

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Т.В.О. Завідувач кафедри

Пилипець О.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 03 » лютого 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування”

(шифр і назва спеціальності)

студенту Кожушку Віталію Степановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення конструкції та заходів з технічного обслуговування
обслуговування циліндрично-конічного танка для бродіння пива і квасу

об'ємом 54 м³.

Керівник роботи доктор технічних наук, професор кафедри ОХ Вітенько Тетяна Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 02 » лютого 2026 року № 4/9-93.

2. Термін подання студентом завершеної роботи « 19 » червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Паспорт та інструкції з експлуатації дріжджового танка об'ємо 1м³

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загально-технічна частина

2. Технічна частина. Експлуатація та ремонт

3. Конструкторська частина

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Циліндрично-конічний танк(ЦКТ) об'ємом 54 м³. Вигляд загальний (1 л.ф.А1)

2. Графічне представлення технологічного процесу механічної обробки адаптера для
контрольно-вимірювальних приладів. (1 л.ф.А1)

3. Графік планово-попереджувального ремонту циліндрично-конічного танка (ЦКТ) з
об'ємом 54 м³ (1 л.ф.А1)

4. Площадка для монтажу циліндрично-конічного танку (1 л.ф.А1)

5. Графічний результат чисельного розрахунку циліндрично-конічного танку (1 л.ф.А1)

6. Технологічна схема складання-розбирання вузла запобіжної арматури (1 л.ф.А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загально-технічна частина	д.т.н. Вітенько Т.М.		
Технологічна частина	д.т.н. Вітенько Т.М.		
Нормоконтроль	к.т.н. Кравець О.І.		

7. Дата видачі авдання « 03 » лютого 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічна частина	09.02.2026 – 01.03.2026	
2	Технологічна частина	02.03.2026 – 19.04.2026	
3	Конструкторська частина	20.04.2026 – 27.05.2026	
4	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	28.05.2026 – 12.06.2026	
5	Висновки	13.06.2026 – 22.06.2026	
	Графічна частина		
1	Циліндрично-конічний танк(ЦКТ) об'ємом 54 м³. Вигляд загальний (1 л.ф.А1)	09.02.2026 – 01.03.2026	
2	Графічне представлення технологічного процесу механічної обробки адаптера для контрольно-вимірювальних приладів. (1 л.ф.А1)	02.03.2026 – 25.03.2026	
3	Графік планово-попереджувального ремонту циліндрично-конічного танка (ЦКТ) з об'ємом 54 м³ (1 л.ф.А1)	26.03.2026 – 19.04.2026	
4	Площадка для монтажу циліндрично-конічного танку (1 л.ф.А1)	20.04.2026 – 12.05.2026	
5	Графічний результат чисельного розрахунку циліндрично-конічного танку (1 л.ф.А1)	13.05.2026 – 03.06.2026	
6	Технологічна схема складання-розбирання вузла запобіжної арматури (1 л.ф.А1)	04.06.2026 – 22.06.2026	

Студент

(підпис)

Кожушко В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

ВІТЕНЬКО Т.М.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Виконавець кваліфікаційної роботи: Кожушко Віталій Степанович

Група: МО-41

Керівник: Вітенько Тетяна Миколаївна

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Розроблення конструкції та заходів з технічного обслуговування циліндрично-конічного танка для бродіння пива і квасу об'ємом 54 м³.

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя на кафедрі обладнання харчових технологій

Пояснювальна записка складається з (кількість) сторінок комп'ютерного тексту, містить (кількість) рисунків, (кількість) таблиць та (кількість) додатків. Список використаної літератури налічує (кількість) найменувань. Графічна частина представлена на (кількість) аркушах формату А1, виконаних у середовищі автоматизованого проектування.

У цій роботі розглядається технологічне обладнання пивоварної галузі, а саме циліндрично-конічний танк (ЦКТ) робочою місткістю 54 м³, що працює під надлишковим тиском до 0,15 МПа.

Предметом цієї роботи є конструктивні параметри, технологія монтажу, система технічного обслуговування та регламент планово-попереджувальних ремонтів зазначеного апарата.

У загально-технічній частині обґрунтовано актуальність впровадження великогабаритних ЦКТ для інтенсифікації бродильних процесів. Проведено детальний аналіз будови та принципу дії апарата, описано фізико-хімічні основи «ефекту Натана».

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			Анотація	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.					1	
						гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

У технологічній частині розроблено повний цикл монтажних робіт. Детально описано технологію аргонодугового зварювання (метод 141 згідно з ISO 4063) із використанням вольфрамових електродів марки WT20. Сформовано комплексну систему технічного обслуговування, яка базується на стратегії планово-попереджувального ремонту (ППР). Розроблено дефектовочну карту типових несправностей ЦКТ (корозія швів, порушення герметичності люків, кавітаційний знос арматури) та запропоновано методи їх усунення. Окремо розраховано режими санітарної обробки в системі СІР з використанням лужних та кислотних розчинів.

У конструкторській частині виконано перевірочні та проєктні розрахунки елементів танка на міцність і стійкість відповідно до чинних норм (ДСТУ/ISO). Розраховано товщини стінок циліндра, конуса та торосферичної кришки.

Розділ охорони праці містить заходи з безпеки при роботі з посудинами під тиском та під час проведення зварювальних робіт у замкненому просторі. Екологічна частина розглядає питання очищення стічних вод після СІР-мийки.

Ключові слова: ЦИЛІНДРИЧНО-КОНІЧНИЙ ТАНК (ЦКТ), БРОДІННЯ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, МОНТАЖ, РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ, ПАТЕНТНИЙ АНАЛІЗ, ДЕФЕКТОВКА, SOLIDWORKS, ПЛАНОВО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНИЙ РЕМОНТ (ППР)

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Annotation

The qualification paper was completed by: Kozhushko Vitalii Stepanovich

Group: MO-41

Supervisor: Vitenko Tetiana Mykolaivna

Theme of the bachelor's qualification paper: Development of the design and maintenance measures for a cylindro-conical tank for beer and kvass fermentation with a volume of 54 m³.

The bachelor's qualification paper was completed at Ternopil Ivan Puluj National Technical University at the Department of Food Technology Equipment.

The explanatory note is composed of (number) pages of computer text; (number) figures, (number) tables, and (number) appendices are contained within it. (number) titles are included in the list of references. The graphic part is presented on (number) sheets of A1 format, which were executed in a computer-aided design environment. In this work, the technological equipment of the brewing industry is considered, namely a cylindro-conical tank (CCT) with a working capacity of 54 m³, which is operated under an overpressure of up to 0.15 MPa.

The design parameters, installation technology, maintenance system, and schedule of planned preventive maintenance of the specified apparatus are defined as the subject of this work.

In the general technical part, the relevance of introducing large-scale CCTs for the intensification of fermentation processes is justified. A detailed analysis of the structure and operating principle of the apparatus has been conducted, and the physicochemical principles of the "Nathan effect" have been described.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кожушко В.С.			Annotation			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.							3	
								гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.								
Затверд.		Пилипець О.М.								

