

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії**

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2025р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код і назва)

на тему: «Лінія виробництва пектину з розробкою ферментеру»

Виконала: студентка 4 курсу, групи БІ-11

Пустошкіна Владилена Олександрівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник ст. викл. каф. біотехніки та інженерії Остапенко Ж.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, 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 – 2025року

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Лінія виробництва пектину з розробкою ферментеру»

Київ – 2025 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

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«___» _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Пустошкіній Владилені Олександрівні

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проєкту Лінія виробництва пектину з розробкою ферментеру, керівник проєкту Остапенко Жанна Ігорівна, ст. викл. Кафедри біотехніки та інженерії, затверджені наказом по університету від «___»____ 2025р.

№___

2. Термін подання студентом закінченого проєкту «10» червня 2025 р.

3. Вихідні данні до проєкту: Об'єм ферментера $V = 6,3 \text{ м}^3$; номінальний $6,3 \text{ м}^3$; робочий 4.7 м^3 . Коефіцієнт заповнення ферментера $\phi = 0,75$; Температура робочого середовища в середині ферментера $t_p = 45 \text{ }^\circ\text{C}$; Температура води що потрапляє до сорочки: на початку $t_n = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; в кінці $t_k = 42 \text{ }^\circ\text{C}$; Тип перемішувального пристрою – турбіна мішалка відкрита типу. Внутрішній діаметр ферментера – $D = 1,8 \text{ м}$. Число мішалок – 1; Частота обертання вала мішалки $n = 3,3 \text{ с}^{-1}$;

4. Зміст ПЗ, перелік завдань, що їх належить виконати: Вступ. 1. Призначення і область застосування. 1.1 Історичні данні про цільовий продукт, пектин. 1.2 Структура пектину. 1.3 Основні види пектину. 1.4 Обґрунтування вибору біологічного агенту та поживного середовища для його культивування. 1.4.1 Поживне середовище для культивування. 2. Технологія виробництва пектину. 2.1 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва пектину. 3. Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва пектину. 4. Патентний пошук. 4.1 Патентна документація. 4.1.2 Довідка про пошук. 5. Технічна характеристика апарату. 6. Розрахунки, що підтверджують працездатність

та надійність. 6.1 Розрахунок ферментеру. 6.1.1 Конструктивний розрахунок. 6.1.2 Розрахунок корпусу апарату на роботу під тиском. 6.2 Матеріальний баланс. 6.3 Розрахунок барботера. 6.4 Розрахунок змішуючого обладнання. 6.4.1 Розрахунок потужності привода мішалки. 6.5 Тепловий розрахунок. 6.6 Розрахунок теплового балансу і поверхні теплопередачі. 7. Вибір та розрахунок опори для ферментеру. 8. Комп'ютерне моделювання розрахункового ферментеру. 9. Рекомендація з монтажу та експлуатації. 9.1 Електробезпека та пожежна безпека. Висновки. Літературні джерела. Додатки

5. Список креслень і графічних матеріалів з зазначенням їхніх назв і форматів аркушів:

Ферментер складальне креслення (A1)- 1 штука. Апаратурна схема виробництва пектину (A1). Складальне креслення кришка (A2)-1 штука. Складальне креслення корпус (A2)-1 штука.

6. Консультанти розділів проєкту^{*}

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

7. Дата видачі завдання 10 лютого 2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Призначення та область застосування пектину. Технологія виробництва пектину	10.02.2025-28.02.2025	
2	Опис та обґрунтування вибору проектованої конструкції. Патентний пошук та огляд літератури	3.03.2025-8.03.2025	
3	Технічна характеристика апарату. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність	10.03.2025-15.04.2025	
4	Комп'ютерне моделювання ферментеру	20.04.2025-27.04.2025	
5	Рекомендації з монтажу та експлуатації. Електробезпека та пожежна безпека	28.04.2025-30.04.2025	
6	Креслення апаратурної схеми	1.05.2025-6.05.2025	
7	Креслення ферментера	8.05.2025-20.05.2025	
8	Креслення корпусу та кришки	22.05.2025-29.05.2025	
9	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2025-4.06.2025	

Студент

Пустошкіна В. О.

(ініціали, прізвище)

(підпис)

Керівник проєкту

Остапенко Ж. І.

(ініціали, прізвище)

(підпис)

Реферат

Дипломна робота на здобуття ступення бакалавру на тему: «Лінія виробництва пектину з розробкою ферментера»/ НТУУ «КПІ»; Керівник Остапенко Жанна Ігорівна, виконавець Пустошкіна Владилена Олександрівна .

Робота містить 69 сторінок пояснювальної записки, яка містить перелік скорочень ,умовних позначок та термінів, вступ, 9 розділів, 19 літературних джерел, 8 рисунків, 3 специфікації, 1 скандальне креслення формату А1, 1 апаратурна схема формату А1, 2 складальник креслень кришки та корпусу формату А2.

Мета дипломного проєкту полягає в розгляді лінії виробництва пектину. Основою лінії є ферментер для глибинного культивування мікроорганізмів, який дозволяє забезпечити високий рівень ефективності виробництва пектину та зменшити витрати на ресурси.

Методи дослідження — дослідження процесу виробництва пектину під час глибинного культивування та вивчення специфіки конструкції ферментерів, розрахунок та проєктування ферментера для отримання пектину з заданими характеристиками, а також побудова апаратурно-технологічної схеми виробництва.

Технологія виробництва пектину включає багатоступеневий процес, який охоплює підготовку сировини, екстракцію, ферментацію, фільтрацію, концентрування та сушіння. У розрахунках було підтверджено працездатність конструкції ферментера. На основі проведених розрахунків та досліджень було спроєктовано 3Д модель ферментеру. Розрахунки та креслення виконувалися згідно з діючими стандартами.

За результатами роботи опубліковано: одні тези доповіді на конференції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПЕКТИН, ФЕРМЕНТЕР, КУЛЬТИВУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО ПЕКТИНУ, ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ.

Referat

Bachelorarbeit zum Erwerb des akademischen Grades eines Bachelors zum Thema: "Pektinproduktionslinie mit Entwicklung eines Fermenters" / NTUU "KPI"; Betreuerin: Ostapenko Zhanna Ihorivna, Verfasserin: Pustoshkina Vladylena Oleksandrivna.

Die Arbeit umfasst 69 Seiten einer Erläuterungsschrift, die eine Liste von Abkürzungen, Symbolen und Begriffen, eine Einleitung, 9 Kapitel, 19 Literaturquellen, 8 Abbildungen, 1 Entwurfzeichnung im Format A1, 1 verfahrenstechnisches Schema im Format A1, sowie 2 Montagezeichnungen von Deckel und Gehäuse im Format A2 enthält.

Ziel des Bachelorprojekts ist die Untersuchung der Produktionslinie für Pektin. Das Herzstück dieser Linie ist ein Fermenter für die Submerskultivierung von Mikroorganismen, der eine hohe Effizienz der Pektinproduktion und eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs ermöglicht.

Forschungsmethoden — Untersuchung des Pektinherstellungsprozesses in der Phase der Submerskultivierung, Analyse der Konstruktionsmerkmale von Fermentern für biotechnologische Prozesse, Berechnung und Konstruktion eines Fermenters zur Herstellung von Pektin mit definierten Eigenschaften sowie Erstellung eines verfahrenstechnischen Schemas der Produktion.

Die Technologie zur Herstellung von Pektin umfasst einen mehrstufigen Prozess, der die Rohstoffvorbereitung, Extraktion, Fermentation, Filtration, Konzentrierung und Trocknung beinhaltet. In den Berechnungen wurde die Funktionsfähigkeit der Fermenterkonstruktion bestätigt. Auf Basis der durchgeführten Berechnungen und Untersuchungen wurde ein 3D-Modell des Fermenters entworfen. Die Berechnungen und Zeichnungen wurden gemäß den geltenden Normen erstellt.

Als Ergebnis der Arbeit wurde ein Konferenzbeitrag veröffentlicht.

SCHLÜSSELWÖRTER: PEKTIN, FERMENTER, KULTIVIERUNG, PEKTINHERSTELLUNG, LEBENSMITTELINDUSTRIE.

Зміст пояснювальної записки

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів	9
Вступ.....	11
1. Призначення та область застосування пектину.	13
1.1 Історичні данні про цільовий продукт, пектин.	14
1.2 Структура пектину.	15
1.3 Основні види пектину.	16
1.4 Обґрунтування вибору біологічного агенту та поживного середовища для його культивування	20
1.4.1 Поживне середовище для культивування	21
2. Технологія виробництва пертину.	23
2.1 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва пектину.	26
3. Опис та обґрунтування вибору проектованої конструкції.	28
4. Патентний пошук та огляд літератури.....	32
4.1 Патентна документація.....	32
4.1.2 Довідка про пошук	33
5. Технічна характеристика апарату.....	34
6. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції.	35
6.1 Вихідні дані:	35
6.1 Розрахунок ферментеру.....	36
6.1.1 Конструктивний розрахунок.....	36
6.1.2 Розрахунок корпусу апарату на роботу під тиском.....	38
6.2 Матеральний баланс	40
6.3 Розрахунок барботера	41
6.4 Розрахунок змішуючого обладнання	43
6.4.1 Розрахунок потужності привода мішалки	45
6.5 Тепловий розрахунок.....	45

					БП 109.60521.000.-20 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лінія виробництва пектину з розробкою ферментеру	Лит.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Пустошкіна В.О.						
Перевірів		Остапенко Ж.І.					7	69
Т. Контр.						КПІ імені Ігоря Сікорського БІ-11		
Н. Контр.								
Затверд.		Мельник В.М.						

6.6 Визначення площі поверхні теплопередачі та теплового балансу	46
7. Вибір та розрахунок опори для ферментеру.	50
8. Комп'ютерне моделювання розрахункового ферментеру.	52
9. Рекомендація з монтажу та експлуатації.	56
9.1 Електробезпека та пожежна безпека.....	58
Висновок	60
Літературні джерела.....	63
Додаток А	
Додаток Б	

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

α -1,4-глікозидний зв'язок — тип ковалентного хімічного зв'язку між молекулами галактуранової кислоти в ланцюгах пектину.

Aspergillus niger — гриб, що використовується у виробництві ферментів (зокрема пектинази) для ферментації пектину.

CFU — colony forming units — колонієутворюючі одиниці, міра кількості життєздатних мікроорганізмів.

D — внутрішній діаметр ферментера, м.

E440 — код пектину в системі класифікації харчових добавок ЄС.

H — висота ферментера, м

НМ пектин — високоетерифікований пектин (High Methoxyl Pectin), утворює гель за наявності цукру й кислоти.

K — коефіцієнт запасу міцності, безрозмірна величина.

ЛМ пектин — низькоетерифікований пектин (Low Methoxyl Pectin), утворює гель за наявності кальцію, без потреби в цукрі.

МП01-30 — тип електродвигуна, що використовується у конструкції ферментера.

n — кількість мішалок, шт

НН пектин — спеціалізований пектин з низьким ступенем метилювання, має термічну оборотність, стійкий до переплавлення.

pH — показник кислотності або лужності водного розчину.

PR — розрахунковий внутрішній тиск у ферментері, Па.

Q — теплове навантаження на ферментер, Вт.

S — виконавча (розрахункова) товщина стінки апарата, мм.

t_k — кінцева температура, °C.

$t_{пм}$ — температура поживного матеріалу, °C.

$t_{пс}$ — температура поживного середовища, °C.

t_p — початкова температура, °C.

V — загальний або робочий об'єм реактора чи ферментера, м³.

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$X_{\text{ср}}$ — середня щільність посівної культури в ферментері.

z — швидкість обертання валу мішалки, с^{-1} .

τ (тау) — тривалість процесу, наприклад змішування, год.

σ (сигма) — допустиме напруження для матеріалу конструкції, МПа.

ρ (ро) — густина рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

США — Сполучені Штати Америки.

Ф-11 — фільтрпрес, апарат для очищення розчинів під тиском.

СШ-14 — сушильна установка, призначена для зневоднення пектину.

В-12 — роторно-плівковий випарний апарат, використовується для концентрування пектинових розчинів.

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

У сучасному світі, де зростає попит на натуральні та екологічно безпечні продукти, все більша увага приділяється використанню природних хімічних сполук, що містяться у фруктах і овочах. Серед таких компонентів важливе місце займає пектин — природний полісахарид, який має широкий спектр корисних властивостей. Пектин, завдяки своїй здатності утворювати гелі, є незамінним інгредієнтом у харчовій промисловості, зокрема в кондитерському виробництві, де його застосовують для виготовлення мармеладів, пастил, зефіру, конфітурів, а також в кетчупах, майонезах, сирах та фруктових морозивах. Крім того, пектин активно використовується в медицині як обволікаючий і протизапальний агент, а також в косметології для виготовлення зволожуючих і регенеруючих кремів і гелів.

Попит на натуральні добавки, що відповідають вимогам здорового харчування, невідпинно зростає, і в цьому контексті пектин відіграє все більш важливу роль не лише в харчовій промисловості, але й у фармацевтиці, де його використовують для створення дієтичних добавок та ліків. Додатково, пектин має потенціал у сільському господарстві, де його використовують як натуральний пестицид та для покращення якості ґрунтів, що робить його ще більш універсальним продуктом.

Незважаючи на високий попит і широке застосування пектину, технології його виробництва залишаються в процесі постійного вдосконалення. Оскільки пектин отримують переважно з плодів цитрусових та яблук, процес екстракції і очищення є складним і потребує значних енергетичних затрат та використання хімічних реагентів. Впровадження інноваційних методів екстракції, зокрема за допомогою ферментаційних процесів, дозволяє зменшити потребу в хімікатах і знизити енергетичні витрати. У свою чергу, це позитивно впливає на економічну ефективність виробництва і знижує екологічний вплив процесу.

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із важливих напрямків вдосконалення виробничих ліній є розробка спеціалізованих ферментерів, які дозволяють оптимізувати процес ферментації пектину. Підвищення ефективності ферментаційного процесу шляхом точного контролю таких параметрів, як температура, рН та час витримки, дає можливість значно підвищити вихід пектину і забезпечити більш стабільну якість кінцевого продукту. Крім того, такі технології дозволяють знизити виробничі витрати, зменшити використання води та енергії, що є важливим кроком на шляху до сталого розвитку.

Розробка нових ферментерів з інтегрованими автоматизованими системами контролю процесу також відкриває нові перспективи для створення високоякісного пектину, що відповідає вимогам сучасних стандартів харчової безпеки та екологічних норм. Крім того, такі інноваційні підходи можуть допомогти зменшити витрати на обробку сировини і забезпечити більш високу ефективність на всіх етапах виробництва, починаючи від екстракції і закінчуючи упаковкою готової продукції.

Таким чином, розробка ліній виробництва пектину з акцентом на вдосконалення технологій ферментації та використання спеціалізованих ферментерів є важливим кроком на шляху до забезпечення високоякісної продукції, що відповідає вимогам сучасного ринку і стандартам екологічної безпеки. Це є особливо актуальним в умовах зростаючого попиту на натуральні, безпечні та ефективні добавки у різних галузях, від харчової промисловості до фармацевтики та косметології.

1. Призначення та область застосування пектину.

Пектин (від грецького слова *pektos*, що означає "затверділий, застиглий") є складним полісахаридом, що належить до групи розчинних харчових волокон, і є важливим елементом клітинних стінок рослин. Головною складовою пектину є галактуронова кислота, що утворює молекулярні ланцюги, здатні поглинати воду, що надає йому важливі функціональні властивості. Пектин має здатність утворювати гелі у присутності цукру та кислоти, що робить його незамінним інгредієнтом у виготовленні різноманітних харчових продуктів, де потрібна консистенція гелю або загущення.

Зазвичай пектин добувають із таких фруктів, як яблука та цитрусові, зокрема апельсини і лимони. Також пектин можна отримувати з деяких ягід, таких як полуниця і чорниця. Окрім цього, пектин може бути видобутий і з інших рослинних джерел, наприклад, з цукрового буряка, що є важливим для різноманітних виробничих процесів. В Європейському Союзі пектин позначають як харчову добавку з номером E440, що є міжнародним стандартом для цієї речовини. Також пектин має свій CAS-номер 9000-69-5, який є ідентифікатором цього полісахариду в науковій та промисловій сферах.

Завдяки своїм здатностям до утворення гелів, пектин знайшов широке застосування в харчовій промисловості, де він активно використовується для виготовлення джемів, желе, мармеладів і різних фруктових консервів. Цей компонент також використовується для виробництва десертів, соусів та напоїв, додаючи їм необхідної текстури. Завдяки своїм властивостям пектин не тільки служить для загущення, але й сприяє збереженню природного смаку та кольору продуктів, що робить його важливим інгредієнтом у багатьох харчових продуктах.[2]

					БІІІ109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1 Історичні данні про цільовий продукт, пектин.

Пектин був вперше виявлений і описаний французьким хіміком, ботаніком і фармацевтом Анрі Браконно в 1825 році. У той час пектин був відомий лише як складова яблучної вичавки, і використання його як загущувача було обмеженим. Згодом, у США, почали виготовляти пектин більш систематично, і цей продукт поступово здобув популярність на міжнародному рівні. Під час промислової революції, коли вироби з фруктів стали масово вироблятися, виробники фруктових консервів звернулися до підприємців, які виробляли яблучний сік, щоб отримати висушений яблучний жом для вилучення пектину.[3]

Цей процес став основою для промислового виробництва пектину. У 1920-х і 1930-х роках, з розвитком технологій, в багатьох країнах були побудовані спеціалізовані заводи, що виробляли пектин у великих масштабах. Спочатку пектин був доступний у вигляді рідкого екстракту, що використовувався в харчовій промисловості, але з часом він став доступним у вигляді сухого порошку, що значно полегшило його транспортування, зберігання і обробку.[4]

Сьогодні пектин є важливим продуктом, широко використовуваним у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості. Завдяки сучасним технологіям екстракції пектин можна отримувати не лише з яблук і цитрусових, а й з інших рослинних джерел, що забезпечує стабільність виробництва і зменшує залежність від конкретних культур.

Основні центри виробництва пектину сьогодні розташовані в таких країнах, як Китай, Бразилія, Мексика, Південна Африка та Європа. Зокрема, зростає попит на органічний пектин, оскільки цей продукт є натуральним і не містить хімічних добавок, що робить його привабливим для споживачів, які шукають екологічно чисті продукти.

