50	0,3
Є	Вхід мийного засобу	1	50	0,3
Ж	Вхід води для охолодження	1	150	0,3
Х	Вихід води для охолодження	1	150	0,3
М	Злив сорочки	1	150	0,3
Р	Вхід охолоджуючої води	1	25	0,3
П	Вихід охолоджуючої води	1	25	0,3
Н	Вхід повітря для аерації	1	170	0,6
К	Злив апарата	1	200	1

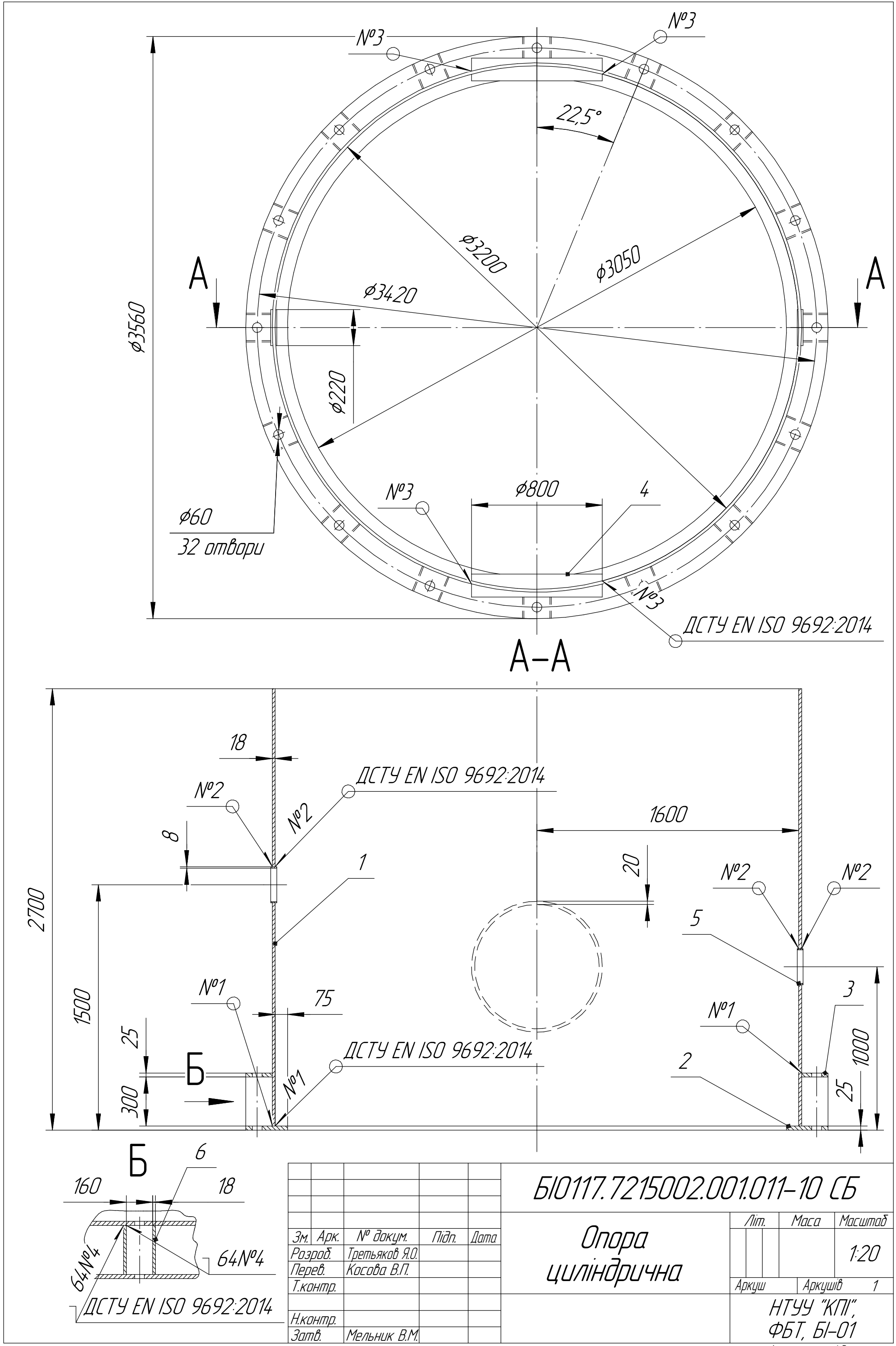
Технічна характеристика

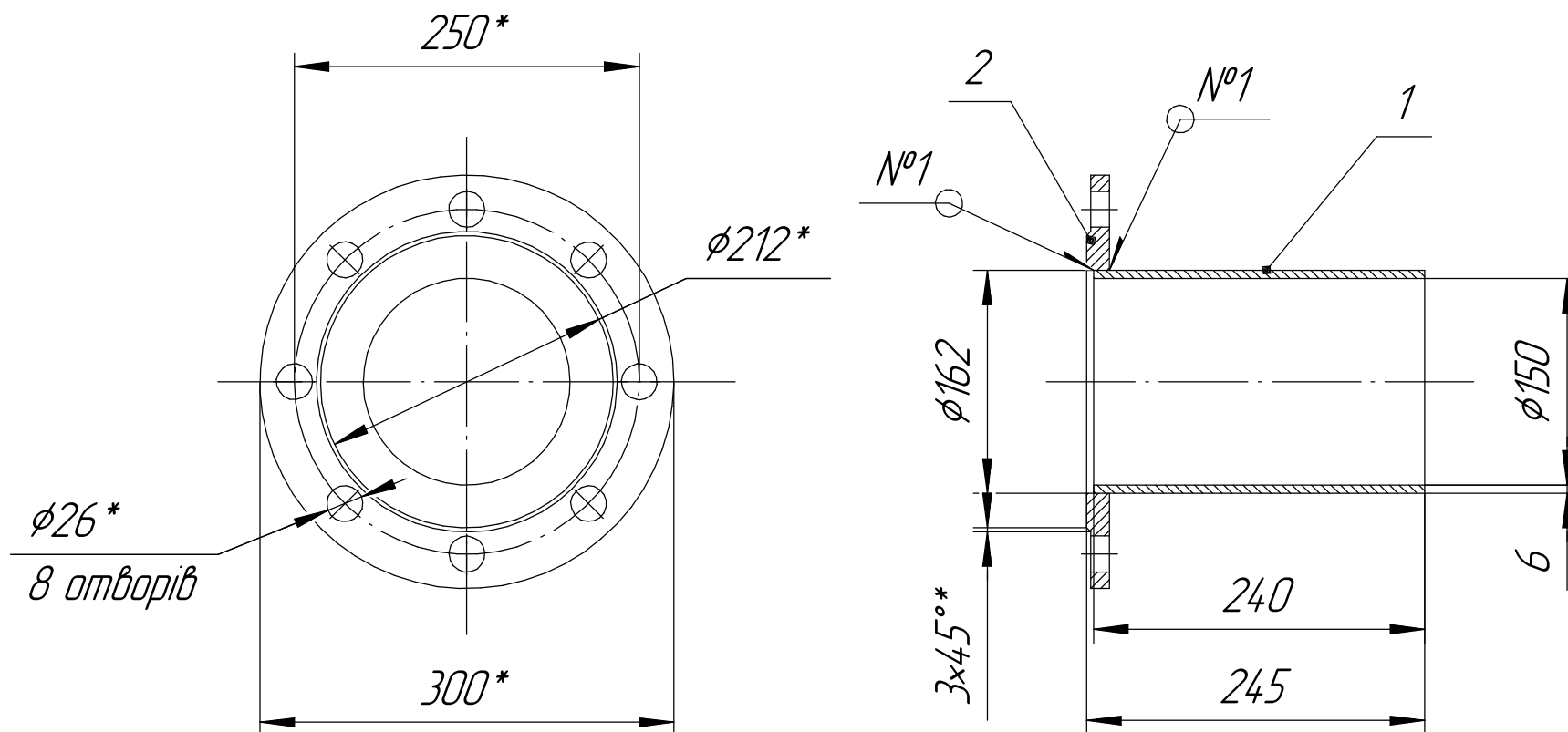
- Апарат призначений для біосинтезу флориміцину
- Об'єм апарата, м³ 63.
 - Коефіцієнт заповнення 0,7.
 - Площа теплообміну сорочки, м² 61.
 - Потужність електродвигуна, кВт 400.
 - Частота обертання валу мішалки, об/с 2,95.
 - Робочий тиск, МПа:
 - в апараті 0,294;
 - в сорочці 0,294.
 - Середня температура:
 - в апараті 28;
 - в сорочці 19.
 - Середовище:
 - в апараті культуральна рідина;
 - в сорочці вода
 - Габаритні розміри, мм:
 - висота апарата 12015;
 - ширина апарата 3700;
 - довжина апарата 3660;
 - Маса апарата без приводу, кг 22500