In the technological part, a full cycle of installation works has been developed. The technology of argon arc welding (method 141 according to ISO 4063) using tungsten electrodes of the WT20 brand is described in detail. A comprehensive maintenance system based on the strategy of planned preventive maintenance (PPM) has been formed. A defect map of typical CCT malfunctions (weld corrosion, loss of hatch tightness, cavitation wear of fittings) has been developed, and methods for their elimination have been proposed. Separately, the modes of sanitary processing in the CIP system using alkaline and acid solutions have been calculated.

In the design part, verification and design calculations of the tank elements for strength and stability have been performed in accordance with current standards (DSTU/ISO). The wall thicknesses of the cylinder, cone, and torispherical head have been calculated.

Safety measures for working with pressure vessels and during welding operations in confined spaces are contained in the occupational safety section. The issue of wastewater treatment after CIP washing is considered in the ecological part.

Keywords: CYLINDRO-CONICAL TANK (CCT), FERMENTATION, MAINTENANCE, INSTALLATION, STRENGTH CALCULATION, PATENT ANALYSIS, DEFECT IDENTIFICATION, SOLIDWORKS, PLANNED PREVENTIVE MAINTENANCE (PPM)

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Зміст

Анотація	1
Annotation.....	3
Зміст	5
ВСТУП.....	7
1. Загально-технічна частина.....	9
1.1 Аналіз вихідної інформації. Призначення та сфера застосування ЦКТ об'ємом 54 м³	9
1.2 Опис конструкції та принцип дії апарата.....	11
1.3 Аналіз сучасних підходів і технологій, що застосовуються при монтажі та ремонті ємнісного обладнання	15
1.4 Мета і задачі кваліфікаційної роботи	17
2. Технічна частина. Експлуатація та ремонт	19
2.1 Особливості експлуатації ЦКТ як посудини, що працює під тиском .	19
2.2 Організація монтажних робіт, приймання і зберігання обладнання ..	21
2.2.1 Технологія зварювання корпусних деталей (метод TIG) та контроль якості швів	21
2.2.2 Монтаж теплоізоляції та захисного кожуха	24
2.3 Організація технічного обслуговування та діагностики стану металу	25
2.4 Визначення структури та тривалості ремонтного циклу	26
2.4.1 Система планово-попереджувального ремонту (ППР)	27
2.5 Розробка технологічного процесу виготовлення адаптера	29
2.5.1 Розробка технологічного маршруту механічної обробки деталі	33
2.5.2 Визначення припусків та міжопераційних розмірів, проєктування заготовки.....	36
2.6 Технологічний регламент збирання та розбирання купольної арматури ЦКТ.....	44
3. Конструкторська частина	50

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			Зміст	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.					5	
						гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

3.1 Розрахункові зони. Вибір та обґрунтування конструкційних матеріалів для харчових середовищ	50
3.2 Розрахунок товщини стінки торосферичної кришки.....	53
3.3 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки	55
3.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки з тороїдальним переходом	58
3.5 Розрахунок конічної обичайки навантаженої внутрішнім надлишковим тиском	60
3.6 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки з конічною обичайкою.....	61
3.7 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки у місці встановлення люка	63
3.8 Розрахунок товщини стінки нижньої обичайки у місці кріплення люка	64
3.9 Розрахунок товщини стінки місця з'єднання конуса люка з циліндричною обичайкою	65
3.10 Розрахунок товщини стінки конуса люка	67
3.11 Розрахунок товщини стінки переходу у місці з'єднання нижньої конічної частини баку з трубою	68
3. 12 Розрахунок міцності зварного шва підсилюючої обичайки для ЦКТ.....	71
4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	72
4.1 Аналіз умов праці та заходи безпеки при експлуатації ЦКТ	72
4.2 Екологічна безпека та утилізація відходів.....	73
Перелік посилань	77

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Актуальність теми. Харчова промисловість України, зокрема галузь пивоваріння та виробництва безалкогольних ферментованих напоїв, на сучасному етапі розвитку потребує масштабного переоснащення та впровадження високоефективного технологічного обладнання. Одним із найбільш прогресивних напрямків у цій сфері є перехід від традиційних методів бродіння у відкритих чанах до використання герметичних циліндрично-конічних танків (ЦКТ). ЦКТ робочим об'ємом 54 м³ є оптимальним інженерним рішенням для підприємств середньої та великої потужності, оскільки вони дозволяють реалізувати концепцію «одноапаратного» виробництва, об'єднуючи стадії головного бродіння, доброджування, карбонізації та дозрівання напою в межах одного технічного пристрою.

Економічна доцільність використання великогабаритних ЦКТ зумовлена значним скороченням тривалості виробничого циклу. Це досягається завдяки реалізації так званого «ефекту Натана» [7], де підвищений гідростатичний тиск стовпа рідини в апаратах великої висоти інтенсифікує метаболізм дріжджів та прискорює насичення напою природним діоксидом вуглецю. Проте, експлуатація таких апаратів пов'язана з низкою інженерних викликів. ЦКТ об'ємом 54 м³ працює в умовах значного надлишкового тиску (до 0,15 МПа) та піддається постійним температурним коливанням. Це вимагає від конструкції високої втомної міцності, ідеальної герметичності та бездоганної якості зварних з'єднань, виконаних із корозійностійких сталей.

Окремим критичним аспектом є питання технічного обслуговування (ТО) та ремонтпридатності. Враховуючи значну вартість обладнання та великі об'єми продукту, що знаходиться всередині (понад 50 тон рідини), будь-яка відмова від порушення герметичності люка до виходу з ладу системи

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			Вступ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.					7	
						гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

охолодження призводить до масштабних фінансових збитків. Тому розроблення конструкції, яка б поєднувала надійність, енергоефективність та зручність у проведенні регламентних робіт і санітарної обробки, є актуальним науково-практичним завданням для бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є комплексне розроблення конструкції циліндрично-конічного танка робочим об'ємом 54 м³, обґрунтування технології його монтажу та формування системного регламенту технічного обслуговування, що забезпечать безпеку експлуатації та стабільність технологічних показників виробництва.

Методи розрахунку базуються на використанні основних положень опору матеріалів, теорії розрахунку тонкостінних оболонок, методів тепломасообміну, а також застосуванні сучасних систем автоматизованого проєктування (САПР).

Практичне значення полягає у розробленні готового до впровадження регламенту монтажу та ТО, що дозволяє підвищити ресурс обладнання та знизити ймовірність аварійних зупинок на 15–20%.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Загально-технічна частина

1.1 Аналіз вихідної інформації. Призначення та сфера застосування ЦКТ об'ємом 54 м³

Сучасний етап розвитку технологій у харчовій промисловості, зокрема у броварній галузі та виробництві квасу і безалкогольних напоїв, характеризується глобальним переходом підприємств від класичних екстенсивних технологій (бродиння у відкритих горизонтальних чанах) до інтенсивних закритих систем. Головним елементом такого технологічного переоснащення є циліндрично-конічний танк (ЦКТ) спеціалізована вертикальна ємність закритого типу, яка виконує функцію складного біохімічного реактора. Цей апарат дозволяє об'єднати стадії головного спиртового бродиння, доброджування, природної карбонізації (насичення діоксидом вуглецю), освітлення та тимчасового зберігання напою в одному герметичному об'ємі без проміжних перекачувань продукту.