Важливу роль у світовому виробництві відіграє найбільший у світі пектиновий завод Kobenhagen Pektinfabrik, розташований у Данії. Друге за

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обсягом виробництва місце займає німецька компанія «Herbstreith & Fox KG».[5] В Україні виробництво пектину поступово розвивається. Завдяки великій кількості яблуневих садів в країні, основною сировиною для пектину є саме яблука. Українські підприємства почали застосовувати сучасні технології для виготовлення пектину, що дозволяє покращити якість продукту і збільшити обсяги виробництва. В останні роки зростає попит на органічний пектин, і українські виробники також почали орієнтуватися на цей сегмент, що відкриває нові можливості для експорту.

Окрім того, активно розробляються нові варіанти пектину з удосконаленими властивостями, такими як підвищена гелеутворювальна здатність або здатність утворювати гелі при низьких температурах. Це відкриває нові можливості для використання пектину в різних сферах, де раніше використовувалися інші загущувачі. Завдяки цьому пектин залишається популярним і затребуваним на ринку.

1.2 Структура пектину.

Пектин є складним полісахаридом, що складається з лінійних полімірних ланцюгів, які утворюються з частково естерифікованих залишків D-галактуронової кислоти, званих пектиновими кислотами, а також з гетерополісахаридів, ланцюги яких містять не тільки D-галактуронову кислоту, але й моноцукри, такі як D-галактоза, L-рамноза та L-арабіноза, що утворюють пектові кислоти. Лінійні ланцюги пектинових кислот складаються з 200 до 1000 молекул галактуронової кислоти, з'єднаних між собою α -1,4-глікозидними зв'язками. Ступінь естерифікації пектину, тобто кількість метильних груп, що прикріплені до молекул галактуронової кислоти, визначає його тип. Якщо естерифікація метиловим спиртом перевищує 50 %, то такий пектин вважається високоестерифікованим (H-pectin). Якщо естерифікація становить менше 50 %, то пектин класифікується як низькоестерифікований (L-pectin).(рис. 1, 2) Пектова кислота є варіантом пектину, у якому процес

					БІІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

естерифікації завершений, тобто всі метильні групи були видалені, і вона є повністю деметоксильованою. [6]

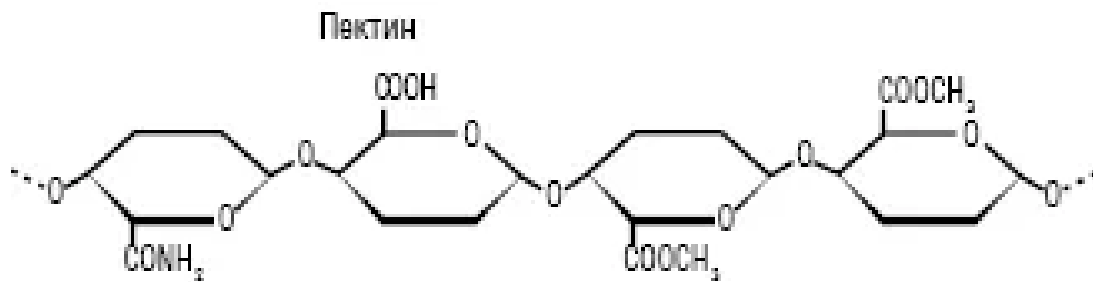


Рис. 1 Фрагмент формули пектину.



Рис. 2 Пектин (пектинові сполуки)[7]

1.3 Основні види пектину.

Пектин зазвичай класифікують на основі його ступеня метилювання (Degree of Methylation, DM), який відображає частку естерифікованих одиниць галактуронової кислоти відносно загальної кількості одиниць галактуронової кислоти в молекулі пектину. Цей показник має вирішальне значення для характеристик пектину, особливо його здатності утворювати гелі та розчинятись у воді. Від ступеня метилювання залежить, чи буде пектин формувати гель при наявності цукру, кислоти або інших факторів.

Види пектину:

1. Високий метоксил пектин (HM Pectin):

Високий метоксил пектин (HM Pectin) — це тип пектину з високим ступенем естерифікації, який утворює гель у присутності цукру та кислоти. Цей пектин потребує високої концентрації цукру та низького рН (кислі умови) для

утворення гелю. Він широко застосовується в традиційних рецептах варення, джемів і желе, де ці умови є оптимальними.

Механізм утворення гелю відбувається через взаємодію пектину з цукром і кислотою, що дозволяє створювати стабільну гелеподібну консистенцію. Завдяки цьому, НМ пектин ідеально підходить для продуктів з високим вмістом цукру та кислотністю.

Застосування:

- 1. Варення, джеми, желе — основне використання НМ пектину для виготовлення продуктів з високим вмістом цукру.
- 2. Кондитерські вироби — мармелад, пастила, зефір та інші солодоці.

Переваги: Стабільність текстури. Ідеальний для класичних солодких продуктів.

Обмеження:

Пектин менш ефективний для продуктів з низьким вмістом цукру, де для утворення гелю потрібні інші типи пектину, наприклад, низькометоксильний пектин.

2. Пектин з низьким вмістом метоксилу (LM Pectin):

Пектин з низьким вмістом метоксилу (LM Pectin) — це тип пектину, який має менший вміст метоксильних груп (метильованих), порівняно з високим метоксил пектином (НМ Pectin). Ці метоксильні групи зазвичай забезпечують здатність пектину утворювати гелі при взаємодії з цукром і кислотами.

Натомість LM пектин має іншу структуру, що дозволяє йому утворювати гелі при наявності іонів кальцію, а не цукру та кислоти. Це робить LM пектин особливо корисним для виробництва продуктів з низьким вмістом цукру або без цукру, таких як джеми, желе, мармелад і інші кондитерські вироби, де важлива низька калорійність та зниження рівня цукру.

Завдяки своїй здатності гелювати в присутності кальцію, LM пектин активно використовується для створення продуктів з низьким глікемічним індексом. Він не тільки знижує вміст цукру в продуктах, але й підтримує текстуру та консистенцію, що є важливим для задоволення потреб людей, які стежать за своїм харчуванням або мають обмеження у споживанні цукру, наприклад, для діабетиків або тих, хто дотримується дієт з низьким вмістом вуглеводів.

LM пектин також часто застосовується у виробництві дієтичних та функціональних продуктів харчування, оскільки він здатний забезпечити необхідну структуру без додавання значних кількостей цукру. Це дозволяє виготовляти продукти, які мають менший вплив на рівень цукру в крові та підтримують здоров'я, при цьому зберігаючи приємний смак і консистенцію.

3. Яблучний пектин:

Яблучний пектин — це природний полісахарид, який отримують із яблук. Зазвичай він продається у вигляді порошку і має широкий спектр застосувань завдяки своїм універсальним властивостям загусника та гелеутворювача. Оскільки яблучний пектин має високу здатність до утворення гелів, він активно використовується в харчовій промисловості, зокрема для виробництва джемів, желе, мармеладів та інших кондитерських виробів, а також у продуктах з низьким вмістом цукру або без нього.

Окрім своїх харчових застосувань, яблучний пектин має важливе місце у фармацевтичній та медичній промисловості. Він використовується у виготовленні жувальних продуктів, таких як льодяники для горла, а також входить до складу різноманітних харчових добавок і препаратів, призначених для поліпшення функції травної системи. Його здатність до утримання води та формування гелів робить його корисним у виготовленні продуктів, які повинні мати певну консистенцію та форму.

Поживний профіль яблучного пектину також вартий уваги, оскільки він містить значну кількість харчових волокон, які важливі для нормалізації роботи кишечника, а також вуглеводи, які можуть забезпечувати енергію.

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, яблучний пектин багатий на мінерали, такі як натрій, мідь і цинк, які відіграють важливу роль у підтримці нормальної роботи організму.

Яблучний пектин є також популярним у виробництві органічних продуктів завдяки своїм натуральним властивостям. Він не містить штучних добавок і є екологічно чистим продуктом, що робить його ідеальним вибором для тих, хто шукає натуральні та здорові альтернативи у своїй дієті та продуктах.

4. NH пектин:

NH пектин — це спеціалізований підтип пектину з низьким вмістом метоксилу (LM), який здебільшого отримують із яблук. Цей тип пектину має унікальний модифікований склад, що робить його ідеальним для використання в певних виробничих процесах, таких як виготовлення фруктових глазурей, начинок, а також в інших кондитерських виробках, де необхідна висока стабільність консистенції.

Особливістю NH пектину є його термічна оборотність. Це означає, що пектин здатен проходити цикли плавлення, затвердіння, переплавлення та відновлення. Така здатність дозволяє зберігати основні властивості продукту навіть після багаторазових змін температури, що є важливим для застосувань, де потрібно часто змінювати консистенцію продукту без втрати його якості. Наприклад, NH пектин може бути використаний у виробництві глазурей, які вимагають певної текстури та стабільності під час зберігання, а також у випадках, коли глазур або начинка повинні зберігати свою форму під час термічної обробки або охолодження.

Завдяки своїм властивостям, NH пектин активно застосовується в кондитерській та харчовій промисловості, особливо в умовах, коли потрібен точний контроль над текстурою продукту. Його здатність адаптуватися до різних температурних умов робить його важливим інгредієнтом для виготовлення продуктів, які повинні залишатися стабільними в умовах зміни температури, що робить його незамінним в рецептурах, що включають кілька етапів термічної обробки.[1]

Таким чином, пектин є дуже різноманітним продуктом, що використовується в різних формах залежно від його складу та особливостей. Розробка нових видів пектину з адаптованими властивостями відкриває нові можливості для інноваційних рішень у харчовій промисловості, фармацевтиці та навіть у косметичних засобах.

1.4 Обґрунтування вибору біологічного агента та поживного середовища для його культивування

Процес ферментації пектину є важливим етапом у виробництві пектинових продуктів, що використовуються у харчовій та фармацевтичній промисловості. Для успішного здійснення цього процесу необхідно правильно вибрати біологічного агента, здатного ефективно розщеплювати пектин, а також розробити оптимальне поживне середовище для його культивування. Вибір мікроорганізму та складу поживного середовища суттєво впливає на швидкість та ефективність ферментації, що визначає економічну доцільність виробництва.

Вибір біологічного агента

Основними мікроорганізмами, які використовуються для ферментації пектину, є гриби, здатні продукувати пектинази — ферменти, що розщеплюють пектин на складові частини, які можуть бути використані для подальших технологічних процесів. Найбільш ефективним агентом для цієї мети є гриб *Aspergillus niger*, що широко застосовується в промисловості завдяки своїй високій здатності до продукування пектинази. Цей вид гриба має низку переваг, зокрема високу швидкість росту, стійкість до змін температури та pH, а також здатність до синтезу великої кількості ферментів при культивуванні в різних середовищах.

Іншим біологічним агентом, що може використовуватися в процесах ферментації пектину, є гриби роду *Penicillium*. Наприклад, *Penicillium expansum* також здатний продукувати пектиназу, проте його ферментативна активність є дещо меншою порівняно з *Aspergillus niger*. Тому *Penicillium*

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частіше використовується в комбінації з іншими мікроорганізмами для досягнення максимального ефекту. Варто зазначити, що вибір конкретного біологічного агента залежить від специфічних умов виробництва, таких як температура, рН, а також економічна доцільність використання того чи іншого мікроорганізму.

Не менш важливою є здатність мікроорганізмів витримувати процеси ферментації при високих концентраціях пектину, а також здатність до оптимальної активності ферментів протягом тривалого часу. Тому для досягнення високих показників ефективності ферментації важливо обирати мікроорганізми, що здатні тривалий час підтримувати свою активність при умовах, характерних для виробничого процесу.[8]

1.4.1 Поживне середовище для культивування

Для забезпечення високої активності біологічного агента необхідно створити поживне середовище, яке буде оптимальним для його росту та виробництва пектинази. Поживне середовище повинно включати в себе основні макро- та мікроелементи, які сприяють розвитку мікроорганізмів і стимулюють їхню активність.

Основним джерелом вуглецю для мікроорганізмів, що використовуються у процесі ферментації пектину, є сам пектин. Пектин є полісахаридом, який міститься в рослинних тканинах, і є основним субстратом для ферментативного розщеплення. Однак для покращення росту і підвищення ефективності ферментації в поживне середовище можуть бути додані додаткові вуглецеві джерела, такі як глюкоза або сахароза. Це сприяє швидкому росту мікроорганізмів і стимулює підвищене виробництво ферментів.

Азот є важливим компонентом середовища, оскільки він є необхідним для синтезу білків і ферментів. Азотні джерела, такі як амоній сульфат або амоній хлорид, використовуються для забезпечення нормального росту

					БІІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроорганізмів та підтримки їх життєдіяльності. Кількість азоту повинна бути оптимальною, оскільки надлишок або нестаток азоту може негативно вплинути на активність ферментів.[9]

Мікроелементи, такі як магній, калій, кальцій, залізо, цинк, сприяють нормальному функціонуванню ферментативних систем мікроорганізмів і стимулюють активність пектинази. Наприклад, магній є важливим компонентом для стабільності структур ферментів, а залізо необхідне для функціонування деяких ферментних систем, що залучені до процесу розщеплення пектину.

Для підтримки оптимального рН середовища (5.0-6.5), що є найбільш сприятливим для росту *Aspergillus niger*, використовуються буферні системи. Це забезпечує стабільність умов культивування і дозволяє підтримувати активність ферментів на високому рівні протягом усього процесу ферментації.

Склад поживного середовища для культивування *Aspergillus niger* включає:

- Пектин як основне джерело вуглецю,
- Глюкоза або сахароза для стимуляції росту,
- Амоній сульфат або амоній хлорид для забезпечення азотом,
- Магній сульфат, залізо, калію ортофосфат для мікроелементів.

2. Технологія виробництва пектину.

Виробництво пектину є багатоступінчастим процесом, що включає екстракцію фільтрування, центригування, очищення, концентрування, подрібнення та сушку. Технологія може варіюватися залежно від джерела сировини та типу пектину, але загальні етапи залишаються однаковими.

На схемі 1 представлена схема промислового отримання пектину.

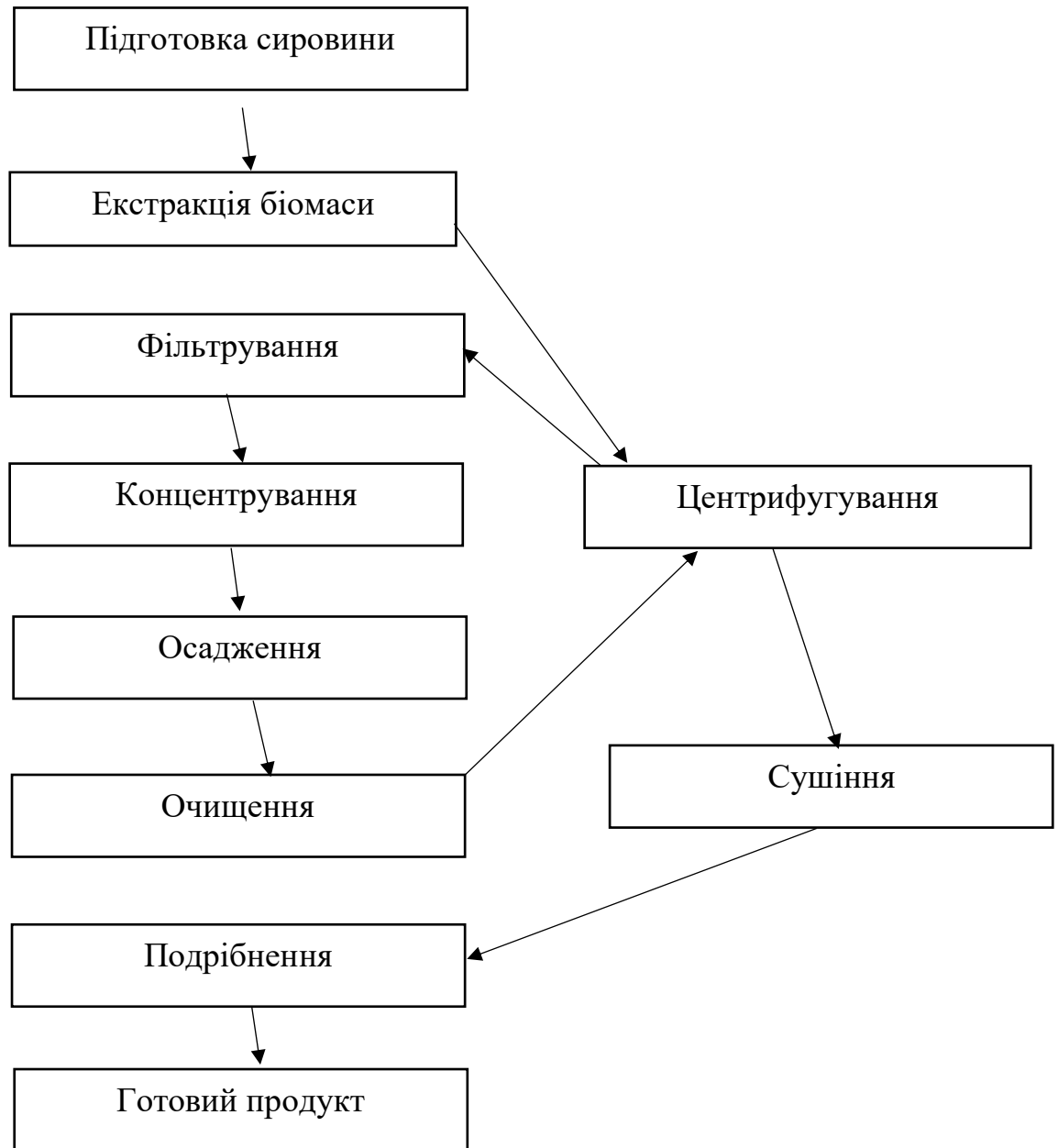


Схема 1. Узагальнена схема промислового отримання пектину.

Найбільш поширені джерела пектину — це яблука та шкірка цитрусових, оскільки ці фрукти містять велику кількість пектинових речовин, особливо у незрілому стані.

- Підготовка сировини включає кілька операцій: очищення, різання та подрібнення, видалення насіння та шкірки.
- Екстракція пектину з рослинної сировини є основним етапом виробництва. Пектин міститься в клітинних стінках рослин у вигляді зв'язків з іншими полісахаридами, а також з целюлозою та лігніном. Процес екстракції полягає в розриві цих зв'язків за допомогою кислотного середовища.
- Отримана суміш фільтрується для видалення великих твердих часток (клітковини, непотрібних залишків). Це забезпечує чистоту рідкої фази, що містить пектин.
- Фільтрований розчин піддається випаровуванню для зменшення об'єму рідини та збільшення концентрації пектину. На цьому етапі видаляється надлишкова вода.
- Для подальшого виділення пектину до розчину додають спирт (наприклад, етанол). Це призводить до випадання пектину в осад, що спрощує його подальше виділення.
- Осаджений пектин відділяється від рідин за допомогою центрифугування. Цей процес значно підвищує ефективність розділення і забезпечує отримання більш чистого продукту.
- Осаджений пектин промивається та очищується для видалення залишкових домішок, включаючи залишки розчинників і сторонніх компонентів.
- Очищений пектин висушується для досягнення необхідної вологості. Це важливо для тривалого зберігання продукту.