Технічні вимоги

- При виготовленні керуватися СДУ МП 71.120-217.2009.
- Корпус та інші деталі, що контактують з культуральною рідиною виготовляти зі сталі 08Х18Н10Т. Сорочку виготовляти зі сталі 3.
- Гідравлічні випробування апарата проводити у вертикальному положенні водою.
- Зварні з'єднання контролювати рентгенопросвічуванням або УЗД у об'ємі 100% за ДСТУ EN ISO 15614:2015.
- Призначення та розташування штуцерів дивитися на виді А та в таблиці штуцерів.
- Розміри для довідок *.

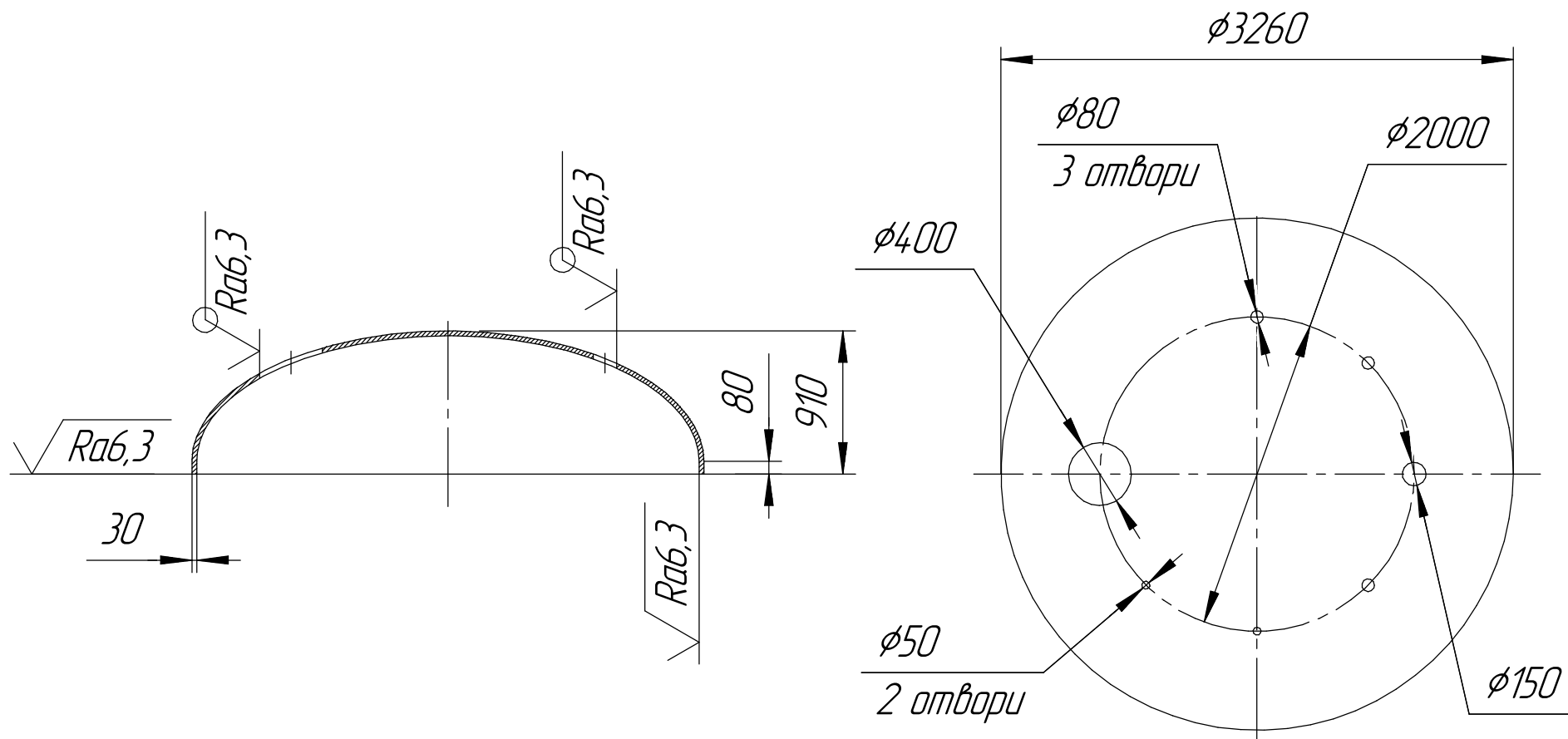
				БЮ117.7215002.001-10 СБ			
Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Третяков Я.О.						1:20
Перев.	Косово В.П.				Архив		1
Т.контр.					НТУУ "КПІ", ФБТ, БІ-01		
Н.контр.					Формат А1		
Затв.	Мельник В.М.						