Проектований циліндрично-конічний танк має номінальний (робочий) об'єм 54 м³. Вибір саме такої місткості обумовлений потребами оптимізації виробничих площ підприємства та кратністю до об'ємів варок у варильному відділенні (зазвичай ЦКТ заповнюється за 2-4 варки протягом доби). Однак, з огляду на специфіку біохімічних реакцій бродиння, що протікають у суслі за участю дріжджових культур, процес супроводжується інтенсивним виділенням діоксиду вуглецю (CO₂) та утворенням високого шару щільної білково-хмельової піни (так званої «завиткової» стадії). Тому, згідно з правилами проектування ємнісного обладнання, розрахунковий коефіцієнт заповнення танка становить $\eta = 0.8 \dots 0.85$, [7]. Це означає, що для забезпечення безпечної роботи з робочим об'ємом 54 м³, повний геометричний об'єм апарата повинен становити не

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			1. Загально-технічна частина	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.					9	
						гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

менше 63,5–65 м³. Наявність 15–20 % вільного простору (газової камери) у верхній частині ємності є критично важливою умовою для запобігання викиду піни у газовідвідну магістраль та запірно-запобіжну арматуру.

Сферою застосування даного обладнання є цехи бродіння і табірні відділення пивоварних заводів, підприємств з виробництва квасу та сидру. Завдяки своєму вертикальному виконанню ЦКТ забезпечує надзвичайно високу питому продуктивність на один квадратний метр виробничої площі, що вигідно відрізняє його від класичних табірних танків. Монтаж таких апаратів може здійснюватися двома способами, як у закритих приміщеннях (ізольованих цехах), так і на відкритих майданчиках. При встановленні на вулиці до конструкції апарата висуваються підвищені вимоги. Проектується посилений шар поліуретанової теплоізоляції та застосовується міцний зовнішній захисний кожух, здатний витримувати вітрові, снігові навантаження та вплив прямої сонячної радіації.

Аналіз вихідної інформації вимагає детального розгляду робочого середовища та умов експлуатації, оскільки вони безпосередньо впливають на розрахунок на міцність. Робоче середовище всередині апарата є багатокомпонентним і гетерогенним. Воно включає рідку фазу (пивне або квасне сусло з густиною 1040...1060 кг/м³), тверду фазу (суспендовані дріжджові клітини та білкові коагулянти) та газоподібну фазу (CO₂). Середовище має слабокислу реакцію (рН на рівні 4,0–4,5), що разом із наявністю розчиненого вуглекислого газу та органічних кислот робить його потенційно корозійно-активним. Крім того, під час санітарної обробки (CIP-мийки) внутрішня поверхня піддається впливу агресивних лужних (розчини гідроксиду натрію NaOH 1-2 %) та кислотних (розчини азотної або фосфорної кислот) мийних засобів. Саме тому матеріалом для виготовлення робочої колби ємності слугує виключно високолегована харчова нержавіюча сталь.

Особливістю роботи проєктованого ЦКТ є його функціонування в умовах циклічних змін тиску та температур

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Баричний (тисковий) режим. Апарат належить до класу посудин, що працюють під тиском. Процес доброджування і насичення продукту вуглекислим газом відбувається під надлишковим манометричним тиском до 0,15 МПа. Крім того, необхідно враховувати гідростатичний тиск. Для танка об'ємом 54 м³, висота стовпа рідини може сягати 7-8 метрів, що створює додатковий гідростатичний тиск на найнижчу точку конічного днища на рівні 0,06–0,07 МПа. Також ємність повинна витримувати короточасне виникнення вакууму, яке може утворитися при різкому зливі продукту або під час охолодження танка після гарячої стадії мийки.

Температурний режим. Бродіння є вираженим екзотермічним процесом (виділяється близько 586 кДж теплоти на 1 кг зброженого екстракту). Температурний графік усередині танка коливається в дуже широких межах від +25 °С (при задаванні дріжджів у квасне сусло) або +10...+12 °С (для класичних сортів пива) до 1...2 °С на стадії глибокого охолодження, дозрівання і стабілізації перед розливом.

1.2 Опис конструкції та принцип дії апарата

Циліндрично-конічний танк (ЦКТ) робочим об'ємом 54 м³ зображений на рисунку 1.1, являє собою складну інженерну конструкцію вертикальну зварну посудину закритого типу, яка працює під надлишковим тиском і складається з низки функціональних вузлів. Кожен елемент конструкції спроектований з урахуванням суворих вимог до міцності, мікробіологічної безпеки та термодинамічної ефективності процесу бродіння.

Базова конструкція апарата включає три основні оболонки вертикальну циліндричну обичайку (корпус), нижнє конічне днище та верхню кришку (найчастіше торосферичної або еліптичної форми). Апарат спирається на фундамент за допомогою несучих опор.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Циліндричний корпус формує основний робочий об'єм танка. Він виготовляється з листового прокату харчової корозійностійкої сталі марки AISI 304. Вибір вертикальної циліндричної форми зумовлений двома факторами. По-перше, циліндр оптимально витримує внутрішній надлишковий тиск (до 0,15 МПа), рівномірно розподіляючи напруження по стінках; по-друге, значна висота стовпа рідини створює необхідний гідростатичний тиск. Високий гідростатичний тиск у нижній третині циліндра підвищує розчинність діоксиду вуглецю (CO_2), що забезпечує природну карбонізацію напою та скорочує час його дозрівання.

Внутрішня поверхня циліндра піддається спеціальній механічній та хімічній обробці (шліфування, полірування, травлення та пасивація) для досягнення показника шорсткості $R_a \leq 0,6$ мкм. Абсолютна гладкість стінок є критично важливою, оскільки вона унеможливує утворення мікробіологічних плівок (біофільмів) та забезпечує повне змивання білкових залишків під час санітарної обробки.

Конічне днище приварюється до нижньої кромки циліндричної обичайки і відіграє ключову роль у технології ЦКТ. Кут розхилу конуса для танків об'ємом 54 м³ зазвичай становить 60–70 градусів. Цей параметр розрахований на основі фізико-механічних властивостей дріжджового осаду. Кут 60° забезпечує їх безперешкодне гравітаційне сповзання по стінках і щільне пресування в найнижчій точці конуса.