- Сухий пектин подрібнюється до порошкоподібного стану або гранул, що зручно для транспортування та використання в харчовій, фармацевтичній чи інших галузях.
- На виході отримують пектин у вигляді порошку або гранул, який готовий до фасування або використання в різних виробництвах, зокрема в харчовій промисловості як загусник, стабілізатор або гелеутворювач.

Ця послідовність дій забезпечує ефективність виробництва пектину, мінімальні втрати та високу якість кінцевого продукту.[10]

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва пектину.

На рис. 3 зображено апаратурно-технологічна схема виробництва пектину. Детально розглянемо кожен апарат в цій схемі.

В бункер Б-1 засипаються яблука, які подаються на мийку М-3 за допомогою транспортера Т-2, при цьому з транспортера відбираються погані яблука. Далі яблука подаються на соковижималку С-4, де отримується сік, який подається в ємність Є-5 і далі поступає лінією виробництва соку, та вичавки, які разом з водою надходять у роторно-пульсаційний апарат РПА-6 в співвідношенні 1:2,6, де забезпечується текучість суміші. Отриману суміш обробляють методом кавітації до досягнення візуально однорідної консистенції, що зазвичай займає близько 4-6 хвилин. Потім екстракційну суміш переливають у збірник З-7, нагрівають до температури 85-92 °С і підтримують цю температуру протягом однієї години за допомогою пари.

Потім суміш надходить у ферментаційну установку Ф-8. В неї ж подають з інокулятора І-9 культуру мікроорганізму *Bacillus macerans*. Ферментація здійснюється за температури 40-50°С на протязі 12 годин. Після її завершення концентрат направляють у ємність Є-10. Після чого подається на фільтрпрес Ф-11, де фільтрація здійснюється при тиску 2-2,5 атм. Отриманий фільтрат подається у роторно-плівковий випарний апарат В-12, де відбувається концентрування розину. Після цього концентрат за допомогою насоса Н-13 направляють у сушильну установку СШ-14.

Сушіння проводиться при температурі 60-70 °С. Перед подачею повітря до сушильної установки воно проходить підготовку: повітря з повітрязбірника ПЗ-21 фільтрується через фільтр Ф-22 і, за допомогою вентилятору В-23, подається в калорифер К-24 для підігріву.

По завершенню процесу сушіння продукт подається за допомогою повітрязбирача ПЗ-25 у розвантажувальний циклон ЦР-27, де здійснюється сепарація порошку від повітряного потоку. Відділений порошок накопичується у збірнику З-29, після чого готовий матеріал направляється на

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

етап фасування. Повітря, задіяне у сушарці, надалі піддається очищенню. Після проходження через сушарку СШ-14 воно потрапляє до очищувального циклону ЦО-15, де відокремлюються тверді частинки готового продукту. Готовий продукт надходить у розвантажувальний циклон, а повітря за допомогою вентилятора В-16 спрямовується до скрубера С-17, де здійснюється вологе очищення, і після проходження через фільтр Ф-18, воно виводиться в атмосферу. Аналогічний етап очищення здійснюється для повітря, що застосовувалося при транспортуванні готового продукту зі сушарки СШ-14 к розвантажувальному циклону ЦР-27. Також схема зображена у додатку.

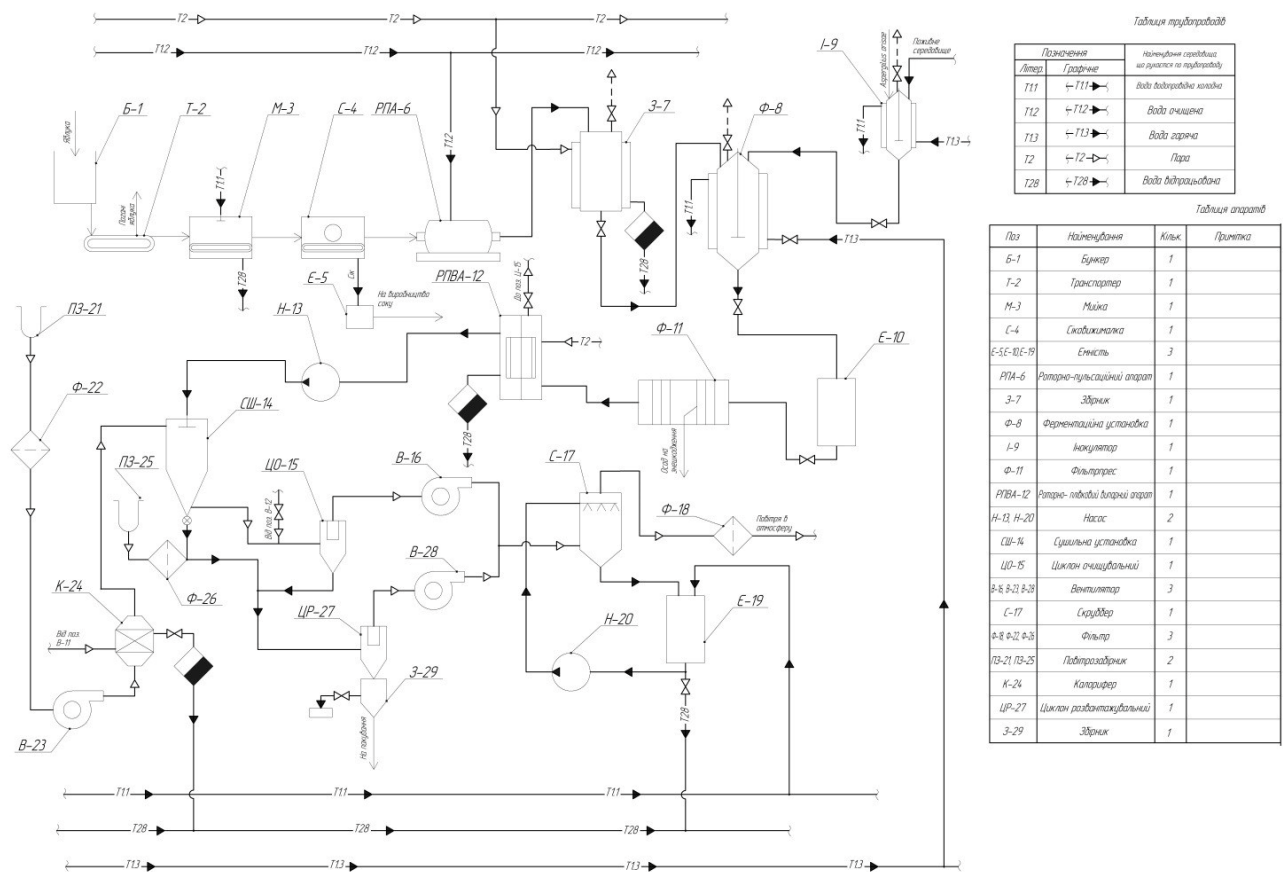


Рис. 3 Апаратурно-технологічна схема виробництва пектину.

3. Опис та обґрунтування вибору проектованої конструкції.

Ферментер (також відомий як біореактор або культиватор) — це спеціалізований апарат, що забезпечує оптимальні умови для біохімічних процесів, таких як ферментація та культивування мікроорганізмів, клітин або біокатализаторів у керованих умовах. Глибинне культивування мікроорганізмів є одним із найважливіших промислових методів мікробного синтезу, де мікроорганізми розвиваються у рідкому середовищі всередині ферментера. У таких процесах відбувається виробництво біологічно активних речовин — антибіотиків, ферментів, амінокислот, біопрепаратів тощо.[11]

На відміну від природних біореакторів (водойм чи калюж), ферментери забезпечують повний контроль параметрів середовища, таких як температура, рН, концентрація кисню, тиск, а також подача поживних речовин і перемішування середовища. Це дозволяє досягти максимальної продуктивності та якості кінцевого продукту.

Класифікація ферментерів за умовами культивування

Ферментери поділяються залежно від типу культивування:

1. Аеробне культивування — вимагає постійного постачання кисню, який розчиняється у середовищі.
2. Анаеробне культивування — відбувається без доступу кисню.

Для аеробного глибинного культивування важливим є ефективне перемішування і подача кисню, що забезпечує оптимальні умови для розвитку мікроорганізмів.

Класифікація ферментерів за способом подачі енергії для перемішування

1. Ферментери з подачею енергії через газову фазу. У таких системах газ (зазвичай повітря або кисень) вводиться в середовище для барботажу, аерліфтингу або пульсації. Цей метод забезпечує необхідну аерацію та перемішування.
2. Ферментери з подачею енергії через рідку фазу. Перемішування забезпечується механічними пристроями, такими як мішалки,

струменеві аератори чи ежектори. Це дозволяє досягти рівномірного розподілу поживних речовин та кисню по всьому об'єму рідини.

3. Комбіновані ферментери. Поєднують газову та рідку фази для забезпечення максимальної ефективності перемішування й аерації. Такі ферментери використовуються у випадках, коли потрібне інтенсивне перемішування та рівномірний розподіл компонентів.

Газорідинні ферментери: особливості конструкції

Газорідинні ферментери є найпоширенішими в промисловості та класифікуються за способом розпорошення газу на:

- Ферментери з механічним диспергуванням газу — газ розпорошується у середовищі за допомогою мішалок або інших перемішувальних пристроїв.
- Аерліфтні ферментери — газ подається через газорозподільні пристрої, створюючи циркуляцію рідини за рахунок різниці тисків.
- Струминні ферментери — газ вводиться через інжекційні сопла під тиском і розпорошується спеціальними насадками.

Ферментери з механічним перемішуванням є найбільш популярними завдяки їх ефективності в контролі аерації, температури і рівномірного розподілу поживних речовин. Вони дозволяють підтримувати високу інтенсивність обміну речовин між клітинами та середовищем.

Ферментери з механічним перемішуванням оснащені спеціальними пристроями для перемішування середовища (мал. 4), що дозволяє:

- Рівномірно розподіляти кисень та поживні речовини по всьому об'єму.
- Запобігати утворенню зон застою, що можуть знижувати продуктивність процесу.
- Підтримувати однорідну температуру середовища.
- Видаляти надлишок газів, що можуть накопичуватися під час метаболічної активності мікроорганізмів.

Є різні типи мішалок, саме мішалка— це механізми, які перемішують рідину всередині реактора. Існує кілька типів мішалок:

- Лопаткові мішалки — прості та ефективні для перемішування рідин середньої в'язкості.
- Турбінні мішалки — забезпечують інтенсивне перемішування та аерацію, часто використовуються у процесах з високою потребою в кисні.
- Гвинтові мішалки — застосовуються для рідин із високою в'язкістю.

Переваги ферментерів з перемішуючим пристроєм

- Ефективне перемішування — підтримується рівномірна концентрація поживних речовин і кисню.
- Інтенсифікація процесів — підвищується швидкість росту мікроорганізмів завдяки оптимальним умовам.
- Контроль параметрів — дозволяє точно регулювати температуру, тиск і аерацію середовища.
- Гнучкість у застосуванні — можуть використовуватися як для аеробного, так і для анаеробного культивування з різними культурами мікроорганізмів. [12]

Таким чином, ферментери з механічним перемішуванням є універсальними і високоефективними апаратами для промислового глибинного культивування мікроорганізмів, оскільки вони забезпечують точний контроль над усіма критичними параметрами середовища, необхідними для успішного біосинтезу.

ГОСТ 20680-75 визначає десять варіантів виконання вертикальних апаратів з перемішуючими пристроями, що відрізняються за формою кришки, днища та конструкцією мішалок [13].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ

Арк.

30

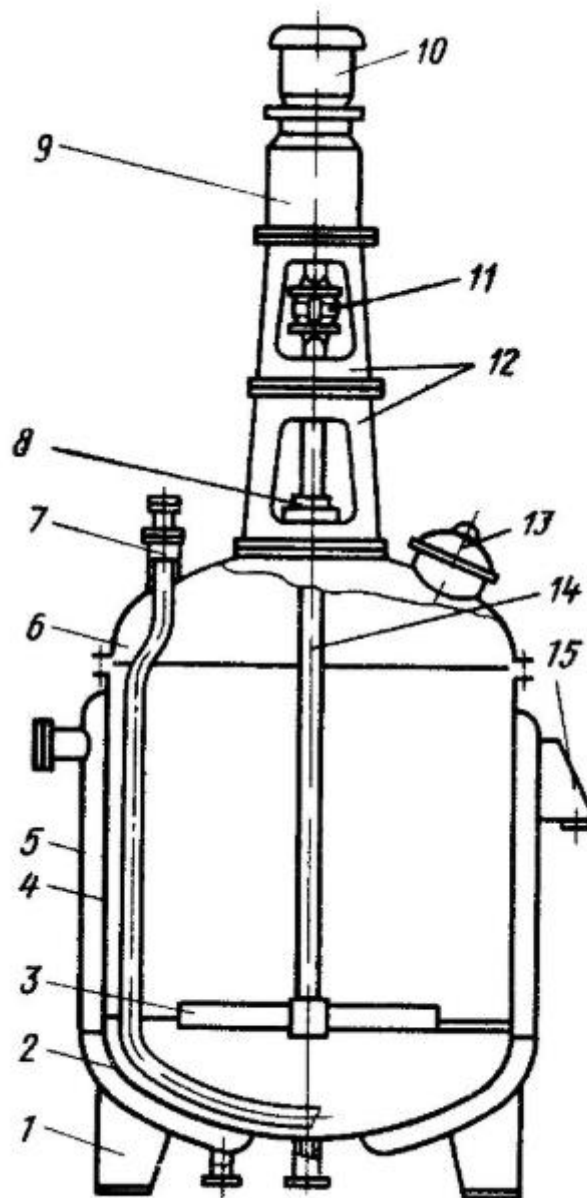


Рис. 4 Ферментер с перемешующим пристором

Днище 2 , мішалка 3, корпус 4, сорочки 5 , кришки 6, , вступні і вивідні
штуцери 7, опори (стійка 1 або лапи 15), електродвигун 10,
редуктор 9, стійка 12, муфта 11, ущільнення 8, вертикальний вал 14, на
якому укріплена мішалка 3, люк 13. [14]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БІІ109.60521.000.-20 ПЗ

Арк.

31

4. Патентний пошук та огляд літератури

4.1 Патентна документація

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № БІ11.0960421-20 РП

Найменування: Ферментер.

Шифр теми: БІ11.0960421.000

Етап: Проектування апарату та його складових частин

Номер та дата завдання на проведення патентних досліджень:

№ БІ11.0960421.000, 10.05.2025 р.

Обґрунтування регламентного пошуку:

Предмет пошуку – Ферментери.

(Об’єктом пошуку є винаходи та корисні моделі)

Держави пошуку: Україна, США

Регламент пошуку: 2000-2025

Розпочаток пошуку 10.05.2025 р.

Кінець пошуку 14.05.2025 р.

4.1.2 Довідка про пошук

БІ11.0960421.000 -20

Завдання на проведення патентних досліджень; БІ11.0960421.000 -20

Етап: Проектування пристрою

Номер та дата завдання на проведення патентних досліджень:

№ БІ11.0960421.000 -20 10.05.2025р.

Номер та дата регламентації пошуку: № БІ11.0960421.000 -20 , 10.05.2025 р.

Розпочаток пошуку 10.05.2025 р.

Кінець пошуку 14.05.2025 р.

					БІ1109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Технічні характеристики апарату.

Пристрій розроблений для виробництва пектину.

1. Об'єм апарату: номінальний об'єм- 6,3; робочий об'єм- 4,72.
2. Площа теплообмінної поверхні, 16 м.
3. Тиск, МПа: в апараті надлишковий тиск- 0,115 МПа; в апараті при стерелізації -0,25 МПа; в сорочці тиск становить- 0,3 МПа.
4. Температура робочого середовища у ферментері: 45 °С.
5. Температура в сорочці: початкова температура - 50 °С; кінцева темперптка- 42 °С.
6. Тип мішалки — турбінного типу з відкритим корпусом.
7. Число мішалок - 1 шк.
8. Швидкість обертання валу мішалки 3.3 с⁻¹.
9. Рівень потужності електромотора 30 кВт.
10. Тип електродвигуна МП01-30
11. Коефіцієнт заповнення становить - 0,6%.
12. Витрата повітря становлять - 0,05 м³ /с.
13. Всередині апарата знаходиться культуральна рідина, а сорочка заповнена водою.
12. Габаритні розміриб мм.

Висота ферментера	3778 мм.
довжина ферментера	1980 мм;
ширина ферментера	1980 мм;
13. Маса апарату, кг 6800 кг.

6. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції.

6.1 Вихідні дані:

1. Об'єм ферментера $V = 6,3 \text{ м}^3$; номінальний об'єм - $6,3 \text{ м}^3$; робочий об'єм становить - $4,7 \text{ м}^3$.
2. Показник заповнюваності апарату $\phi = 0,75$;
3. Температура робочого середовища в середині ферментеру $t_p = 45 \text{ }^\circ\text{C}$;
4. Температура води яка подається в сорочку: початкова $t_n = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; кінцева $t_k = 42 \text{ }^\circ\text{C}$;
5. Тип мішалки — турбінного типу з відкритим корпусом.
6. Внутрішній діаметр ферментера – $D = 1,8 \text{ м}$.
7. Число мішалок n – 1 шт;
8. Швидкість обертання валу мішалки $z = 3.3 \text{ с}^{-1}$;
9. Щільність посівної культури в ферментері $X_{cp} = 0,1$;
10. Тривалість змішування $\tau = 80 \text{ год}$;

6.1 Розрахунок ферментеру

6.1.1 Конструктивний розрахунок.

Визначимо геометричні розміри пристрою.

Спочатку вибираємо найближчий більший стандартний об'єм — $6,3 \text{ м}^3$ з типом конструкції № 0, а діаметр та висоту обладнання приймаємо згідно з *ГОСТ 20680-2002*.

$$D=1800 \text{ мм} = 1,8 \text{ м} ; H=2780 \text{ мм} = 2,7 \text{ м}.$$

Таким чином, висота еліптичного днища дорівнює :

$$H_{\text{дн}} = 0,25D + h_{\text{цд}} = 0,25 \cdot 1800 + 60 = 510 \text{ мм}.$$

Оскільки еліптичні днища є стандартизованими виробами, відповідно до *ГОСТ 6533-78* тоді нам підходить днище *1800 – 16 – 450 ГОСТ 6533-78*.