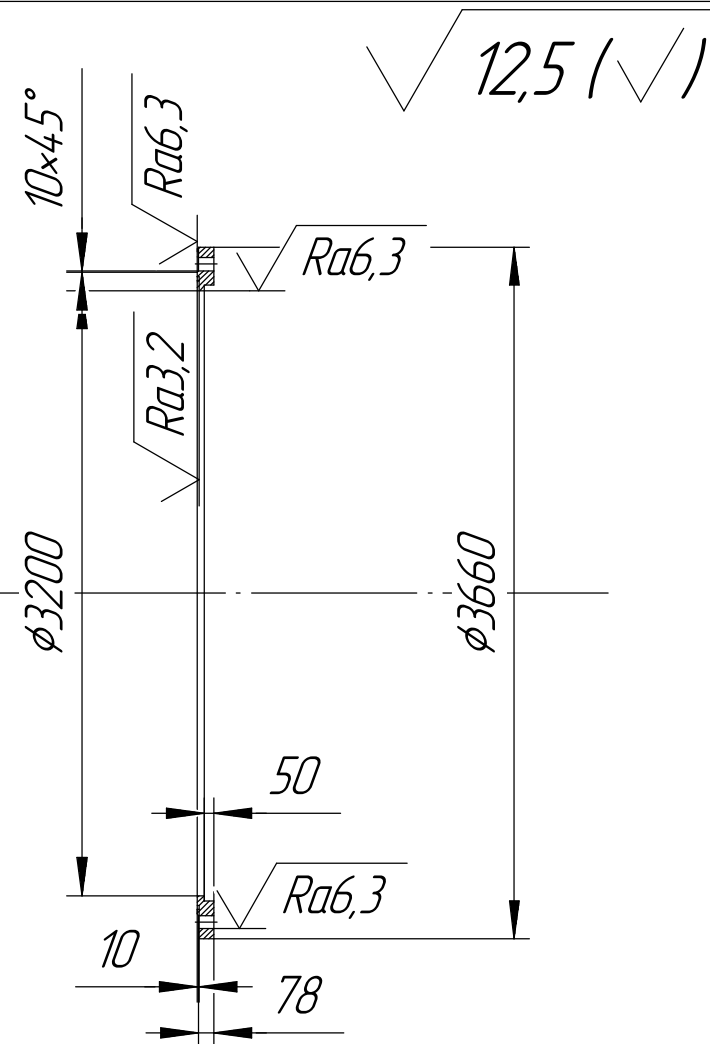
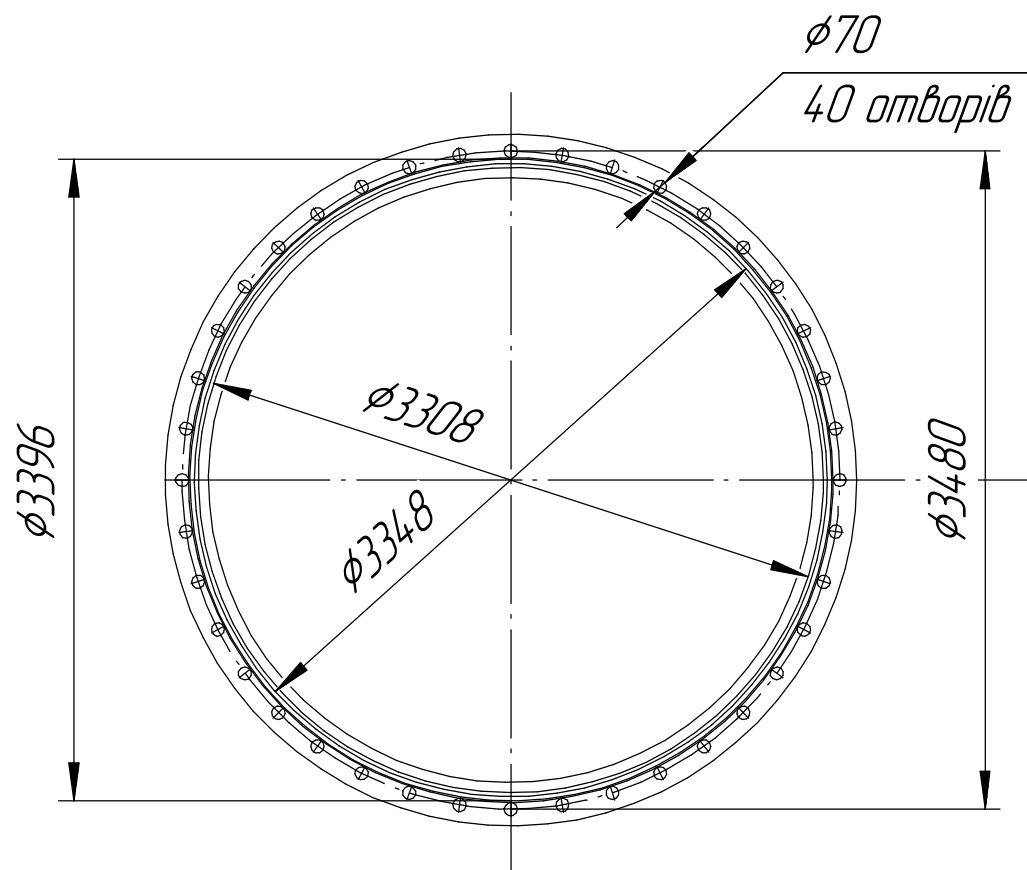
1. Використовувати за тиску не більше 0,6 МПа.
2. При зварюванні керуватися ДСТУ EN ISO 9692:2014.
3. *Розміри для довідок.