У вершині конуса розміщено розвантажувальний вузол. Завдяки такій конструкції, після завершення фази головного бродіння, дріжджова маса легко

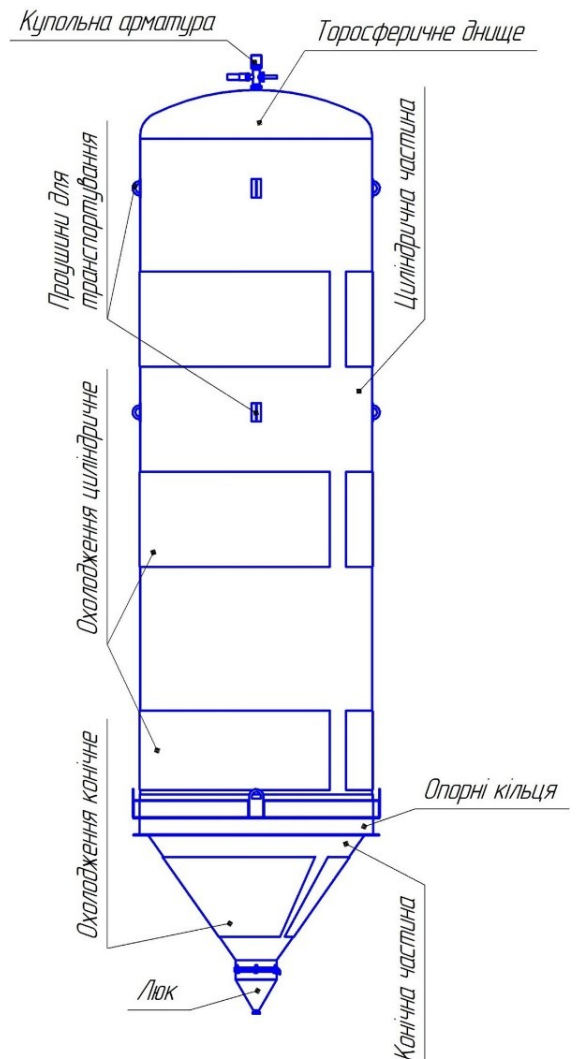


Рисунок 1.1-Загальний вигляд ЦКТ

відводиться з апарата без порушення герметичності та без необхідності перекачувати молоде пиво в іншу ємність. Це мінімізує втрати екстракту та знижує ризик окислення продукту.

Верхня частина ЦКТ закривається торосферичним або еліптичним днищем. Вибір такої форми (на відміну від плоскої) продиктований вимогами опору матеріалів. Торосферична форма найкраще протистоїть циклічним навантаженням від внутрішнього тиску газів. У верхній кришці формується газова камера (15–20 % від загального об'єму), де накопичується CO₂ та піна.

Для забезпечення доступу всередину ємності з метою її технічного огляду, дефектовки або ручного задавання інгредієнтів передбачено герметичний люк-лаз. Люк оснащується масивними відкидними болтами, надійним силіконовим або EPDM-ущільненням, що витримує багаторазові цикли відкривання-закривання та агресивний вплив СІР-мийки.

Оскільки спиртове бродіння супроводжується виділенням значної кількості теплової енергії, ЦКТ об'ємом 54 м³ обладнується потужною системою охолодження. Вона реалізована у вигляді ізольованих контурів (сорочок), які приварені до зовнішньої сторони робочої колби. Найчастіше використовуються сорочки панельного типу (Dimple -plate). Для забезпечення оптимальної конвекції рідини проєктується кілька незалежних зон охолодження.

Нижня зона (на конічному днищі) для охолодження осідаючих дріжджів, щоб запобігти їх автолізу (саморуйнуванню) і виділенню неприємних присмаків.

Середня та верхня зони (на циліндрі) для контролю температури основного об'єму сусла.

Поперемінне або каскадне вмикання цих зон створює температурні градієнти всередині танка, що викликає інтенсивну природну конвекцію охолоджене біля стінок пиво опускається вниз, а тепліше з центру піднімається вгору. Це забезпечує ідеальне перемішування без використання механічних мішалок. Робочий тиск холодоносія (розчину пропіленгліколю) в сорочках сягає 0,3 МПа.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для мінімізації втрат холоду та забезпечення енергоефективності підприємства, вся робоча колба разом із сорочками охолодження покривається шаром теплоізоляції. Застосовується заливний пінополіуретан (ППУ) або рулонний спінений каучук (товщиною 100-150 мм). Якісна теплоізоляція гарантує, що ЦКТ не буде витрачати енергію на охолодження навколишнього повітря і на ньому не буде утворюватися конденсат. Поверх ізоляції монтується несучий зовнішній кожух з нержавіючої сталі, який зварюється суцільним герметичним швом (зазвичай аргонодуговим зварюванням) для захисту утеплювача від вологи.

Безпечна робота ємності 54 м³ під тиском неможлива без складної системи арматурного обв'язування. У верхній точці кришки монтується арматурний блок, який включає:

1. Шпунт-апарат. Пристрій для плавного регулювання і скидання надлишкового тиску CO₂. Він підтримує заданий технологом тиск карбонізації (до 0,15 МПа).
2. Запобіжний клапан надлишкового тиску. Спрацьовує автоматично (зазвичай налаштовується на 0,17-0,18 МПа), запобігає розриву ємності.
3. Вакуумний клапан. Критично важливий елемент. Під час охолодження танка після гарячої мийки або при швидкому зливі пива всередині може утворитися вакуум. Без вакуумного клапана атмосферний тиск миттєво зімне 54-кубовий танк (явище імплзії).
4. Миюча головка (CIP). Ротаційна куля з форсунками, яка під тиском розпилює мийні розчини на 360 градусів, забезпечуючи ідеальну мийку внутрішніх поверхонь.
5. Також апарат оснащується датчиками температури (PT100), врізаними через спеціальні вварні адаптери в циліндр і конус, датчиками рівня та пробовідбірними кранами для лабораторного контролю в процесі бродіння.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Аналіз сучасних підходів і технологій, що застосовуються при монтажі та ремонті ємнісного обладнання

Впровадження у виробництво великогабаритного ємнісного обладнання, яким є циліндрично-конічний танк об'ємом 54 м³, вимагає застосування передових методів монтажу та високотехнологічних засобів технічного діагностування. Складність монтажних і ремонтних робіт зумовлена значними масогабаритними характеристиками апарата (маса порожнього танка перевищує кілька тонн, а висота може сягати 11–12 метрів), а також суворими санітарно-гігієнічними вимогами до якості поверхонь у харчовій промисловості.

Методи монтажу ЦКТ. У сучасній практиці монтажу великогабаритних харчових ємностей застосовують два основні підходи. Індустріально-агрегатний (постачання у повністю зібраному вигляді) та метод повузлового (поелементного) збирання безпосередньо на монтажному майданчику замовника. Для ЦКТ об'ємом 54 м³ найбільш раціональним є індустріально-агрегатний метод. Апарат виготовляється, зварюється, полірується та проходить первинні гідравлічні випробування в заводських умовах виробника, де є доступ до спеціалізованих стендів, зварювальних установок для електрохімічного полірування. На територію пивоварного заводу танк доставляється спецтранспортом як негабаритний вантаж.

Процес встановлення ЦКТ у проектне положення вимагає точного розрахунку такелажних схем. Підйом ємності з горизонтального транспортного положення у вертикальне робоче здійснюється двома кранами (основний кран піднімає за верхні такелажні вушка, допоміжний підтримує нижню частину для запобігання удару конуса об землю). Встановлення відбувається на заздалегідь підготовлений залізобетонний фундамент із використанням анкерних болтів або спеціальних тензометричних датчиків ваги (якщо передбачена автоматизована система контролю маси продукту).