Головні характеристики днища:

Розмір товщини стінки - $S_{\text{д}} = 16 \text{ мм}$;

Висота випуклої частини - $H_{\text{д}} = 450 \text{ мм}$;

Розмір відбортовки по висоті - $h_{\text{цд}} = 60 \text{ мм}$;

Внутрішня площа поверхні - $F_{\text{д}} = 3,85 \text{ м}^2$;

Об'єм - $V_{\text{д}} = 0,9126 \text{ м}^3$.

Знайдемо об'єм:

$$V_{\text{ц}} = V - 2V_{\text{д}} = 6,3 - 2 \cdot 0,9126 = 4,474 \text{ м}^3.$$

Висота циліндричної ділянки ферментера виходить:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}}{F_{\text{ц}}} = \frac{4,474}{2,5} \approx 1,79 \text{ м},$$

де $F_{\text{ц}}$ — площа перетину циліндричної частини ферментера:

$$F_{\text{ц}} = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3,14}{4} \cdot 1,8^2 = 2,5 \text{ м}^2.$$

Виходить, що загальна висота еліптичного днища становить:

$$h_{\text{д}} = h_{\text{цд}} + H_{\text{д}} = 60 + 450 = 510 \text{ мм} = 0,51 \text{ м}.$$

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо повну висоту ферментера:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2h_{\text{д}} = 2 + 2 \cdot 0,51 = 3,02 \text{ м.}$$

Знайдемо геометричні параметри змішувального обладнання.

З цією метою обираємо відкриту турбінну мішалку зі стандартного ряду АТК 24.201.17-90 тип 03, виконання 2, діаметр котрої знайдемо за формулою:

$$d_{\text{м}} = \frac{D}{4} = \frac{1800}{4} = 450 \text{ мм.}$$

Звідси висота лопаті дорівнює:

$$h_{\text{л}} = 0,2 \cdot d_{\text{м}} = 0,2 \cdot 450 = 90 \text{ мм.}$$

А довжина:

$$l = 0,5d_{\text{м}} = 0,5 \cdot 450 = 225 \text{ мм.}$$

Зі стандартних параметрів обираємо діаметр валу, товщину диска та висоту кріплення мішалки до валу:

$$d_{\text{в}} = 45 \text{ мм.}$$

$$S = 6 \text{ мм.}$$

$$h = 110 \text{ мм.}$$

Обчислимо відстань між еліптичним днищем і змішувальним пристроєм:

$$h_{\text{м}} = \left(\frac{0,4}{1}\right) \cdot d_{\text{м}} = 0,4 \text{ м.}$$

Барботер буде мати діаметр:

$$D_{\text{б}} = 0,75 \cdot d_{\text{м}} = 0,75 \cdot 450 = 337 \text{ мм.}$$

Відстань від змішувача до барботера:

$$h_{\text{р}} = 0,25 \cdot d_{\text{м}} = 0,25 \cdot 450 = 120 \text{ мм.}$$

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.1.2 Розрахунок корпусу апарату на роботу під тиском

Внутрішній тиск - 0,2 МПа, що є більший за атмосферний тиск.

Наступні розрахунки проводитимуться з урахуванням впливу зовнішнього тиску.

Гідростатичний тиск в апараті:

$$P_{\Gamma} = \rho g H_p = 1032 \cdot 9,81 \cdot 2,26 = 22880,08 \text{ (Па)} = 0,0228 \text{ (МПа)}.$$

Розрахунковий внутрішній тиск:

$$P_R = P_{\Gamma} + P_B = 0,2 + 0,0228 = 0,2228 \text{ (МПа)}.$$

Товщина стінки циліндричної обичайки тонкостінного апарату:

$$S_R = \max \left\{ K_2 D \cdot 10^{-2}; \frac{P_R D}{2[\sigma]} \right\}$$

Де $[\sigma]$ розраховується із матеріалу корпусу та сорочки, а саме для Сталі 08X18H10T, при максимальній температурі, яка рівна температурі стерилізації, (130 °C).

$$[\sigma] = 143,2 \text{ МПа}$$

$$S_R = \max \left\{ 1 \cdot 1,8 \cdot 10^{-2}; \frac{0,2228 \cdot 1,8}{2 \cdot 143,2} \right\} = \{0,018; 0,0014\}$$

Маємо $S_R = 18 \text{ мм}$

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = 18 + 0,5 + 0,8 + 0 + c_4 = (19,3 + c_4) \text{ мм},$$

де c – прибавка до розрахункової товщини стінки.

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4,$$

$c_1 = \Pi \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм}$, де Π – швидкість корозії та ерозії, приймаємо $\Pi = 0,05 \text{ мм/рік}$,

τ час служби апарату, приймаємо $\tau = 10 \text{ років}$.

c_2 – додаток на компенсацію мінусового допуску, за довідниками приймаємо

$c_2 = 0,8 \text{ мм}$;

c_3 – додаток на компенсацію стоншення внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$;

$c_4 = S - c_1 - c_2 - c_3 = 1,7$ мм – додаток для приведення розрахункової товщини стінки до стандартних параметрів.

Маємо $S = 21$ мм

Визначаємо допустимий тиск в апараті:

Допустимий зовнішній тиск з умови міцності в межах пружності:

$$[P]_{\sigma} = \frac{2[\sigma](S-c)}{D+(S-c)} = \frac{2 \cdot 143,2 \cdot (21-1,3) \cdot 10^{-3}}{1,8+(21-1,3) \cdot 10^{-3}} = 3,10 \text{ МПа.}$$

Допустимий зовнішній тиск з умови стійкості в межах пружності:

$$\begin{aligned} [P]_E &= \frac{20,6 \cdot 10^{-6} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{H_{\text{заг}}} \cdot \left[\frac{100(S-c)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{20,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,8}{2,4 \cdot 1 \cdot 3,02} \cdot \left[\frac{100(21-1,3)}{1,8} \right]^{2,5} = 4,05 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Допустимий зовнішній тиск:

$$[P] = \frac{3,10}{\sqrt{1 + \left(\frac{3,10}{4,05} \right)^2}} \approx 2,46 \text{ МПа.}$$

Умова міцності:

$$P_R = 0,22 \text{ МПа} \leq 2,46 \text{ МПа} = [P]$$

Умова міцності виконується.

Товщина стінки еліптичного днища тонкостінного апарату згідно параметрам ГОСТ 6533-78 товщина стінки днища 16 мм. Тому приймаємо цей розмір як: $S_{eR} = 0,016$.

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = 16 + 0,5 + 0,8 + 0 + c_4 = (17,3 + c_4) \text{ мм,}$$

де c – прибавка до розрахункової товщини стінки.

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4,$$

$c_1 = \Pi \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5$ мм, де Π – швидкість корозії та ерозії, приймаємо $\Pi = 0,05$ мм/рік,

τ час служби апарату, приймаємо $\tau = 10$ років.

c_2 – додаток на компенсацію мінусового допуску, за довідниками приймаємо $c_2 = 0,8$ мм;

c_3 – додаток на компенсацію стоншення внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$;

$c_4 = S - c_1 - c_2 - c_3 = 1,7$ мм – додаток для приведення розрахункової товщини стінки до стандартних параметрів.

Маємо $S = 19$ мм.

Допустимий зовнішній тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma](S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2[\sigma](S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 143,2 \cdot (19 - 1,3) \cdot 10^{-3}}{1,8 + (19 - 1,3) \cdot 10^{-3}} = 2,78 \text{ МПа.}$$

Умова міцності:

$$P_R = 0,022 \text{ МПа} \leq 2,78 \text{ МПа} = [P]$$

Умова міцності виконується.

Отже, згідно наших розрахунків, вибраний матеріал та геометричні характеристики, забезпечують необхідну міцність конструкції

6.2 Матеральний баланс

Знайдемо об'єм робочої рідини у ферментері:

$$V_p = V \cdot \varphi = 6,3 \cdot 0,75 = 4,72 \text{ м}^3.$$

Далі розрахуємо об'єм посівного матеріалу:

$$V_{nm} = V_p \cdot X_{cp} = 4,72 \cdot 0,1 = 0,472 \text{ м}^3.$$

Визначимо об'єм живильного середовища:

$$V_{nc} = V_p (1 - 0,1) = 4,72(1 - 0,1) = 4,24 \text{ м}^3.$$

Тоді, вага посівного матеріалу буде становити:

$$M_{nm} = V_{nm} \cdot \rho_{nm} = 0,472 \cdot 1032,1 = 487,1 \text{ кг.}$$

Звідки вага живильного середовища:

					БІІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{nc} = V_{nc} \cdot \rho_{nc} = 4,24 \cdot 1032,1 = 4376 \text{ кг}.$$

А вага культуральної рідини:

$$M_{\kappa} = V_p \cdot \rho_p = 4,72 \cdot 1032,1 = 4871,5 \text{ кг}.$$

де $\rho_{\text{пм}} = \rho_{\text{пс}} = \rho_p$ - щільність посівного матеріалу, живильного розчину та культуральної рідини відповідно.

$$\rho_p = 1007.3 + 4.11(11 - 0.11t_p) = 1007.3 + 4.11(11 - 0.11 \cdot 45) = 1032,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

6.3 Розрахунок барботера

Вхідні дані:

Повна висота ферментера H_3 , м	3,02 м;
Об'єм культуральної рідини V , м^3	4,72 м^3 ;
Її густина ρ_c , $\text{кг}/\text{м}^3$	1032 $\text{кг}/\text{м}^3$;
Тиск над рідиною в ферментері P , МПа	0,2 МПа;
Трата повітря $V_{\text{п}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	0,05 $\text{м}^3/\text{с}$;
Діаметр барботера D_6 , м	0,33 м;
Відстань від мішалки до барботера h_r , м	0,12 м.

Для забезпечення спінювання тиск повітря має бути достатнім для створення необхідного тиску в трубопроводі та подолання місцевого і гідростатичного опору стовпа змішуваної рідини.

Визначаємо тиск повітря за формулою:

$$P_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{п}} \cdot w_{\text{п}}^2}{2} \cdot \left(1 + \sum \xi\right) + g \cdot \rho_c \cdot H_p + P,$$

де $\sum \xi = 1$ – сума коефіцієнтів опору тертя і локальних втрат під час транспортуванні повітря по трубі у змішувальне середовище;

$w_{\text{п}}$ – швидкість повітря в трубі ;

H_p – висота стовпчика рідини, що розраховується за формулою:

$$H_p = \varphi \cdot H_{\text{заг}} = 0,75 \cdot 3,02 = 2,265 \text{ м},$$

де $\varphi = 0,75$ – ступінь заповнення ферментера.

Розглянемо визначення швидкості повітря при його проходженні через трубу. Для цього спочатку задаємо початкове значення швидкості, а потім вибираємо внутрішній діаметр спринклерної труби, за яким обчислюємо розрахункову швидкість повітря. Якщо відхилення між заданим і отриманим результатом не перевищує 5%, його можна вважати прийнятним.

Тоді швидкість повітря:

$$w'_n = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Отже, внутрішній діаметр труби барботера буде:

$$d'_{mp} = \sqrt{\frac{4 \cdot n}{\pi \cdot w'_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 25}} = 0,05 \text{ м}.$$

звідки V_n – витрата повітря.

Приймаємо зі стандартного ряду трубу барботера $51 \times 1,4$ мм за *ГОСТ 10704-91*.

Тиск повітря розраховуємо за такою формулою:

$$P_n = \frac{\rho_n \cdot w_n^2}{2} \cdot \left(1 + \sum \xi\right) + g \rho_c H_p + P = \frac{1,127 \cdot 25^2}{2} \cdot 2 + 9,81 \cdot 1,03 \cdot 2,26 + 0,2 \cdot 10^6 = 50727 \text{ Па} \approx 0,0507 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Знайдемо швидкість повітря потоку:

$$V'_n = 0,28 \cdot 10^{-8} K \cdot F \cdot P_n = 0,28 \cdot 10^{-8} \cdot 31 \cdot 2,5 \cdot 0,0507 \cdot 10^6 = 0,011 \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

що $K=31$ – робочий коефіцієнт залежить при змішуванні середньої інтенсивності;

$F = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 0,9^2 = 2,5 \text{ м}^2$ – площа, яку займає поверхня рідини всередині ферментера до старту змішування.

Різниця між прийнятим значення V'_n і розрахованим значенням V_n становить:

$$\varepsilon = \left| \frac{V'_n - V_n}{V'_n} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{0,011 - 0,05}{0,011} \right| \cdot 100\% = 3,5\%.$$

					БІІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо потужність валу насосу:

$$N = \frac{V_n \cdot \Delta P}{\eta} = \frac{0,05 \cdot 0,0007 \cdot 10^6}{0,9} = 39 \text{ Вт},$$

звідки $\Delta P = P_n - P = 0,0507 \cdot 10^6 - 0,05 \cdot 10^6 = 0,0007 \cdot 10^6 \text{ Па}$ це повний опір перемішування.

Враховуючи ймовірність збільшення діаметра отворів для розпилювачів живильного середовища, їхній діаметр становить:

$$d_0 = \frac{2}{5} \text{ мм.}$$

При умові, що діаметр отвору d_0 дорівнює 3 мм, розраховуємо потрібну кількість отворів:

$$z_0 = \frac{4 \cdot V_n}{\pi d_0^2 \cdot w_n} = \frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 0,00299^2 \cdot 25} = 285 \text{ шт.}$$

Таким чином, кількість отворів становить $z_0 = 285$ шт.

При розміщенні отворів по колу діаметром $D_0 = 337$ мм, відстані між ними будуть такими:

$$t = \frac{\pi \cdot D_0}{z_0} = \frac{3,14 \cdot 337}{285} = 3,72 \text{ мм.}$$

Отже, відстань між отворами по трубі становитиме $t = 4$ мм.

6.4 Розрахунок змішуючого обладнання

Швидкість змішувача становить $z = 3,33 \text{ с}^{-1}$. Відповідно, кутова швидкість його дорівнює:

$$w = \pi d_m n = 3,14 \cdot 0,45 \cdot 3,33 = 4,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для визначення глибини воронки в ферментері необхідно розрахувати параметри γ і $Re_{цб}$ враховуючи коефіцієнт заповнення $\varphi = 0,6$ та висоту рівня рідини $H_p = 2,26$.

					БІІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр висоти завантаження становить :

$$\gamma = \frac{8 \cdot H_p}{D} + 1 = \frac{8 \cdot 2,265}{1,8} + 1 = 11,06;$$

Знаходимо критерій Рейнольдса при перемішуванні:

$$Re_{цб} = \frac{\rho_1 n d^2}{\mu_1} = \frac{1032 \cdot 3,33 \cdot 0,45^2}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 463935,6,$$

де $\mu_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ – показник динамічної в'язкості суспензії.

У такому разі значення параметру гідравлічного опору E буде:

$$E = \frac{\gamma}{\xi_{зм} \cdot n \cdot Re_{цб}^{0,25}} = \frac{11,06}{8,41 \cdot 463935,6^{0,25}} = 0,05,$$

де $n = 1$ – кількість мішалок що знаходиться на одному валу;

$\xi_{зм} = 8,4$ – коефіцієнт гідравлічного опору.

За значенням E по монограмі знайдемо параметр $B = 17,5$.

Тепер знайдемо саму глибину воронки:

$$h_e = \frac{B \cdot z^2 \cdot d^2}{2g} = \frac{17,5 \cdot 3,33^2 \cdot 0,45^2}{2} = 19,6 \text{ м.}$$

Звідси гранично допустима глибина воронки:

$$h_{гр} = H_p - h_m = 3,02 - 0,4 = 2,62 \text{ м.}$$

де $h_m = 0,4$ – висота встановлення мішалки над днищем.

Глибина воронки більша за допустиму ($h_b > h_{гр} = 19,6 \text{ м} > 2,62 \text{ м}$), тому рекомендовано встановлювати чотири відбивні перегородки.

Знайдемо її ширину b :

$$b = 0,1 \cdot d_m = 0,1 \cdot 0,45 = 0,045 \text{ м.}$$

6.4.1 Розрахунок потужності привода мішалки

При розрахунку потужності приводу необхідно врахувати потужність , що витрачається в ущільненні валу мішалки. Вибираємо стандартниу

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розмірність , а саме діаметр валу $d_B = 45\text{мм}$ (0,045 м) та підбираємо ущільнення відповідно до АТК 24.201.13-90: ущільнення типу ТІ-45-3К-01.

Розрахуємо потужність, потрібну для подолання опору тертя торцевому ущільненню.

$$N_{\text{ущ}} = 6020 \cdot d_B^{1,3} = 6020 \cdot 0,045^{1,3} = 106 \text{ Вт.}$$

Знайдемо критерій $K_n=7$ та потужність, яка витрачається на змішування:

$$N = K_N \cdot \rho_c \cdot z^3 \cdot d_M^5 = 7 \cdot 1032,1 \cdot 3,33^3 \cdot 0,45^5 = 4922,8 \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт що враховує рівень рідини в апараті:

$$K_H = \sqrt{\frac{H_p}{D}} = \sqrt{\frac{2,265}{1,8}} = 1,12.$$

$$N_{\text{ел}} = \frac{(K_n K_H \cdot \sum K_i \cdot N + N_{\text{ущ}})}{\eta} = \frac{(1 \cdot 1,12 \cdot 2,9 \cdot 4922,8 + 106)}{0,9} = 25 \text{ кВт.}$$

$\eta = 0.9$ – коефіцієнт корисної дії приаода.

У цьому випадку найближчим приводом з більшою потужністю та відповідною частотою обертання є електродвигун типу 3 МП01-30 потужністю 30 кВт. Дана потужність відповідає вимогам для перемішування культуральної рідини лопатевою мішалкою діаметром 0,45 м з частотою обертання валу $3,33 \text{ с}^{-1}$. [15]

6.5 Тепловий розрахунок

Метою теплових розрахунків є перевірка правильності вибору біореактора.

Знайдемо тепло з поживного середовища за формулою:

$$E_{\text{пс}} = M_{\text{пс}} C_{\text{пс}} t_{\text{пс}} = 4376,1 \cdot 3,920 \cdot 45 = 343086,2 \text{ кДж.}$$

З посівного матеріалу :

$$E_{\text{пм}} = M_{\text{пм}} C_{\text{пм}} t_{\text{пм}} = 487,1 \cdot 3,92 \cdot 45 = 38188,6 \text{ кДж.}$$

де $t_{\text{пс}}=t_{\text{пм}} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура живильного середовища та матеріалу для посіву.