					БІО117.7215002.001.03.01-10 СБ				
					Штуцер	Літ.		Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					1:5
Розроб.		Третьяков Я.О.							
Перев.		Косова В.П.							
Т.контр.						Аркуш		Аркушів 1	
						НТУУ "КПІ", ФБТ, БІ-01			
Н.контр.						Формат А4			
Затв.		Мельник В.М.							



1. Параметр шорсткості для всіх отворів однаковий.

					БІО117.7215002.001.03.02-10			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Корпус еліптичної кришки	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Третьяков Я.О.						1:40
Перев.		Косова В.П.						
Т.контр.						Аркуш	Аркушів	1
Н.контр.						НТУУ "КПІ", ФБТ, БІ-01		
Затв.		Мельник В.М.				Формат А4		



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Третьяков Я.О.		
Перев.		Косова В.П.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Затв.		Мельник В.М.		

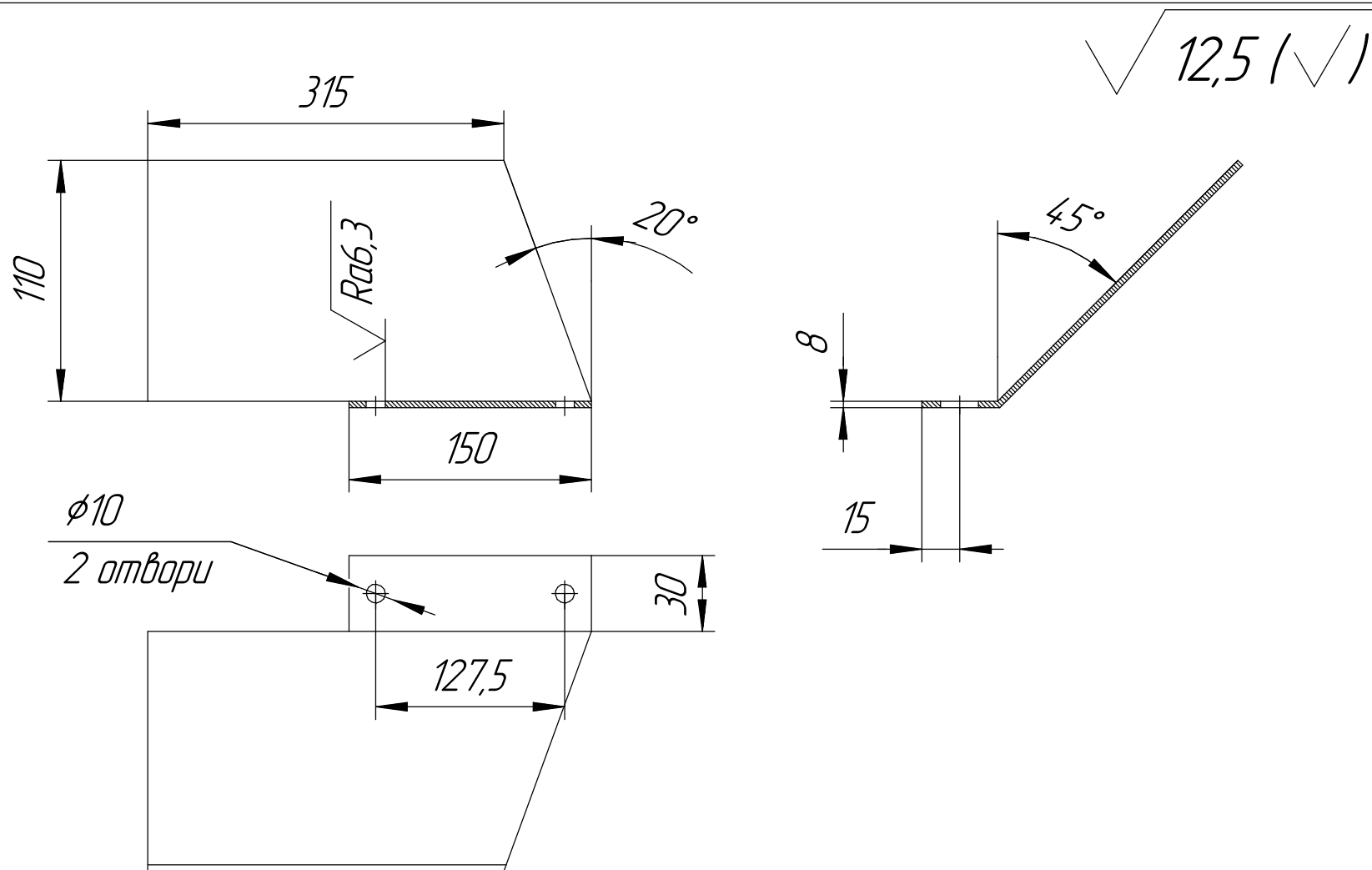
БІО117.7215002.001.01.01-10

Фланець

Літ.	Маса	Масштаб
		1:40
Аркуш	Аркушів	1

НТУУ "КПІ",
ФБТ, БІ-01

Формат А4



					БІО117.7215002.001.08.01-10			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Похила лопать	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Третьяков Я.О.						1:4
Перев.		Косова В.П.						
Т.контр.						Аркуш	Аркушів	1
Н.контр.						НТУУ "КПІ", ФБТ, БІ-01		
Затв.		Мельник В.М.				Формат А4		