Технології зварювання при монтажі та обв'язці. Незважаючи на агрегатну поставку, на місці експлуатації виконується значний обсяг зварювальних робіт. Приварювання опор, підключення продуктових та мийних магістралей

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

(трубопроводів), монтаж колекторів холодоносія. Оскільки базовим матеріалом є аустенітна сталь AISI 304, основним методом з'єднання є аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом (TIG-зварювання Tungsten Inert Gas, згідно з класифікацією ДСТУ ISO 4063, [6] метод 141).

Перевага методу TIG полягає у відсутності розбризкування металу та шлаку, що критично важливо для харчових трубопроводів. Для захисту зварювальної ванни від окислення атмосферним повітрям використовується інертний газ аргон вищого гатунку (згідно з ДСТУ EN ISO 14175 [3]). Для забезпечення ідеального формування зворотного валика шва всередині труби обов'язково застосовується технологія піддуву (формування внутрішнього захисного середовища) аргонном. У найсучасніших умовах для обв'язки ЦКТ використовують автоматичні орбітальні зварювальні комплекси, які гарантують 100% повторюваність та ідеальну геометрію шва.

Методи ремонту та технічного діагностування. В процесі експлуатації під циклічною дією тиску та температурних градієнтів метал корпусу та зварні шви ЦКТ зазнають втоми, що може призвести до появи мікротріщин або порушення герметичності. Ремонтні роботи базуються на системі планово-попереджувального ремонту (ППР) [8] і включають використання методів неруйнівного контролю (НК) згідно з міжнародними стандартами (наприклад, ДСТУ EN ISO 17635 [4]).

Сучасні засоби діагностування стану ЦКТ включають:

1. Візуально-оптичний контроль (ВІК). Проводиться із застосуванням ендоскопів та бороскопів для огляду внутрішніх важкодоступних поверхонь танка та миючої головки без спуску персоналу всередину.
2. Ультразвукова дефектоскопія (УЗД). Основний метод контролю якості зварних з'єднань обичайок. Дозволяє виявити внутрішні дефекти (непровари, шлакові включення, внутрішні тріщини) на глибині металу.
3. Капілярна (кольорова) дефектоскопія. Найбільш ефективний метод для виявлення поверхневих мікротріщин на нержавіючій сталі. На поверхню

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

наноситься спеціальний пенетрант (червона рідина), який проникає в дефекти, після чого проявник забарвлює місця тріщин, роблячи їх видимими неозброєним оком. Цей метод активно використовується при ремонті фланцевих з'єднань та зон біля штуцерів.

Виконання будь-яких ремонтних зварювальних робіт на працюючому підприємстві вимагає суворого дотримання заходів безпеки. Перед початком робіт усередині 54-кубового ЦКТ апарат повинен бути повністю звільнений від продукту, промитий, провітрений від залишків діоксиду вуглецю CO₂, який є важчим за повітря і накопичується в конусі) та відключений від усіх магістралей за допомогою встановлення сталевих заглушок.

Застосування вищеописаних сучасних методів монтажу, високоточного аргонодугового зварювання та своєчасного неруйнівного контролю дозволяє гарантувати безперебійну роботу ЦКТ протягом усього нормативного терміну експлуатації (до 30 років) та звести до мінімуму ризик виникнення аварійних ситуацій.

1.4 Мета і задачі кваліфікаційної роботи

Враховуючи вищеописану складність технологічних процесів, інтенсивні термодинамічні навантаження та високі вимоги до надійності обладнання, формулюється головна мета даного дослідження.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення раціональної конструкції, технології монтажу та оптимізованого регламенту технічного обслуговування (ТО) циліндрично-конічного танка робочим об'ємом 54 м³, що забезпечать надійну роботу обладнання протягом усього терміну експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати конструктивно-технологічні параметри існуючих аналогів ЦКТ та провести патентний огляд сучасних рішень у сфері ємнісного обладнання під тиском.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2. Обґрунтувати вибір конструкційних матеріалів (сталь марки AISI 304) та методів їх з'єднання з урахуванням вимог харчової гігієни та механічної міцності.
3. Виконати перевірочні розрахунки на міцність основних елементів корпусу (циліндричної обичайки, конічного днища, торосферичної кришки) під дією внутрішнього надлишкового тиску та маси продукту.
4. Розробити технологічний регламент монтажу апарата, включаючи розрахунок такелажних пристроїв та опис процесів аргонодугового зварювання.
5. Сформулювати графік планово-попереджувальних ремонтів (ППР) та розробити дефектовочну карту для раннього виявлення несправностей

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Технічна частина. Експлуатація та ремонт

2.1 Особливості експлуатації ЦКТ як посудини, що працює під тиском

Циліндрично-конічний танк об'ємом 54 м³ належить до категорії обладнання підвищеної небезпеки, оскільки в процесі експлуатації він працює під надлишковим внутрішнім тиском (до 0,15 МПа) та піддається дії гідростатичного тиску багатотонного стовпа рідини. Експлуатація такого апарата повинна здійснюватися у суворій відповідності до вимог «Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском» (НПАОП 0.00-1.81-18 [9]) та технічного паспорта заводу-виготовлювача.

Специфіка експлуатації ЦКТ 54 м³ визначається складним поєднанням механічних навантажень, термічних циклів та агресивної дії технологічних середовищ. На відміну від статичних резервуарів, ЦКТ протягом одного виробничого циклу (тривалістю від 14 до 28 діб) проходить через кілька фаз, кожна з яких характеризується зміною напружено-деформованого стану корпусу.

Етап наповнення та гідростатичне навантаження. Під час заповнення танка охолодженим сусликом (54 000 літрів) на конічне днище та нижню обичайку діє зростаючий гідростатичний тиск. При висоті апарата близько 9–10 метрів, тиск у нижній точці конуса лише за рахунок маси продукту становить близько 0,08–0,1 МПа. Експлуатаційний персонал зобов'язаний контролювати швидкість наповнення, щоб уникнути гідравлічних ударів у системі трубопроводів та забезпечити рівномірний розподіл навантаження на опорні конструкції (лапи).

Етап герметичного бродіння (шпунтування). Головною особливістю експлуатації є робота під тиском вуглекислого газу (CO₂). На стадії доброджування шпунт-апарат налаштовується на тиск 0,12–0,15 МПа. Цей тиск діє на торосферичну кришку та верхню частину обичайки, створюючи розтягувальні напруження в металі. Будь-яке перевищення робочого тиску понад

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			2. Технологічна частина. Експлуатація та ремонт	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.					19	
						гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

встановлену норму (наприклад, через забивання газовідвідної трубки дріжджовою піною) є аварійною ситуацією. Контроль тиску здійснюється за допомогою повірених манометрів класу точності не нижче 1,5, встановлених на верхньому арматурному блоці.

Температурна компенсація та теплові напруження. Експлуатація ЦКТ супроводжується різкими змінами температури (від +25 °C під час задавання дріжджів або мийки до 2 °C під час дозрівання). Оскільки коефіцієнт лінійного розширення нержавіючої сталі AISI 304 є досить високим, такі перепади викликають термічні деформації. Особливу небезпеку становить процес охолодження. При різкому зниженні температури газ у газовій камері танка стискається (згідно з законом Бойля-Маріотта), що може призвести до утворення вакууму. Вакуумний клапан є критично важливим елементом експлуатаційної безпеки, його несправність призводить до миттєвої імплозії (зминання) корпусу під дією зовнішнього атмосферного тиску.