Знайдемо теплоту реакції від згортання цукрів:

					БІІІ09.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_p = X_{cp} M_{nc} r_c = 0,1 \cdot 4376,1 \cdot 15,7 \cdot 10^3 = 6870,47 \text{ кДж},$$

де $r_c = 15,7 \cdot 10^3$ Дж/кг-теплота згорання цукру.

Вплив дистанції на ефективність механічного перемішування.:

$$E_{дис} = N\tau = 7922,2 \cdot 80 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 22281593 \text{ кДж}.$$

Вся кількість тепла яка надходить:

$$E_{над} = E_{nc} + E_{nm} + E_p + E_{дис} = 343086,2 + 38188,6 + 6870,47 + 22281593 = 22669738,27 \approx 2,269 \cdot 10^7 \text{ кДж}.$$

Витрати тепла з культуральною рідиною:

$$E_k = M_k C_k t_p = 4871,5 \cdot 3,92 \cdot 45 = 859332,6 \text{ кДж}.$$

де $C_{nc} = C_{nm} = C_k = 3,92$ кДж/(кг·К)– питома теплова здатність посівного матеріалу, середовища для росту і культуральної рідини.

Теплове навантаження ферментера:

$$Q = E_{над} - E_k = 2,269 \cdot 10^7 - 8,593 \cdot 10^5 = 2,183 \cdot 10^7 \text{ кДж}.$$

Кількість води що охолоджує, яка подається в сорочку ферментера:

$$G_B = \frac{Q}{C_B(t_p - t_k)\tau} = \frac{2,183 \cdot 10^7}{4,19 \cdot (50 - 42) \cdot 80 \cdot 3600} = 2,26 \text{ кг / с}.$$

де $C_B = 4,19$ кДж/(кг·К)– питома теплоємність води.

6.6 Визначення площі поверхні теплопередачі та теплового балансу

Для підтримки теплового режиму біореактора використовується подача холодної води в сорочку пристрою.

Площа охолоджувальної поверхні визначається за формулою:

$$F = \frac{Q_{вод}}{k \cdot \Delta t_{cp}},$$

де k – коефіцієнт передачі тепла від середовища всередині апарата до теплоносія, що циркулює в сорочці;

Δt_{cp} – середня температурна різниця теплоносіїв:

$\Delta t_m = t_k - t_2 = 45 - 42 = 3^\circ\text{C}$ – значення меншої температурної різниці;

$\Delta t_o = t_k - t_1 = 50 - 45 = 5^\circ\text{C}$ – значення більшої температурної різниці;

$$\frac{5}{3} = 1,6 = \frac{\Delta t_o}{\Delta t_m} < 2$$

Тоді, Δt_{cp} визначається за формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_o - \Delta t_m}{2} = \frac{5 - 3}{2} = 1^\circ\text{C}.$$

Обчислюємо коефіцієнт теплопередачі від рухомої рідини до стінок.

Для апаратів із сорочкою та змішуванням за допомогою мішалки коефіцієнт теплопередачі розраховується за стандартною формулою:

$$Nu_1 = \frac{a_1 D}{\lambda_1},$$

$$\text{звідки } Nu_1 = 0,36 Re_1^{0,67} Pr_1^{0,33} \left(\frac{\mu_1}{\mu_{cm1}} \right)^{0,14},$$

Re_1 – змінений критерій Рейнольдса:

$$Pr_1 = \frac{\mu_1 c_1}{\lambda_1}$$

$$Re_1 = \frac{\rho_1 n d_m^2}{\lambda_1}$$

λ_1 – Теплопровідність пектинової культури, при $t_k = 45^\circ\text{C}$, $\lambda_1 = 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$;

$D = 1,8 \text{ м}$ – внутрішній діаметр ферментера;

ρ_1 – щільність рідкої культури, при $t_k = 45^\circ\text{C}$, $\rho_1 = 1032 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

n – кількість обертів мішалки, $n = 3,3 \text{ с}^{-1}$;

d_m – діаметр мішалки, $d_m = \frac{1}{4} D = \frac{1}{4} \cdot 3,2 = 0,8 \text{ м}$;

μ_1, μ_{cm1} – усереднена динамічна в'язкість середовища за умови сталості температури стінки і рідини; тому ця різниця не суттєва, приймаємо, що вони рівні.: $\mu_1 = \mu_{cm1} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

$c_1 = 3,49 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – теплоємність середовища, при $t_k = 45^\circ\text{C}$.

Визначимо критерій *Нуссельта* по формулі :

$$\text{Re}_1 = \frac{\rho_1 n d_m^2}{\mu_1} = \frac{1032 \cdot 3 \cdot 0.45^2}{1.5 \cdot 10^{-3}} = 417960;$$

$$\text{Pr}_1 = \frac{\mu_1 c_1}{\lambda_1} = \frac{1.5 \cdot 10^{-3} \cdot 3.49}{0.5} = 0.01;$$

Тоді сама формула буде доорівнювати:

$$\text{Nu}_1 = 0.36 \text{Re}_1^{0.67} \text{Pr}_1^{0.33} \left(\frac{\mu_1}{\mu_{cm1}} \right)^{0.14} = 0,36 \cdot 417960^{0.67} \cdot 0,01^{0.33} \cdot 1^{0.14} = 2101.$$

Виходячи з цього, визначимо коефіцієнт тепловіддачі від робочого середовища к стінкам ферментера:

$$a_1 = \frac{\text{Nu}_1 \lambda_1}{D} = \frac{2101 \cdot 0.5}{1.8} = 583.6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Визначимо коефіцієнт теплопередачі від охолоджуючої води к стінкам апарату.

Для розрахунку використовуємо стандартні теплофізичні властивості води:

$\lambda_2 = 0,599$ – коэффициент теплопередачі води при її середньому температурному режимі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}};$

$S = 0.021$ – товщина стінки апарату, м;

$D = 2$ – внутрішній поперечний розмір оболонки пристрою, м;

$\rho_2 = 998,2$ – густина води при середній температурі, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$

w_B – швидкість води в ній:

$$w_s = \frac{G_{\text{вод}}}{\rho_2 f} = \frac{0,117}{998,2 \cdot 0,69} = 0,0001 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

f – площа перетину сорочки:

$$f = 0.786 \left(D_2^1 - (D - 2S)^2 \right) = 0.786 \left(2^2 - (1.8 - 2 \cdot 0.021)^2 \right) = 0.69 \text{ м}^2;$$

Тоді , обчислюємо середню температуру води за формулою:

					БІІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{50 + 42}{2} = 46^\circ C.$$

Коефіцієнт передачі тепла від стінок ферментера до теплоносія в оболонці: $a_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{H_p}$, звідки $Nu_2 = C(Gr Pr)^a$ звідки $Gr Pr = H_p^3 (t_{cm} - t_{cp}) B$,

коефіцієнт $B = 30,6 \cdot 10^9$ знаходиться з залежності від t_{cp} .

$$Gr Pr = H_p^3 (t_{cm} - t_{cp}) B = 2.265^3 (48 - 46) \cdot 30.6 \cdot 10^9 = 70 \cdot 10^{10},$$

при $Gr Pr > 10^9$: $C = 0,15$ та $a = 0.33$.

$$Nu_2 = 0.15 (70 \cdot 10^{10})^{0.33} = 1216.$$

Крім того, розраховуємо коефіцієнт теплової віддачі між стінкою апарата та теплоносієм у сорочці за допомогою формули:

$$a_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{H_p} = \frac{1216 \cdot 0.599}{2.265} = 321.5 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

Обчислимо коефіцієнт теплової передачі між середовищем та охолоджуючою водою в ферментері:

$$k_T = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{\frac{1}{583,6} + \frac{0,021}{58,15} + \frac{1}{321,5}} = 195 \frac{Bm}{m^2 K}.$$

де $\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплової провідності, для матеріалу сталь:

$$\lambda_{cm} = 58,15 \frac{Bm}{m^2 K}.$$

Враховуючи забруднення стінок, коефіцієнт теплової передачі становить:

$$k = 0.95 k_t = 0,95 \cdot 195 = 185 \frac{Bm}{m \cdot K}.$$

В умовах цього розрахунку площа охолоджуючої поверхні оболонки ферментера має бути:

$$F = 14.8 \text{ м}^2$$

Найменша висота циліндричної оболонки для біореактора з корпусом діаметром 1,8 м:

					БІІ 109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_c = \frac{F}{\pi D} = \frac{14,8}{3,14 \cdot 1,8} = 2,61 \text{ м.}$$

Приймаємо площу теплообміну $F = 16 \text{ м}^2$ за стандартом, що перевищує необхідну розрахункову величину та забезпечить ефективний теплообмін у ферментері.

7. Вибір та розрахунок опори для ферментеру.

Оскільки апарат має вертикальну конструкцію з еліпсоїдним днищем і відносно невелику висоту, його встановлюють безпосередньо на підлозі робочого майданчика. У такому випадку оптимальним варіантом є застосування опор типу «стояк». Відповідно до вимог ДСТУЗ-17-192-2000 «Опори стояки вертикальних апаратів. Типи, конструкція та розміри» рекомендовано вибрати опору «стояк» типу 1 — виготовлену з листового металу, призначену для приладів з еліптичним або конічними днищами, здатну витримувати навантаження від 4 до 250 кН. Для даного апарату передбачено використання трьох таких опор $n = 3$ шт. На рис.7.5 показано схеми такої опори.

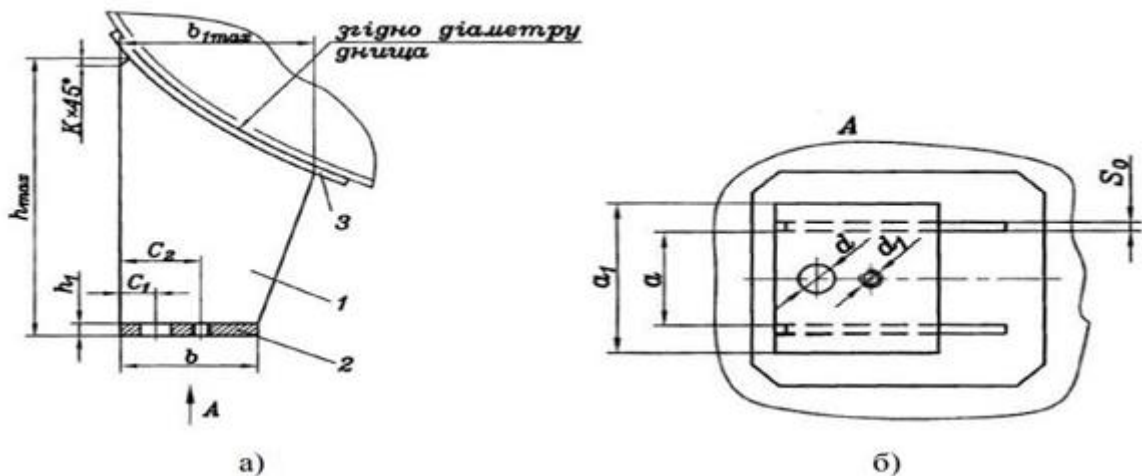


Рис. 7.5 Опора стійка типу 1.

а) головний вид; б) вид зверху. [16]

Розрахуємо орієнтовну масу ферментера m з допомогою формули:

$$m = 230 \rho D^3 = 230 \cdot 0,25 \cdot 1,8^3 = 336 \text{ кг,}$$

де ρ –вищій тиск у ферментері, МПа;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

D – діаметр апарата, м.

У такому разі вага G апарата розраховується за формулою:

$$G = m \cdot g = 336 \cdot 9,81 = 3,2 \text{ кН},$$

g – прискорення вільного падіння $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Маса апарату під час випробувань G_1 :

$$G_1 = m_1 \cdot g = 6838 \cdot 9,81 = 70 \text{ кН},$$

де $m_1 = m + m_0 = 336 + 6502 = 6838 \text{ кг}$ – маса апарату під час випробувань;

$m_0 = \rho \cdot V_p = 1032 \cdot 6,3 = 6502 \text{ кг}$ – маса середовища всередині апарату.

Визначаємо максимальне навантаження в одній точці F_1 . При кількості опорних стійок кількістю 3 штуки, розрахункове зусилля F_1 обчислюється таким чином:

$$F_1 = \frac{G}{3} + \frac{M}{0.866 \cdot D_1}$$

Для обладнання, яке монтується в приміщеннях, $M = 0$.

Отже, формула набуває такого вигляду:

$$F_1 = \frac{G}{3}$$

Знайдемо F_1 в: робочій умові:

$$F_1 = \frac{3,2}{3} = 1,06 \text{ кН};$$

– умовах випробувань:

$$F_1 = \frac{70}{3} = 24 \text{ кН};$$

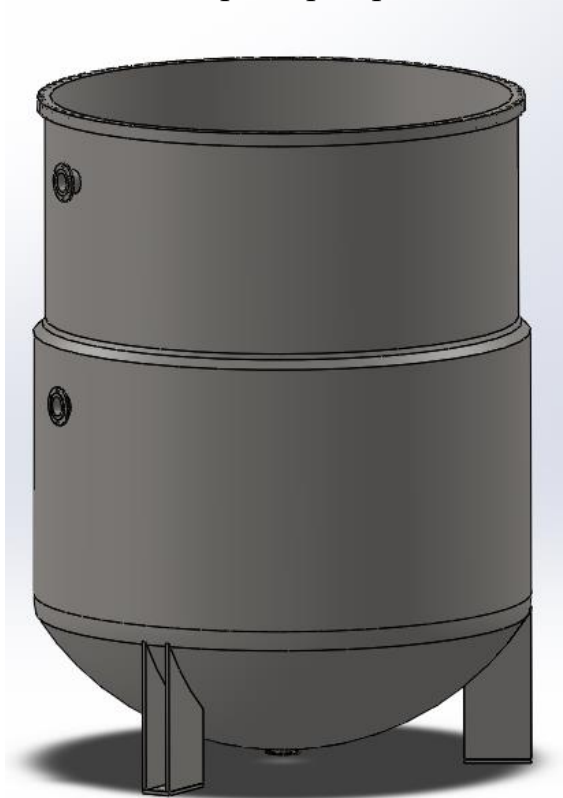
Приймаємо зварену опорну стійку з листового металу першого типу з максимально допустимим навантаженням 35 кН для опори стояка. Обираємо: *Опора-стійка 1-35-1 ГСТУ 3-17-192-2000*.

8. Комп'ютерне моделювання розрахункового ферментеру.

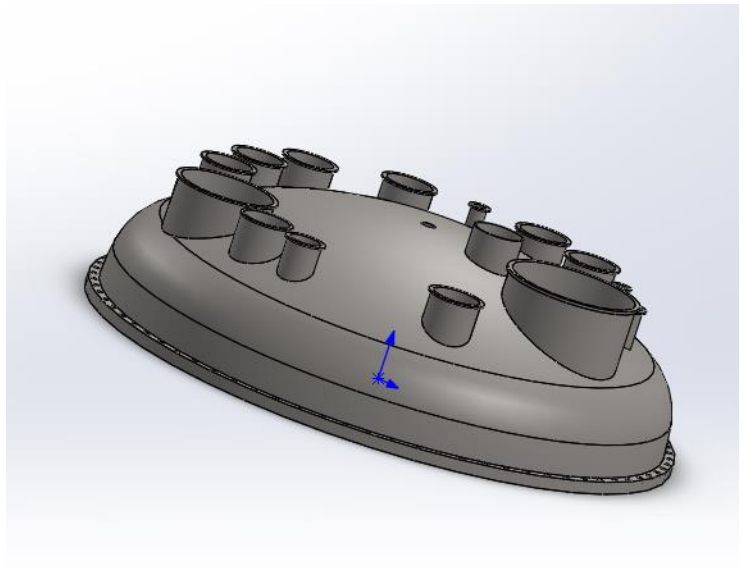
Після проведення розрахунків зробимо моделювання розрахованого ферментеру у SolidWorks Simulation. На рисунку 8.1 представлена модель ферментеру. Метою цього моделювання є перевірка, чи витримає ферментер внутрішній тиск, який виникає під час його експлуатації, та чи не перевищують напруження в конструктивних елементах допустимих значень.

Вхідні данні для проектування:

- діаметр корпусу апарату $D = 1900$ мм;
- довжина корпусу апарату $B = 1980$ мм;
- товщина стінки корпусу $S = 21$ мм;
- матеріал: Сталь 08X18H10T.
- розміри кришки за ГОСТ6533-78 для $D = 1900$ мм;



а)



б)

Рис.8.1 Моделювання ферментеру

а – корпус апарату; б – кришка апарату.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Далі проведемо статичне дослідження. До внутрішніх поверхонь моделі прикладається внутрішній тиск, що діє рівномірно по всій внутрішній частині корпусу, кришки та днища. Його значення становить 0,2 МПа (згідно з розрахунками). Результати навантаження корпусу і кришки ферментеру внутрішнім тиском та температурою зображені на рисунку 8.2.1 та 8.2.2.

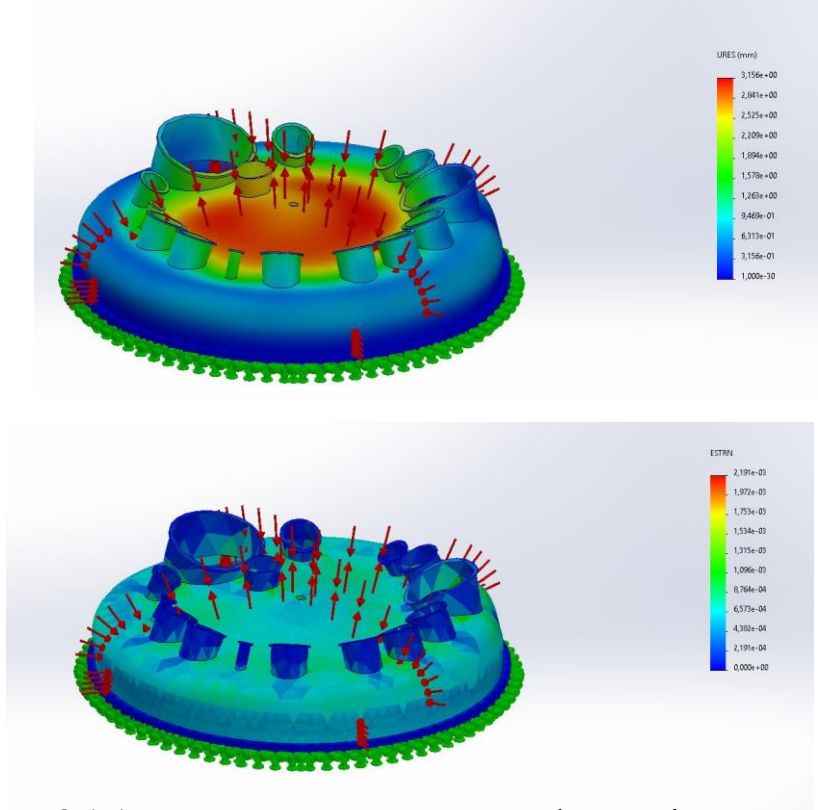


Рис.8.1.1 Епюри навантажень та деформації кришки.

Дивлячись на епюр навантажень і деформацій, можна сказати, що конструкція загалом працює нормально й витримує задані навантаження. На кришці видно, що найбільші деформації зосереджені ближче до центру — саме там матеріал найбільше прогинається під навантаженням. При цьому периферія кришки практично не деформується, що свідчить про її жорстке кріплення або правильне опирається на інші елементи конструкції. Це дозволяє знизити загальну напругу по краях і забезпечує стабільну роботу кришки під навантаженням.

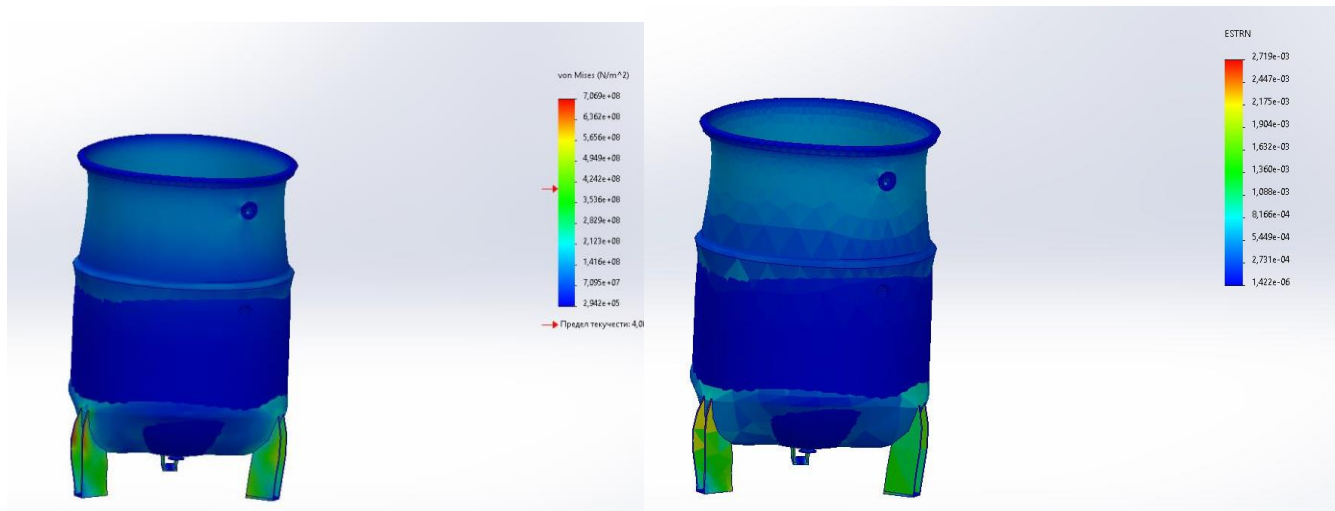


Рис.8.1.2 Епюри навантажень та деформації корпусу.

Що стосується корпусу, то на епюрах добре видно, що деформації незначні й розподілені доволі рівномірно по всій висоті конструкції. Це свідчить про достатню жорсткість і правильний розрахунок товщини стінок. Найбільші напруження зосереджуються в нижній частині корпусу — там, де відбувається контакт з опорною поверхнею. Це цілком очікувано, оскільки саме в цій зоні концентрується частина навантаження від усієї конструкції. Верхня частина корпусу, навпаки, зазнає мінімальних деформацій, що ще раз підтверджує стабільність і надійність всієї деталі. Таким чином, корпус добре витримує навантаження без ознак перевантаження чи локальних дефектів у напруженнях.

Підводячи загальний висновок, можна сказати, що конструкція працює надійно й витримує прикладені навантаження без перевищення допустимих деформацій.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

9. Рекомендація з монтажу та експлуатації.

Монтаж і експлуатація ферментера — складний технічний процес, що вимагає високого рівня підготовки персоналу, точного дотримання технологічних норм і ретельного контролю. Це гарантує надійну та безпечну роботу обладнання, зменшує ризики виходу з ладу та сприяє стабільності технологічного процесу.

Процес монтажу обладнання включає наступні кроки:

1. Підготовка до монтажу: перевірка фундаменту, металевих конструкцій та вузлів обладнання на відповідність проектним вимогам.
2. Установка корпусу: розміщення обладнання на металоконструкцію або фундамент з використанням підкладок для вирівнювання.
3. Закріплення елементів: виконання фіксації болтами, затяжка з контролем горизонтального положення обладнання.
4. З'єднання трубопроводів: приєднання до основних систем та забезпечення герметичності з'єднань.
5. Інсталяція додаткових пристроїв: установка арматури, приладів контролю, вимірювального обладнання.
6. Перевірка герметичності: тестування місць з'єднання та усунення можливих дефектів.

Монтаж завершується гідравлічними або пневматичними випробуваннями та складанням акту приймання обладнання. Особливу увагу слід приділяти точності встановлення, оскільки навіть незначне відхилення від проектних параметрів може негативно вплинути на функціонування ферментера в майбутньому. [17]

Після завершення монтажу необхідно провести випробування обладнання:

					БІІ109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Гідравлічні тести для перевірки цілісності корпусу;
- Тестування на витривалість при заданих навантаженнях.

Результати перевірки фіксуються в акті приймання обладнання. Усі роботи повинні виконуватися з дотриманням технічних норм і стандартів.

Для ефективної експлуатації обладнання необхідно забезпечити:

1. Своєчасне обслуговування та ремонт: Регулярні огляди вузлів і механізмів, а також усунення дефектів на ранніх стадіях. Виконання ремонтів згідно з технічними інструкціями допоможе запобігти серйозним поломкам.
2. Контроль ключових параметрів: Постійний моніторинг температури, тиску і витрат теплоносія дозволить уникнути перевантажень і аварій.
3. Підвищення кваліфікації персоналу: Ефективне обслуговування можливе лише за участі досвідчених фахівців, які знаються на специфіці обладнання.
4. Раціональне використання ресурсів: Мінімізація витрат енергоресурсів і забезпечення запасних частин для вузлів, що швидко зношуються.

Особливу увагу слід приділити заходам безпеки, які включають:

- Герметичність усіх з'єднань для уникнення витоків;
- Використання обладнання в межах встановлених параметрів;
- Проведення планових інструктажів з техніки безпеки для персоналу;
- Оснащення обладнання аварійними запобіжниками та сигналізацією.

Ремонт і модернізація вузлів мають виконуватися із застосуванням сучасних технологій, таких як наплавлення, шліфування і заміна пошкоджених деталей. Залежно від ступеня зносу та доступності нових компонентів, можуть застосовуватись методи відновлення з використанням 3D-друку або прецизійної механічної обробки. Це забезпечить довговічність роботи і зменшення експлуатаційних витрат.

Дотримання цих рекомендацій дозволить досягти стабільної роботи обладнання і мінімізувати простої, пов'язані з технічним обслуговуванням.[18]

9.1 Електробезпека та пожежна безпека

Електробезпека є критично важливою при експлуатації ферментерів, особливо через наявність електроприводів, датчиків та систем автоматичного керування. Необхідно забезпечити надійне заземлення металевих елементів, застосування захисного відключення, а також проводити регулярні перевірки ізоляції. До обслуговування електрообладнання допускаються лише кваліфіковані фахівці. Усі кабелі й щити мають бути належно промарковані та відповідати вимогам безпеки.

Додаткові заходи електробезпеки включають:

- використання ізолювальних матеріалів та кожухів;
- встановлення попереджувальних знаків у зонах з підвищеною небезпекою;
- періодичну перевірку стану автоматичних вимикачів та запобіжників;
- забезпечення наявності індивідуальних засобів захисту (діелектричні рукавички, килимки тощо).

Крім того, рекомендується впровадження систем моніторингу стану електромережі, які дозволяють оперативно виявляти перевантаження та інші відхилення від норми. Електрощитові приміщення повинні мати належне освітлення, вентиляцію та бути недоступними для неуповноважених осіб.

Пожежна безпека передбачає використання вогнегасників відповідного класу, негорючих ізоляційних матеріалів, а також обладнання приміщень системами виявлення та оповіщення про пожежу. Важливо проводити регулярні інструктажі для персоналу та забезпечити вільний доступ до аварійних виходів і засобів пожежогасіння.

Додаткові вимоги включають:

					БІІ109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- наявність плану евакуації з чіткими інструкціями;
- розміщення протипожежного інвентарю у доступних місцях;
- щоквартальну перевірку вогнегасників та систем сигналізації;
- заборону куріння та відкритого вогню у виробничих зонах.

Особливу увагу слід приділити періодичній перевірці пожежних систем, актуальності схем евакуації, а також підтримці проїздів для пожежної техніки. У виробничих зонах необхідно чітко маркувати небезпечні ділянки та заборонити використання відкритого вогню. [19]

Комплексне дотримання електротехнічних і протипожежних норм дозволяє зменшити ймовірність аварійних ситуацій, захистити персонал та зберегти майно підприємства.

Висновок

У результаті виконання дипломного проєкту було досліджено сучасні підходи до виробництва пектину з акцентом на екологічно безпечні та енергоефективні технології. Особливу увагу приділено впровадженню ферментаційного методу, що базується на використанні мікроорганізмів *Aspergillus niger*. Цей підхід дозволяє зменшити потребу в хімічних реагентах, знизити енергетичні витрати та забезпечити стабільну якість кінцевого продукту. На основі патентного пошуку, аналізу літератури та обґрунтування вибору біологічного агента і поживного середовища було сформовано сучасну концепцію виробничої лінії.

На основі зібраних матеріалів було складено раціональну апаратурно-технологічну схему виробництва пектину, що охоплює підготовку сировини, ферментацію, фільтрацію, концентрування, сушіння та пакування. Основна увага була приділена проєктуванню ферментера — основного апарата у ланцюжку виробництва, де здійснюється культивування мікроорганізмів і накопичення цінного продукту. У межах технічної частини виконано всі необхідні інженерні розрахунки, які підтверджують працездатність та ефективність конструкції.

Зокрема, розраховано оптимальні геометричні параметри ферментера: діаметр апарата становить 1,9 м, загальна висота — 3,7 м, а 7 об'єм — 2,2 м³, що відповідає виробничим потребам. Розрахунок мішального пристрою показав, що найефективнішим є використання турбінної мішалки з частотою обертання 3 об/с та діаметром 450 мм. Потужність електроприводу підібрана з урахуванням коефіцієнтів запасу та ККД і становить 30 кВт. Система барботажу повітря забезпечує подачу повітря з витратою 0,05 м³/с, що гарантує достатню оксигенацію культурального середовища. У результаті теплотехнічного розрахунку встановлено площу поверхні теплообміну, що дорівнює 16 м², а також визначено необхідну витрату теплоносія. В межах розрахунку на міцність підтверджено, що товщина стінки корпусу (21 мм) та

					БІІ109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

днища витримує робочий тиск до 0,3 МПа з урахуванням нормативного запасу міцності. Та вибрана марка матеріалу з якого виготовлен ферментер: Сталь 08Х18Н10Т.

До проекту було розроблено два креслення формату А1, та два формату А2. Перше — апаратурно-технологічна схема виробництва пектину, яка наочно демонструє технологічний процес та взаємозв'язки між апаратами. Друге — загальний вигляд ферментера, де відображено всі основні конструктивні вузли: корпус, сорочку для теплообміну, турбінну мішалку, барботер, опори, фланці та привід. Інші два креслення показують більш детально корпус та кришку апарату.

Запропоноване технічне рішення є реалістичним для практичного впровадження в умовах промислового виробництва. Отримані результати можуть стати основою для подальших розробок у сфері біотехнологічного виробництва пектину, оптимізації існуючих виробничих ліній або створення пілотних установок для глибшого дослідження процесів ферментації.

					БІІ109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Fazit

Im Rahmen dieses Diplomprojekts wurden moderne Ansätze zur Pektinherstellung mit Fokus auf umweltfreundliche und energieeffiziente Technologien untersucht. Besonderes Augenmerk galt der Einführung des Fermentationsverfahrens mit Mikroorganismen der Art *Aspergillus niger*. Dieser Ansatz reduziert den Einsatz chemischer Reagenzien, senkt den Energieverbrauch und gewährleistet eine gleichbleibende Produktqualität. Auf Basis von Patentrecherchen, Fachliteraturanalysen sowie der Auswahl des biologischen Agens und des Nährmediums wurde ein zeitgemäßes Konzept für eine Produktionslinie entwickelt.

Daraus resultierte ein rationales verfahrenstechnisches Fließschema, das die Schritte Rohstoffvorbereitung, Fermentation, Filtration, Konzentrierung, Trocknung und Verpackung umfasst. Der Schwerpunkt lag auf der Auslegung des Fermenters als zentralem Element der Produktionskette. Sämtliche technischen Berechnungen belegen die Funktionalität und Effizienz der Konstruktion.

Die optimalen geometrischen Parameter des Fermenters wurden bestimmt: ein Durchmesser von 1,9 m, eine Gesamthöhe von 3,7 m und ein Volumen von 2,2 m³. Der Einsatz eines Turbinenrührers mit 3 U/s und 450 mm Durchmesser erwies sich als am effizientesten. Die Antriebsleistung beträgt 30 kW, die Luftzufuhr liegt bei 0,05 m³/s. Die berechnete Wärmeaustauschfläche beträgt 16 m², und die Wandstärke (21 mm) hält einem Betriebsdruck von bis zu 0,3 MPa stand. Als Werkstoff wurde rostfreier Stahl 08X18H10T gewählt.

Zum Projekt gehören vier technische Zeichnungen: eine verfahrenstechnische Übersicht der Produktion, eine Gesamtansicht des Fermenters sowie Detailzeichnungen des Korpus und des Deckels. Das vorgeschlagene Konzept ist realistisch und für den industriellen Einsatz geeignet. Die Ergebnisse können als Grundlage für zukünftige Entwicklungen, Optimierungen bestehender Linien oder Pilotanlagen dienen.

					БІІ109.60521.000.-20 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Літературні джерела

1. Пектин: типи, переваги та використання // UA CN Additives. — Режим доступу: <https://ua.cnadditives.com/info/pectin-types-benefits-and-uses-91751824.html>
2. Пектин // Фармацевтична енциклопедія. — Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/763/pektin>
3. Е440-Пектин // Himozon. — Режим доступу: <https://www.himozon.com.ua/store/%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BD-e440/>
4. Кюрчева В. М. Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: навчальний посібник / В. М. Кюрчева. — Мелітополь : ТДАТУ, 2020. — 286 с.
5. Srattaphut L., Ruangwises N. Genetic Algorithms-Based Approach for Wavelength Selection in Spectrophotometric Determination of Vitamin B12 in Pharmaceutical Tablets by Partial Least-Squares // Procedia Engineering. — 2012. — Vol. 32. — P. 225–231.
6. Гуменюк О. Л. Харчові добавки: тексти лекцій для студентів напряму підготовки "Харчові технології та інженерія" / О. Л. Гуменюк. — Чернігів: ЧНТУ, 2014. — 157 с.
7. Пектин // Фармацевтична енциклопедія. — Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/763/pektin>
8. Петров І. В., Сидоренко О. М. Використання *Aspergillus niger* у ферментації пектину // Біотехнологія. — 2020. — Т. 13, № 4. — С. 45–52.
9. Бондар В. М., Коваленко Т. В. Біотехнологія: підручник / В. М. Бондар, Т. В. Коваленко. — Київ: Наукова думка, 2017. — 400 с.
10. Рубинов С. Р. Разработка технологии переработки яблочных выжимок с получением пектинопродуктов / С. Р. Рубинов ; Киевский

технологический институт пищевой промышленности. — Киев, 1993. — 25 с.

11. Ферментаційне обладнання. Ферментери // Біоінженерія КПП. — Режим доступу: <https://bioengineering.kpi.ua/ua/kafedra/fotohalereia-farmatsevychnoho-ta-biotekhnolohichnoho-obladnannia/59-fermentatsiine-obladnannia-fermentery/286-fermenter>
12. Перемішування. Типи мішалок. Види і конструкції мішалок // Etatron. — Режим доступу: <https://www.etatron.com.ua/news/?sid=2238>
13. Дудка А. М., Начовний І. І., Кабат О. С. Технологічне обладнання хімічних виробництв: навч. посібник. — Харків: УДХТУ, 2019. — 220 с.
14. Дубинін А. І., Гаврилів Р. І., Гузьова І. О. Процеси та апарати хімічної технології: навчальний посібник з курсового проектування. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 360 с
15. Мельник В. М., Авдєєва Л. Ю. Реактори біотехнологічних виробництв. Рекомендації до виконання домашньої контрольної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». — Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022.
16. Дудка А. М., Начовний І. І., Кабат О. С. Технологічне обладнання хімічних виробництв: Частина 1. Конструкції й основи проектування апаратів і посудин. — Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. — 570 с.
17. Глава 4 // Біоінженерія КПП. — Режим доступу: <https://bioengineering.kpi.ua/attachments/article/277/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0%204.pdf>
18. Поживанов В. М., Ковальчук І. П. Основи охорони праці: підручник / В. М. Поживанов, І. П. Ковальчук. — Харків: ФОП Сподарець О. М., 2021.
19. Коваленко О. І. Електробезпека в промисловості: навчальний посібник / О. І. Коваленко. — Київ: КНЕУ, 2018. — 280 с.

Додаток А
Патентний пошук

Табл. 1.1 Регламент пошуку (форма Б.1 згідно з ДСТУ 3575-97)

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	Визначення патентоздатності апарата, що проектується, та тенденцій розвитку цього напрямку в техніці	Україна	МПК6 і МПК7- B21D53/04; F28 УДК 621.565.95; 620.193.27	2000-2025	Описи до винаходів, корисних моделей, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту, та закордон них баз даних.