Санітарно-гігієнічна експлуатація (CIP-мийка). Експлуатаційний регламент передбачає обов'язкову санітарну обробку після кожного звільнення танка. Процес включає циркуляцію гарячих лужних (80 °C) та кислотних розчинів. Особливістю є те, що після гарячої мийки і наступного ополіскування холодною водою всередині 54-кубової ємності виникає ефект швидкої конденсації пари, що знову створює ризик виникнення вакууму. Тому регламент експлуатації забороняє повне закриття люків до повного вирівнювання температур всередині апарата.

До обслуговування ЦКТ допускаються особи, що пройшли навчання та мають посвідчення на право роботи з посудинами під тиском. Перед кожним циклом заповнення проводиться візуальний огляд герметичності люка-лазу, стану ущільнень та роботи шпунт-апарата.

Забороняється експлуатація апарата при наявності тріщин у зварних швах, випотівання рідини через стінки сорочок охолодження або при несправності манометра.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль корозійного стану. Оскільки в сорочках циркулює пропіленгліколь, а всередині знаходиться кисле середовище (рН 4,0), щорічно повинна проводитися ревізія на предмет виявлення пітингової корозії, особливо в зонах термічного впливу зварних швів.

Для забезпечення безпеки ЦКТ 54 м³ оснащується світловою та звуковою сигналізацією при перевищенні критичного тиску або температури. Всі дані з датчиків тиску та температури виводяться на пульт оператора або центральний контролер заводу (система SCADA), що дозволяє здійснювати моніторинг стану обладнання в режимі реального часу.

Таким чином, особливості експлуатації проєктованого ЦКТ полягають у необхідності балансування між високою технологічною ефективністю процесу бродіння та суворим дотриманням правил механічної безпеки великогабаритної посудини, що працює під тиском.

2.2 Організація монтажних робіт, приймання і зберігання обладнання

Доставка циліндрично-конічного танка об'ємом 54 м³ до місця встановлення та його переведення у робоче (вертикальне) положення є складною інженерною задачею. Оскільки апарат має значні габарити та відносно малу товщину стінки, його транспортування та стропування без спеціального оснащення неминуче призведе до втрати стійкості оболонки та критичних деформацій корпусу.

Для безпечного переміщення та підйому ємності використовується спеціально спроектована транспортно-монтажна рама. Вона являє собою жорстку просторову зварну металоконструкцію, яка бере на себе всі згинальні та крутильні навантаження під час транспортування та роботи кранового обладнання, забезпечуючи надійну фіксацію апарата.

На етапі конструювання несуча здатність цієї рами була підтверджена автоматизованим розрахунком на міцність методом скінченних елементів (у SolidWorks Simulation). Моделювання враховувало не лише статичну вагу порожнього апарата, але й динамічні коефіцієнти (можливі ривки та коливання

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

під час підйому). Згідно з отриманих даних конструкція має високу надійність, мінімальний коефіцієнт запасу міцності (Factor of Safety) становить 1,7 у найбільш навантажених вузлах з'єднання. Аналіз пружних переміщень підтвердив, що конструкція має достатню жорсткість, щоб виключити передачу згинальних моментів на тонкостінний корпус ЦКТ.

При встановленні ємності на монтажну раму діє суворе технологічне правило. Оскільки корпус ЦКТ виготовлено з аустенітної нержавіючої сталі AISI 304, а рама зазвичай зварюється з вуглецевого (чорного) прокату, їхній безпосередній контакт категорично заборонений. Впровадження частинок заліза в поверхню нержавійки згодом викликає інтенсивну осередкову (пітингову) корозію. Тому у місцях спирання апарата на раму обов'язково встановлюються демпфуючі поліуретанові, гумові або дерев'яні ложементи.

Перед початком монтажу маркшейдерська (геодезична) служба підприємства проводить нівелювання підготовленого монолітного залізобетонного фундаменту. Максимально допустиме відхилення опорних площин по висоті не повинно перевищувати ± 2 мм. Найменший перекис великогабаритного танка призведе до нерівномірного розподілу багатотонного гідростатичного навантаження на опорні лапи під час його експлуатації.

Підйом танка з горизонтального положення (на монтажній рамі) у вертикальне робоче положення виконується методом «ковзання» або «повороту в повітрі» з використанням двох автомобільних кранів. Основний кран більшої вантажопідйомності фіксує верхні такелажні вушка та здійснює підйом, тоді як допоміжний кран підтримує нижню частину апарата або саму монтажну раму, плавно переводячи ємність у вертикаль і не допускаючи торкання кінцевого днища до поверхні землі. Стропування самого ЦКТ здійснюється виключно за допомогою текстильних (капронових) стрічкових стропів або сталевих тросів у поліуретановій оболонці. Після встановлення ємності на анкерні групи фундаменту проводиться остаточна вивірка її вертикальності за допомогою лазерних приладів.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.1 Технологія зварювання корпусних деталей (метод TIG) та контроль якості швів

Після встановлення ЦКТ у проєктне положення розпочинається етап об'язування, приварювання технологічних трубопроводів, монтаж запірної арматури, колекторів подачі холодоносія в сорочки та системи СІР.

Всі зварювальні роботи на поверхнях, що контактують з пивним або квасним суслим, виконуються виключно методом аргондугового зварювання неплавким вольфрамовим електродом (TIG). Згідно з міжнародною класифікацією ДСТУ ISO 4063, [6]. Як електроди використовуються лантановані вольфрамові прутки марки WL-20 (колірне маркування синє), які, на відміну від торійованих, не є радіоактивними і забезпечують чудовий підпал дуги. В якості захисного середовища застосовується аргон вищого ґатунку з об'ємною часткою чистоти не менше 99,99 % (згідно з ДСТУ EN ISO 14175, [3])

Ключові технологічні особливості зварювання TIG для ЦКТ. Піддув кореня шва. Для запобігання окисленню (утворенню «їжаків» та мікропористості) на внутрішній поверхні зварного шва, внутрішній об'єм труби або локальна зона зварювання заповнюється інертним газом (аргоном) під невеликим надлишковим тиском. Це гарантує ідеально гладкий зворотний валик шва.

Температурний режим. Для запобігання втраті корозійних властивостей сталі AISI 304 (уникнення міжкристалітної корозії) необхідно суворо контролювати погонну енергію. Зварювання ведеться на мінімально можливих струмах з високою швидкістю, щоб температура металу в зоні термічного впливу не перевищувала 150–200 °C.

Хімічна постобробка. Після зварювання кожен шов піддається обов'язковій хімічній обробці. Спочатку наноситься травильна паста (на основі плавикової HF та азотної HNO_3 кислот), яка розчиняє оксидну плівку і кольори мінливості. Після промивання водою наноситься пасивуючий розчин, що відновлює захисний шар оксиду хрому на поверхні металу. На завершальному етапі внутрішні шви поліруються до шорсткості $Ra \leq 0,6$ мкм.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Контроль якості зварних з'єднань здійснюється методами неруйнівного контролю візуально-вимірювальним (100% швів) та капілярною дефектоскопією (найбільш навантажені вузли примикання опор до корпусу).