Таблиця 1.2 - Джерела інформації, використані під час проведення пошуку(форма В.1 згідно з ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
1	2	3	4	5	6
Ферментер	Україна, США	МПК6 і МПК7- B21D53/04; F28 УДК 621.565.95; 620.193.27	Науково технічна бібліотека НТУУ „КПІ”, Науково технічна бібліотека України, Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті.	Описи корисних моделей патентів України. Описи винаходів патентів США.	Підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології

Таблиця 1.3. Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Ферментер	Патент № US11795428B2 (US), C12M 1/04. Gas-fed fermentation reactors, systems and processes utilizing a plurality of static mixers / Власник: LanzaTech New Zealand Limited (NZ). Заявка № 17/834,158, 08.06.2022; Патент видано: 10.10.2023.	Діє
Ферментер	Патент № 102777 (UA), C12M 1/00, C12M 1/04. Лабораторний фотобіореактор / Кравченко І.П., Дідківська Г.Г., Карпенко В.І.; Власник: Національний університет харчових технологій (UA). Заявка № u201502888, 2015; Опубл. 10.08.2015, бюл. № 15/2015.	Діє
Ферментер	Патент № 103774 (UA), C12M 1/04. Ферментер / Драгузя Олена Василівна (UA) та ще 1 винахідник; Власники: Драгузя Олена Василівна (UA) та ще 1. Заявка № u201507185, 16.07.2015; Опубл. 25.12.2015, бюл. № 24/2015.	Не діє
Ферментер	Патент № 103773 (UA), C12M 1/04. Ферментер / Метліна Марина Сергіївна (UA) та ще 1 винахідник; Власники: Метліна Марина Сергіївна (UA) та ще 1. Заявка № u201507184, 16.07.2015; Опубл. 25.12.2015, бюл. № 24/2015.	Не діє

Ферментер	Патент № 99539 (UA), B01F 3/10, B01F 7/10. Турбінна мішалка / Яремчук Олександр Віталійович (UA), Ковальчук Ірина Володимирівна (UA); Власник: Національний технічний університет України "КПІ" (UA). Заявка № u201501234, 15.03.2015; Опубл. 10.06.2015, бюл. № 11/2015.	Діє
Ферментер	Патент № 47949 (UA), C12M 1/04. Ферментер / Кузьменко Віталій Олександрович (UA) та ще 2 винахідники; Власник: Кузьменко Віталій Олександрович (UA). Заявка № u200910446, 20.10.2009; Опубл. 25.02.2010, бюл. № 4/2010.	Не діє
Ферментер	Патент № 986 (UA), C12M 1/04. Ферментер / Мікульонок Ігор Олегович (UA); Власник: НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ" (UA). Заявка № 2001010261, 15.01.2001; Опубл. 16.07.2001, бюл. № 6/2001.	Не діє
Ферментер	Патент № 134533 (UA), C12M 1/04. Ферментер / Голуб Геннадій Анатолійович (UA) та ще 2 винахідники; Власник: НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ (UA). Заявка № u201812149, 17.12.2018; Опубл. 27.05.2019, бюл. № 10/2019.	Діє

Висновок

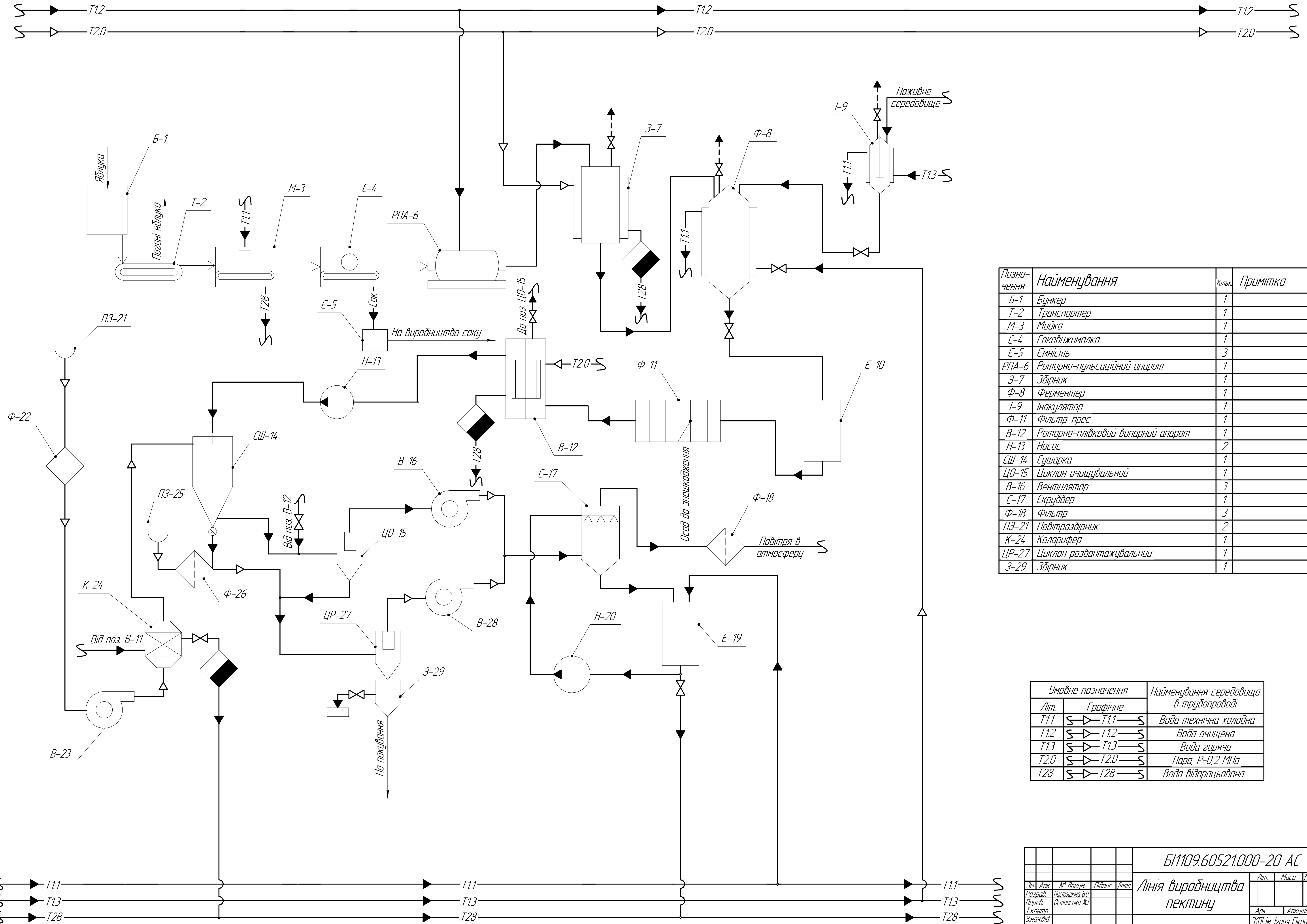
У ході патентного пошуку було виявлено 9 патентів, з яких 5 — дійсні. Вони стосуються конструкцій ферментерів, фотобіореакторів і мішалок. Виявлені рішення підтверджують актуальність теми та демонструють сучасні тенденції в удосконаленні обладнання для ферментації.

Додаток Б
Специфікації

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
Справ. №	A1			БІ-1109060421.000-20 СБ	Складальне креслення		
					Складальні одиниці		
	A2	1		БІ-1109.060421.001-20	Корпус	1	
	A2	2		БІ-1109.060421.002-20	Кришка еліптична	1	
	БК	3		БІ-1109.060421.003-20	Привід	1	
	БК	4		БІ-1109.060421.004-20	Вал	1	
	БК	5		БІ-1109.060421.005-20	Перемішувачий пристрій	1	
	БК	6		БІ-1109.060421.006-20	Барботер	1	
	БК	7		БІ-1109.060421.007-20	Опора	3	
					Деталі		
Підп. та дата		8			Корпус муфти	1	
		9			Стійка	1	
		10			Ущільнення Т2-95-6К-01	1	
Інв. № діл.					Стандартні вироби		
		11			Фланець ГОСТ 12821-80	1	
		12			Винт А.М20х15х90-70 ГОСТ 17474 -80	6	
Взам. інв. №		13			Болт М20х140 ГОСТ 15589-70	36	
Підп. та дата							
Інв. № подл.	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	БІ110960521.000-20	
	Розроб.	Пісташкіна В. О.				Ферментер. Специфікація	Літ.
	Перев.	Остапенко Ж. І.					Лист
							Листів
							1
	Н.контр.					"КПІ ім. Ігоря Сікорського"	
	Затв.	Мельник В.М.				ФБТ БІ-11	

[illegible]

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка		
Справ. №	A2			Б/1109.60521.002-20 СБ	Кришка еліптична Складальне креслення				
					Складальні одиниці				
		1		Б/1109.60521.002-20	Кришка еліптична	1			
		2		Б/1109.60521.002-20	Штуцер	1	Dy=400мм		
		3		Б/1109.60521.002-20	Штуцер	1	Dy=150мм		
		4		Б/1109.60521.002-20	Штуцер	2	Dy=40мм		
		5		Б/1109.60521.002-20	Штуцер	1	Dy=300мм		
		6		Б/1109.60521.002-20	Штуцер	2	Dy=150мм		
		7		Б/1109.60521.002-20	Штуцер	2	Dy=150мм		
					Стандартні вироби				
Підп. та дата		8			Болт М42 ГОСТ 7805-70	12			
		9			Болт М22 ГОСТ 7805-70	8			
		10			Гайка М42 ГОСТ 5915-70	12			
		11			Гайка М22 ГОСТ 7805-70	8			
		12			Шайба М42 ГОСТ 6402-70	12			
		13			Шайба М22 ГОСТ 6402-70	8			
Взам. інв. №									
Підп. та дата									
Інв. № подл.	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Б/1109.60521.002-20			
	Розроб.	Пісташкіна В. О.				Кришка еліптична. Специфікація	Літ.	Лист	Листів
	Перев.	Остапенко Ж. І.							1
	Н.контр.						"КПІ ім. Ізгоря Сікорського" ФБТ БІ-11		
	Затв.	Мельник В.М.							



Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
Б-1	Бункер	1	
Т-2	Транспортер	1	
М-3	Мийка	1	
С-4	Соковижималка	1	
Е-5	Ємність	3	
РПА-6	Роторно-пульсацийний апарат	1	
З-7	Здірник	1	
Ф-8	Ферментер	1	
І-9	Інокулятор	1	
Ф-11	Фільтр-прес	1	
В-12	Роторно-плівковий випарний апарат	1	
Н-13	Насос	2	
СШ-14	Сушарка	1	
ЦО-15	Циклон очищувальний	1	
В-16	Вентилятор	3	
С-17	Скрудблер	1	
Ф-18	Фільтр	3	
ПЗ-21	Повітроздірник	2	
К-24	Калорифер	1	
ЦР-27	Циклон розвантажувальний	1	
З-29	Здірник	1	

Умовне позначення		Найменування середовища в трубопроводі
Літ.	Графічне	
Т11		Вода технічна холодна
Т12		Вода очищена
Т13		Вода гаряча
Т2.0		Пара, Р=0,2 МПа
Т28		Вода відпрацьована

Зм.

Ажк.

№ док.

Підпис

Дата

Розроб.

Перев.

І. контр.

Значення

Нижня

Затв.

Мельник В.М.

БІ1109.60521.000-20 АС

Лінія виробництва пектину

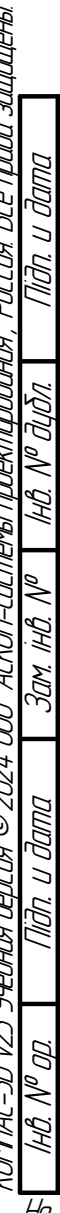
Літ.	Маса	Масштаб
		1:1
Ажк.	Ажк.	1
"КПІ ім. Ігоря Сікорського" ФБТ БІ-11		
Формат А1		

Технічна характеристика

Технічна характеристика	
Апарат призначений для приготування пектину	
1. Об'єм апарату, м ³ :	
номінальний	6,3;
рабочий	4,725;
2. Площа поверхні теплообміну, м ²	16.
3. Тиск, МПа:	
в апараті надлишковий	0,115;
в апараті при стерелізації	0,25;
в сорочці	0,3.
4. Тип перемішуючого пристрою	турбінна мішалка
5. Кількість мішалок, шт	1
6. Частота обертання валу мішалки, с ⁻¹	3
7. Потужність електродвигуна, кВт	30.
8. Тип електродвигуна	МПОІ-30.
9. Коефіцієнт заповнення, %	0,6.
9. Температура, °С:	
робочого середовища	45.
в сорочці:	
початкова	50;
кінцева	42
10. Витрата повітря, м ³ /с	0,123.
10. Середовище:	
в апараті	культуральна рідина;
в сорочці	вода.
11. Габаритні розміри, мм:	
висота	3778
довжина	1900.
ширина	1980.
12. Маса апарату:	3850.

1. Виготовляється, вироблення і призначення апарата проводити відповідно до ОСТ-26-291-94, ОСТ 26-01-1244-88.
2. Матеріал основних деталей – сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.
3. Корпус випробовувати гідравличним тиском 0,5 МПа.
4. Провести УЗД чи протвічування зварних швів корпусу на довжині 50% рубашки згідно ГОСТ 3242-79.
5. Провести обкатку привода при робочому тиску протягом 4 годин при заповненні апарата водою, при цьому не допускається нагрів підшипника більше, ніж 75С.
6. Розміщення скоб для термоізоляції проводити відповідно ГОСТ 17314-81.
7. Покрыття зовнішніх поверхонь апарата провести в один шар грунтувкою ГФ-0119 червоно-коричневою ГОСТ 23343-78.
8. * Розміри для довідок.

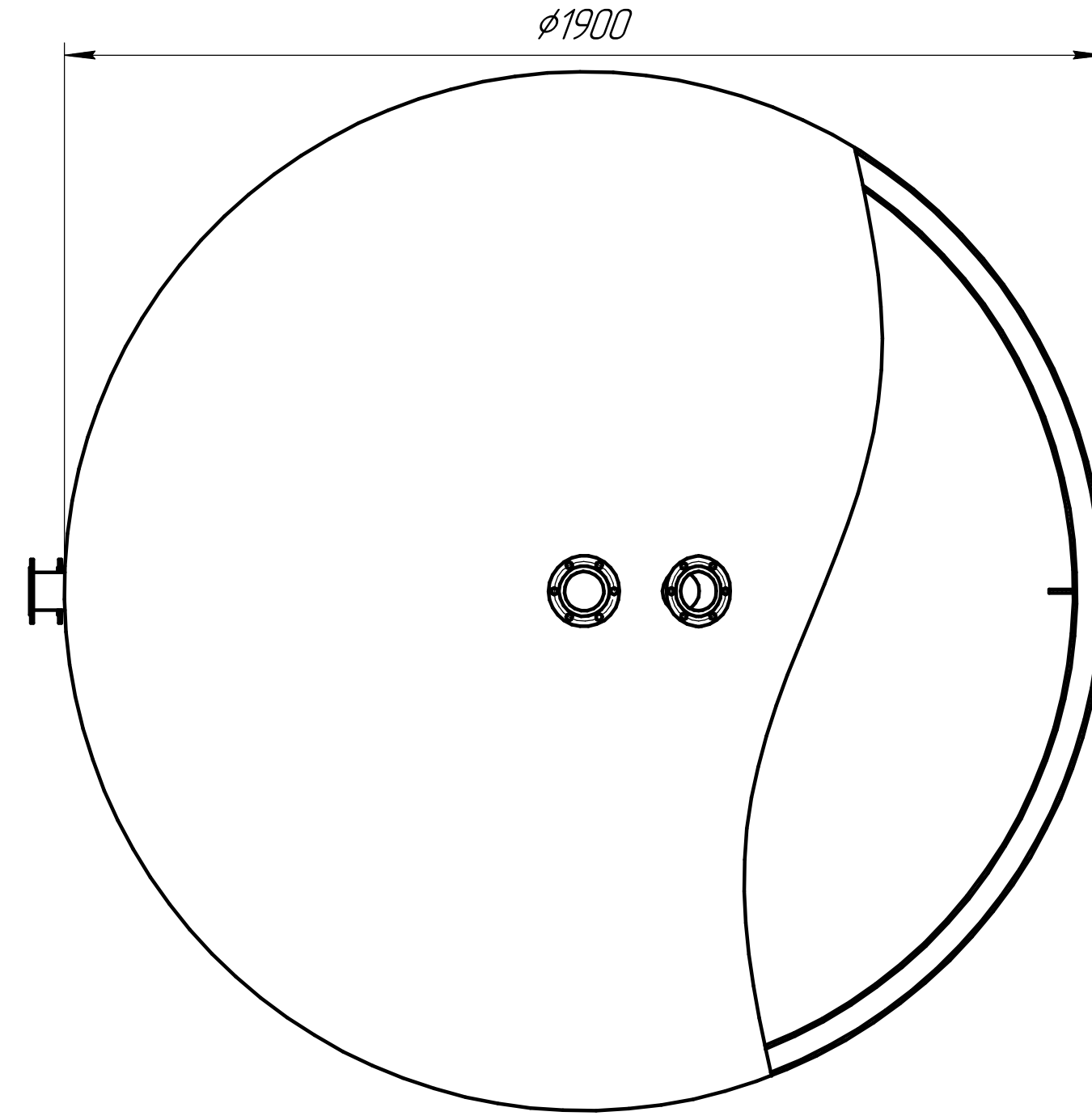
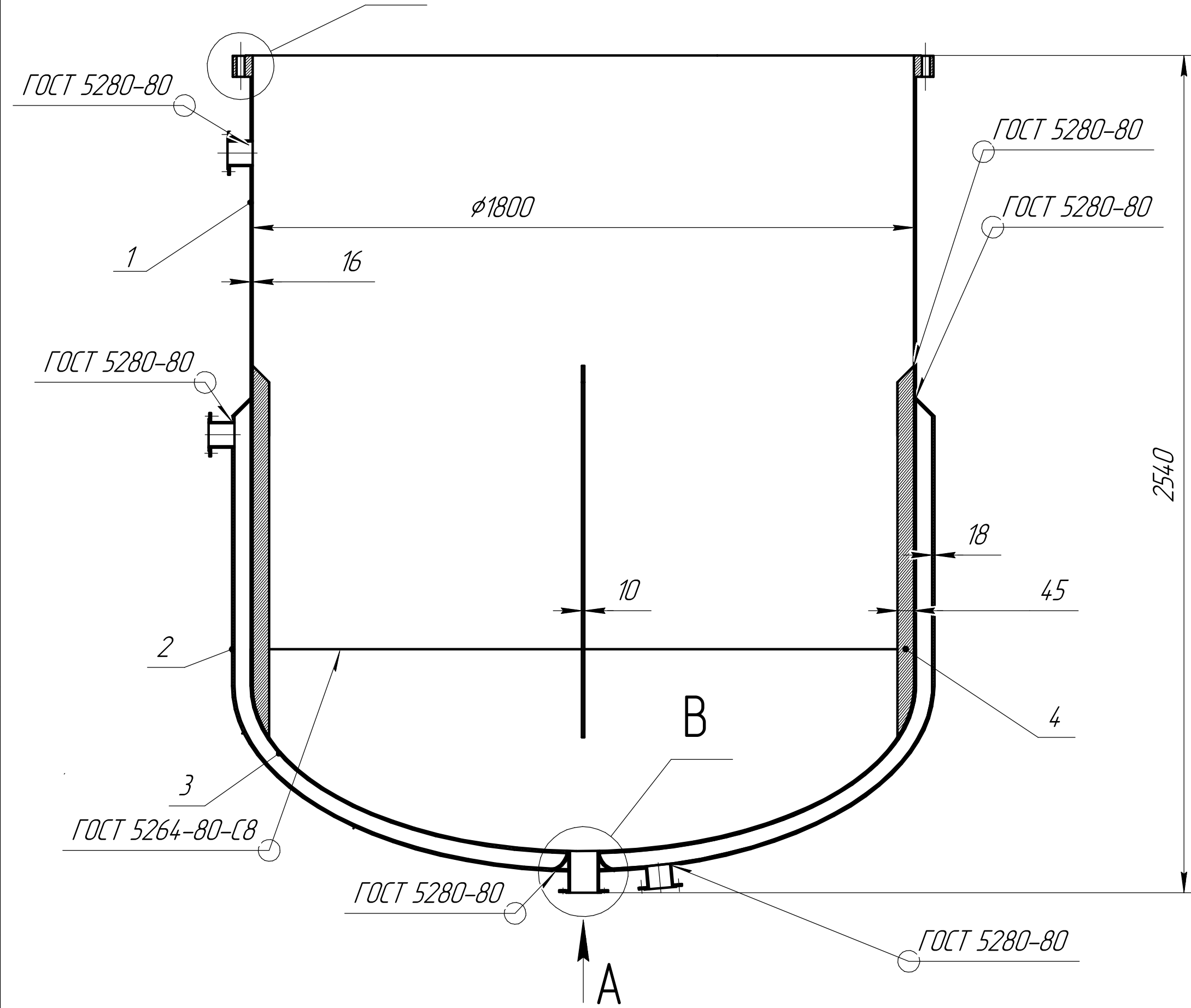
Формат А1



БІЛІТІСЬКО-ПРОЕКЦІЙНА КОМПАНІЯ

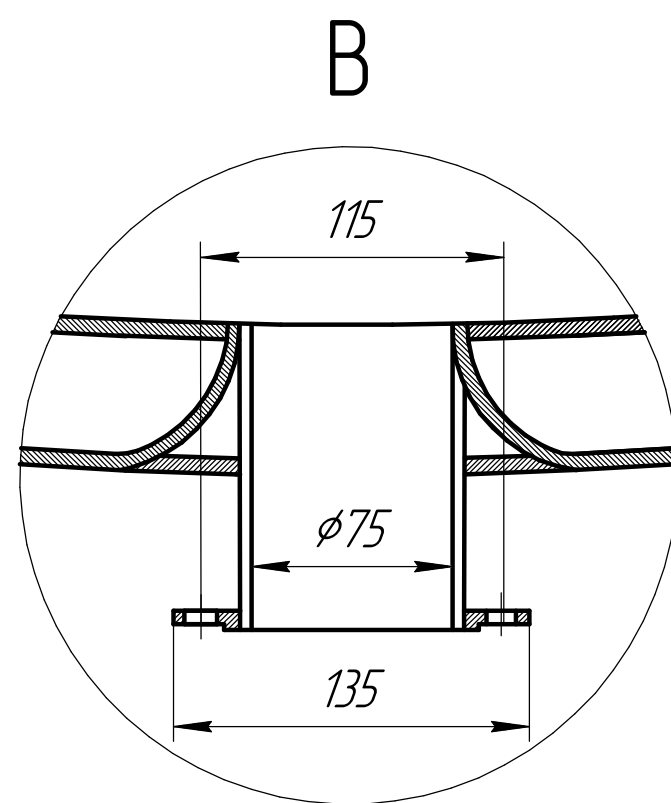
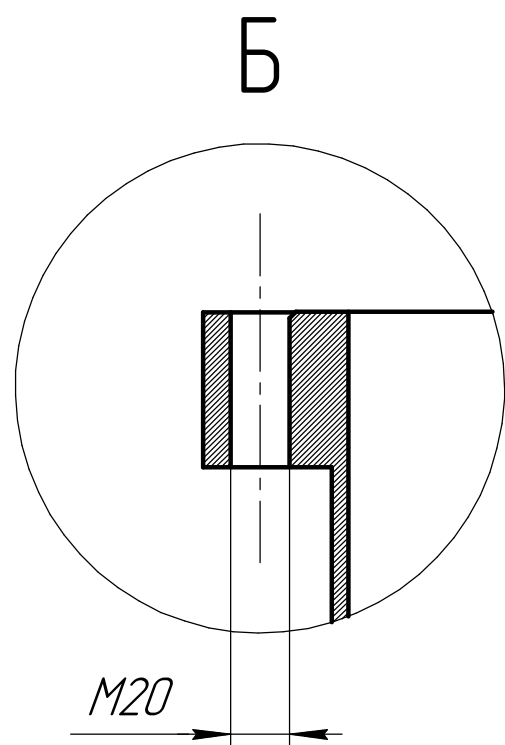
Б

A-A



Технічні вимоги

Апарат повинен відповідати вимогам Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.
Перед введенням апарата в експлуатацію провести гідравлічне випробування на міцність та герметичність з тиском 0,3 МПа.
Контроль зварних швів виконати методами ультразвукової дефектоскопії або рентгенографії згідно з ГОСТ 3242-79.
Матеріал корпусу – сталь 08Х18Н10Т по ГОСТ 5632-2014. Зварювання виконати за ГОСТ 5264-80.
Усі гострі кромки притупити до радіуса не менше $R = 0,5$ мм.



№ шва	Позначення	Кіл.	Примітка
1	ГОСТ 5280-80	11	
2	ГОСТ 5264-80-С8	1	

БІЛІТІСЬКО-ПРОЕКЦІЙНА КОМПАНІЯ				Лист			Маса	Масштаб
Корпус								1:10
Складальне креслення				Лист			Листов	1
				КПІ ім. Ігоря Сікорського				
				ФБТ БІ-11				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Пустошкина В. О.							
Пров.	Остапенко Ж. І.							
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.	Мельник В.М.							

Перв. примеч.

Справ. №

Подп. и дата

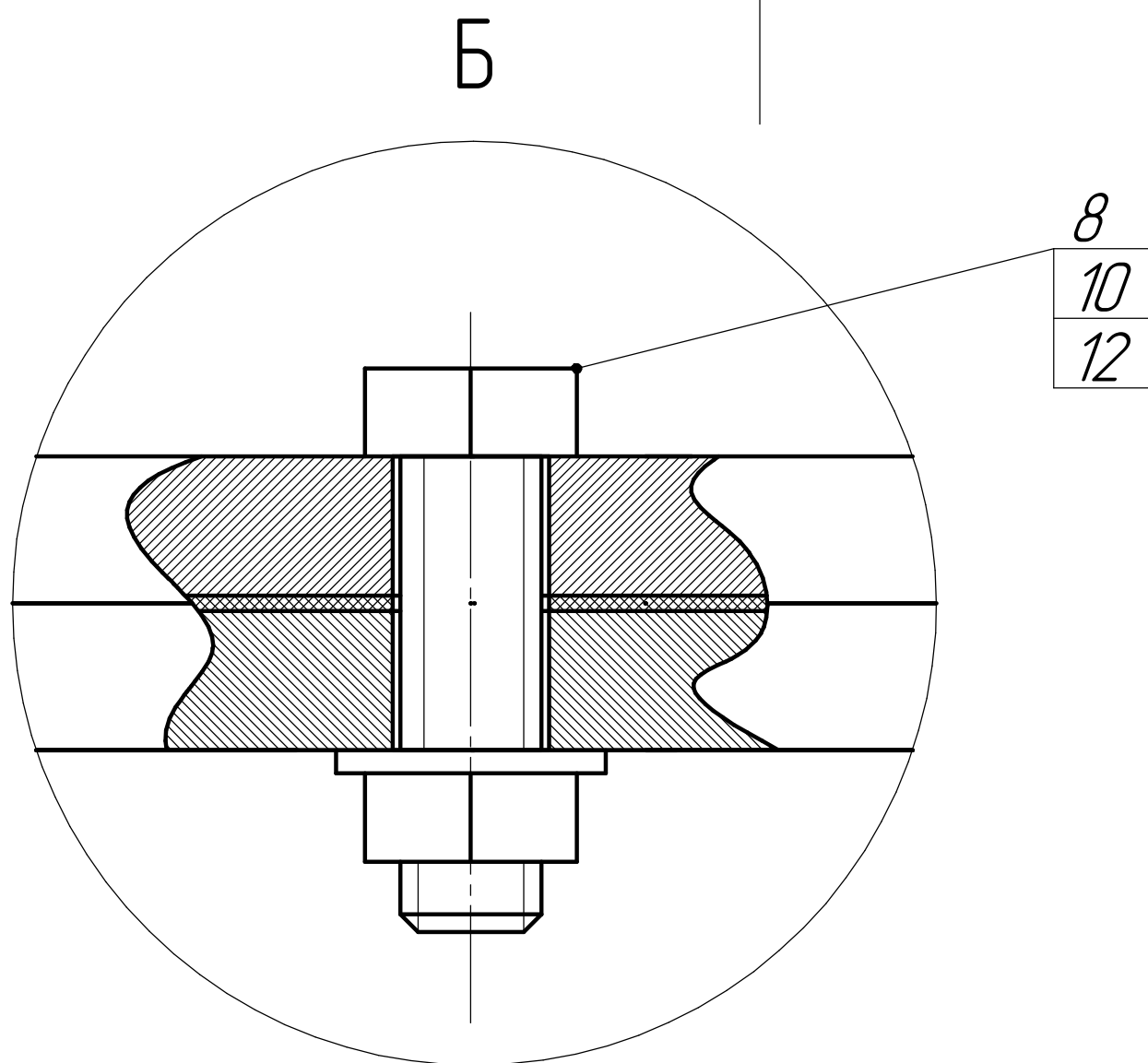
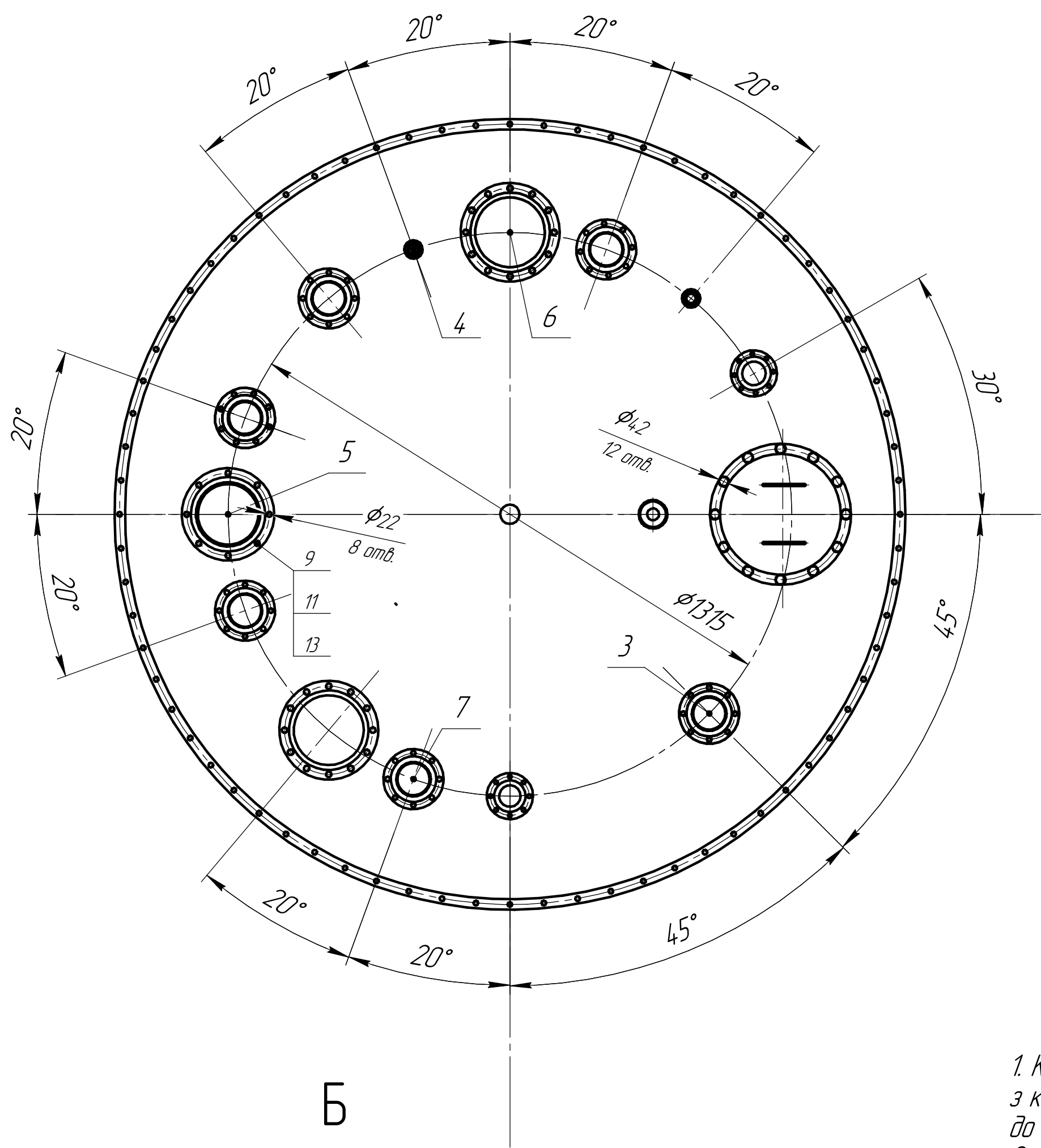
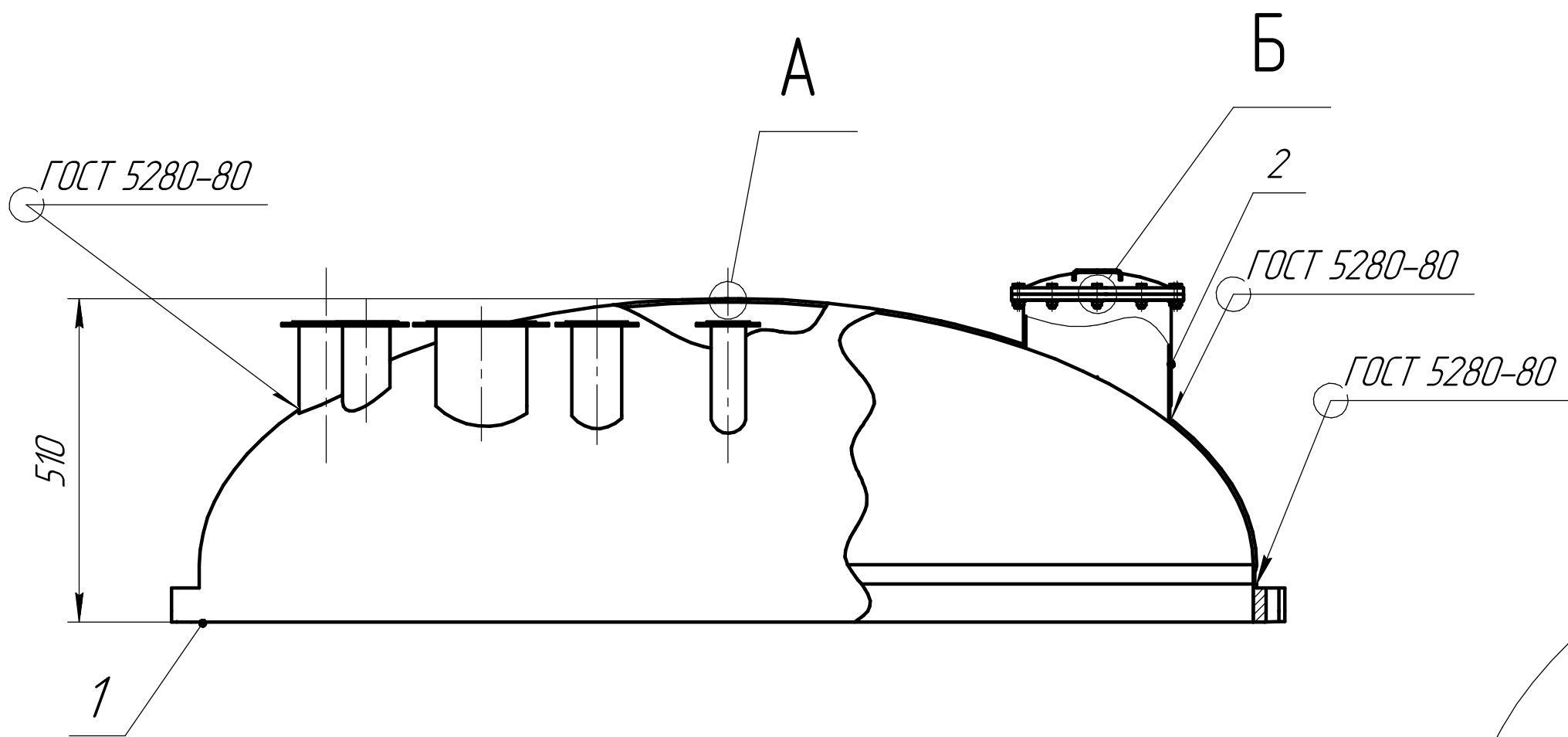
Взам. инд. №

Подп. и дата

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А2



Технічні вимоги

- Кришка повинна забезпечувати герметичне з'єднання з корпусом апарата і витримувати надлишковий тиск до 0,25 МПа.
- Перед експлуатацією провести гідравлічне випробування кришки у зборі з апаратом.
- Усі зварні шви на кришці контролювати методом ультразвукового неруйнівного контролю.
- Допустиме відхилення по довжині виступу штуцерів – не більше ± 5 мм.

Таблиця зварних швів

№ шва	Позначення	Кіл.	Примітка
1	ГОСТ 5280-80	15	

Б1109.60521.002-20 СБ				Лист	Маса	Масштаб
Кришка еліптична						1:10
				Лист	Листов	1
				КПІ ім. Ігоря Сікорського		
				ФБТ БІ-11		
				Копіював		
				Формат А2		

Сторінка №	Перед. примір.
1	1

Взам. інв. №	Інв. № дідл.	Підп. і дата
1	1	1