2.2.2 Монтаж теплоізоляції та захисного кожуха

Завершальним етапом монтажу є нанесення термоізоляції. Енергоефективність ЦКТ 54 м³ безпосередньо залежить від якості ізоляційного шару, оскільки апарат працює з холодоносіями, що мають мінусову температуру (до -4 °C).

Головна мета теплоізоляції мінімізація теплопритоків з навколишнього середовища та повне виключення утворення конденсату на зовнішніх стінках (що може призвести до корозії під ізоляцією, CUI). Як ізолюючий матеріал застосовується двокомпонентний жорсткий пінополіуретан (ППУ) або еластомерний спінений каучук. Розрахункова товщина ізоляції на циліндричній частині становить 100 мм, а в зоні конічного днища, де акумулюються охолоджені дріжджі 120-150 мм.

Технологія монтажу передбачає створення своєрідного «термоса». Поверх робочої колби із сорочками охолодження монтується зовнішній захисний кожух з тонколистової нержавіючої сталі AISI 304 товщиною 1,5–2,0 мм. Кожух збирається методом аргонодугового зварювання внапустку або за допомогою спеціального фальцевого замка з обов'язковою герметизацією силіконовими полімерами.

Після збирання зовнішнього кожуха у міжстінний простір через спеціальні отвори за допомогою ін'єкційної машини заливається рідка суміш компонентів ППУ (поліолу та ізоціанату). Відбувається хімічна реакція зі спіненням, піна заповнює весь вільний простір, обволікаючи штуцери та сорочки охолодження, створюючи монолітний ізоляційний шар без жодних містків холоду. Після застигання піни заливні отвори герметично заварюються.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконаний за такою технологією монтаж гарантує збереження робочих характеристик циліндрично-конічного танка, його механічну міцність та санітарно-гігієнічну чистоту виробничого процесу.

2.3 Організація технічного обслуговування та діагностики стану металу

Безпечна та безперебійна робота циліндрично-конічного танка об'ємом 54 м³ протягом нормативного терміну експлуатації (20–25 років) неможлива без суворої організації системи технічного обслуговування (ТО). Технічне обслуговування являє собою комплекс операцій з підтримання працездатності та справності обладнання при використанні за призначенням, очікуванні, зберіганні та транспортуванні.

Особливістю ЦКТ є те, що основний робочий об'єм закритого типу знаходиться під постійним впливом агресивних середовищ (кислого сусла, вуглекислого газу, лужних та кислотних мийних розчинів). Тому головним завданням технічного обслуговування є своєчасна діагностика стану металу та зварних з'єднань з метою запобігання розвитку корозійних та втомних руйнувань.

Регламент технічного обслуговування ЦКТ. Щозмінне ТО (проводиться оператором/апаратником бродіння). Включає візуальний огляд зовнішніх поверхонь (кожуха) на предмет відсутності механічних пошкоджень, перевірку герметичності люка-лазу, огляд фланцевих з'єднань арматурного блоку на наявність витоків продукту або CO₂. Обов'язково контролюється працездатність манометрів (стрілка повинна повертатися на нуль при знятті тиску) та відсутність обмерзання на патрубках подачі пропіленгліколю, що свідчило б про порушення теплоізоляції.

Періодичне ТО (проводиться службою головного механіка). Здійснюється за затвердженим графіком (зазвичай раз на 1–3 місяці). Включає перевірку спрацьовування запобіжних клапанів (надлишкового тиску та вакуумного) шляхом примусового короткочасного підриву, ревізію ущільнювальних прокладок (EPDM, силікон, вітон), перевірку кріплення анкерних болтів на

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

фундаменті та огляд ротаційної миючої головки системи СІР на предмет засмічення форсунок хмельовими смолами.

Діагностика стану металу. Оскільки нержавіюча сталь AISI 304 схильна до специфічних видів руйнування (пітингової корозії в середовищах, що містять іони хлору, та міжкристалітної корозії в зонах термічного впливу зварних швів), періодично проводиться інструментальна діагностика.

Для діагностики стану ЦКТ 54 м³ застосовують методи неруйнівного контролю (НК), згідно з міжнародними стандартами (наприклад, ДСТУ EN ISO 17635 [4]). Ультразвукова товщинометрія. Проводиться за сіткою координат по всій висоті циліндра та конуса. Дозволяє виявити локальне потоншення стінки внаслідок ерозії або загальної корозії. Результати заносяться до паспорта посудини. Якщо фактична товщина стінки наближається до розрахункової (відбракувальної) величини, робочий тиск в апараті має бути знижений.

Капілярна дефектоскопія. Застосовується для перевірки зварних швів (особливо в місцях приварювання опор до корпусу, де концентруються максимальні напруження). Дозволяє виявити мікротріщини втоми, які неможливо побачити неозброєним оком.

2.4 Визначення структури та тривалості ремонтного циклу

Ремонтний цикл це час роботи ЦКТ від моменту введення в експлуатацію до першого капітального ремонту, або між двома послідовними капітальними ремонтами. Для ємнісного обладнання з нержавіючої сталі, що працює під тиском, структура ремонтного циклу включає технічні обслуговування (ТО), поточні ремонти (П) та капітальні ремонти (К).

Враховуючи безперервний характер виробництва (ЦКТ працює 24 години на добу, 365 днів на рік за винятком часу на мийку), тривалість ремонтного циклу вимірюється в годинах фактичної роботи.

Відповідно до галузевих нормативів для ємнісного бродильного обладнання, [8], приймаємо такі нормативи.

Тривалість ремонтного циклу ($T_{\text{ц}}$) = 34 560 годин (приблизно 4 роки).

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Міжремонтний період (t_{mp}) — час між двома найближчими ремонтами (поточними або капітальними) = 8 640 годин (1 рік).

Міжоглядовий період (t_{mo}) — час між ремонтом та найближчим ТО = 2 160 годин (1 квартал).

Структура ремонтного циклу для проектного ЦКТ 54 м³ матиме такий вигляд:

К – ТО1 – ТО2 – ТО3 – П1 – ТО4 – ТО5 – ТО6 – П2 – ТО7 – ТО8 – ТО9 – П3 – ТО10 – ТО11 – ТО12 – К

П- поточний ремонт, К- капітальний ремонт, ТО-технічне обслуговування.

Поточний ремонт (П). Включає повну ревізію арматури (заміну мембран у клапанах, прокладок у люках), заміну масла в редукторах (якщо є допоміжні механізми), відновлення пошкоджених ділянок теплоізоляції та зовнішнього кожуха, калібрування контрольно-вимірювальних приладів (манометрів, термодатчиків РТ100). Апарат зупиняється на 2–3 доби.

Капітальний ремонт (К). Це найскладніший вид ремонту. Включає повне спорожнення та дегазацію танка, зняття всієї арматури, дефектоскопію 100% зварних швів, гідравлічні випробування сорочок охолодження та внутрішньої колби випробувальним тиском (1,25 від робочого), відновлення геометрії штуцерів (за потреби шляхом вирізання та вварювання нових сегментів аргонодуговим зварюванням), повну перевірку анкерних кріплень фундаменту та відновлення антикорозійного покриття опор.

2.4.1 Система планово-попереджувального ремонту (ППР)

Для забезпечення максимальної готовності обладнання та запобігання раптовим (аварійним) виходам з ладу, на підприємстві впроваджується система планово-попереджувального ремонту ППР (Таблиця 2.1), [8]. Суть системи ППР полягає в тому, що після відпрацювання обладнанням певної, заздалегідь встановленої кількості годин, воно виводиться з експлуатації для проведення планових оглядів та ремонтів певної категорії.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 2.1 – Графік ППР

Графік планово-попереджувального ремонту циліндрично-конічного танка (ЦКТ) з об'ємом 54 м³

Затверджую														Головний інженер	
№ п/п	Обладнання	Тип, марка	Інвентарний номер	Час вводу в експлуатацію	Останній ремонт в попередньому році		Строк служби чи направлення з часу останнього ремонту		Тривалість			План і виконання			
					Вид	Міс	Ремонту	ТО	Ремонтного циклу	Періодів					
										Ремон тамп	ТО				
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
	Циліндрично-конічний танк	-	1	2020						12/4200	3/1050	1/350	Строк служби, міс/год	Планові очікування	
														План	
														Виконання	

Затверджую

Головний інженер

Напрацювання і види ремонтів і ТО по місяцях і їх трудомісткість												Загальна трудомісткість робіт			
Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Всього	Слюсарні	Верстатні	Інші
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	163	45,36	32,6	13,04
к/35	ТО/1	ТО/1	м/7	ТО/1	ТО/1	с/21	ТО/1	ТО/1	мо/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1
ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1	ТО/1

2.5 Розробка технологічного процесу виготовлення адаптера

Адаптер IFM E43300 є критично важливим елементом конструкції ЦКТ об'ємом 54 м³. Ця деталь (Рисунок 2.1.) є стандартизованим допоміжним елементом систем контрольно-вимірювальної апаратури. Вона призначена для забезпечення герметичного сполучення між корпусом технологічного обладнання та первинними вимірювальними перетворювачами датчиками температури,

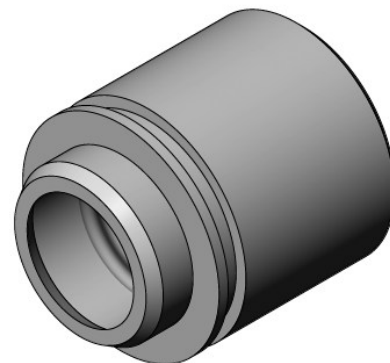


Рисунок 2.1. - Адаптер

тиску, рівня та інших параметрів середовища. Від надійності цього з'єднання безпосередньо залежить точність вимірювань і функціонування всього контрольно-регулюючого контуру.

Матеріал деталі та його властивості.

Використання нержавіючої сталі AISI 304 (08X18H10) обумовлене комплексом експлуатаційних вимог до деталі. Даний матеріал характеризується оптимальним поєднанням корозійної стійкості, механічних властивостей та технологічних якостей. Високий вміст хрому (17-19%) забезпечує стійкість до окислення та корозії в окисних середовищах, тоді як нікель (9-11%) стабілізує аустенітну структуру, надаючи матеріалу високої пластичності та ударної в'язкості.

Таблиця 2.2 - Механічні властивості сталі AISI 304

Марка	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Твердість HB, МПа
AISI 304	515	205	40	201

Механічні властивості сталі AISI 304 (Таблиця 2.2) які забезпечують добру зварюваність без обмежень, що дозволяє застосовувати всі види зварювання,

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

включаючи аргонно дугове (TIG), яке є оптимальним для даного випадку. Оброблюваність різанням характеризується як задовільна, однак висока в'язкість та схильність до наклепу вимагають спеціального підходу до вибору різального інструменту та режимів обробки.

Використання нержавіючої сталі 08X18H10 (AISI 304) має як переваги, так і недоліки з технологічної точки зору. До основних переваг можна віднести добру оброблюваність різанням при правильному підборі інструменту та режимів, відмінну зварюваність без обмежень, що є критично важливим для даного виробу, стійкість до корозії, що дозволяє використовувати звичайні рідини для охолодження, та відсутність необхідності термічної обробки після механічної обробки.

Однак матеріал має і суттєві недоліки. Високі вимоги до різального інструменту через абразивні властивості матеріалу, схильність до налипання та утворення звареної стружки, що ускладнює процес різання, відносно низька теплопровідність, що вимагає інтенсифікації охолодження, та підвищений знос оснастки порівняно з обробкою конструкційних сталей.

Експлуатаційні умови роботи адаптера характеризуються комплексним впливом різноманітних факторів:

1. Постійна дія робочого тиску всередині технологічної ємності, що може становити від вакууму до кількох десятків атмосфер.
2. Вплив високих температур технологічного середовища, що може досягати до 200°C залежно від галузі застосування.
3. Агресивність робочого середовища, що вимагає корозійної стійкості матеріалу деталі.
4. Циклічні термічні та механічні навантаження, пов'язані з технологічними процесами.
5. Високі вимоги до герметичності з'єднання для запобігання втраті робочого середовища.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з технічним завданням, річна програма випуску становить 5000 штук, що відповідає умовам середньосерійного виробництва. Розрахунковий такт випуску складає 45,6 хв/шт, що дозволяє організувати роботу за предметно-груповим принципом із використанням універсального та спеціалізованого обладнання.

Вибір заготовки проводився шляхом порівняння методу штампування та використання сортового прокату. Враховуючи програму випуску, використання гарячекатаного прутка Ø32 мм є найбільш раціональним. Це мінімізує витрати на підготовку виробництва, попри нижчий коефіцієнт використання матеріалу порівняно зі штампуванням.

Конструкція адаптера являє собою тіло обертання зі складною системою внутрішніх порожнин та зовнішніх контурів, що виконують специфічні функції.

Основний корпус діаметром Ø30 мм з допуском h14 служить установчою та напрямною базою при монтажі адаптера в отвір ємності.

Фаска під кутом 45° виконує подвійну функцію. Технологічну, забезпечує оптимальний профіль зварного шва при з'єднанні з тонкостінним корпусом ємності, та експлуатаційну, яка формує плавний перехід між деталлю та корпусом, зменшуючи концентрацію напрути у зоні з'єднання. Вимога до шорсткості Ra 6.3 мкм. обумовлена необхідністю забезпечення якісного змочування розплавленим металом при зварюванні.

Різьбова частина G1/2", [5] призначена для кріплення вимірювального приладу. Вибір саме трубного циліндричного різьблення обумовлений його уніфікацією та поширеністю у вимірювальній апаратурі. Герметичність з'єднання забезпечується за рахунок додаткових ущільнювальних засобів. Технологічний маршрут розроблено з метою поступового формування точних функціональних поверхонь та дотримання принципів єдності баз.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

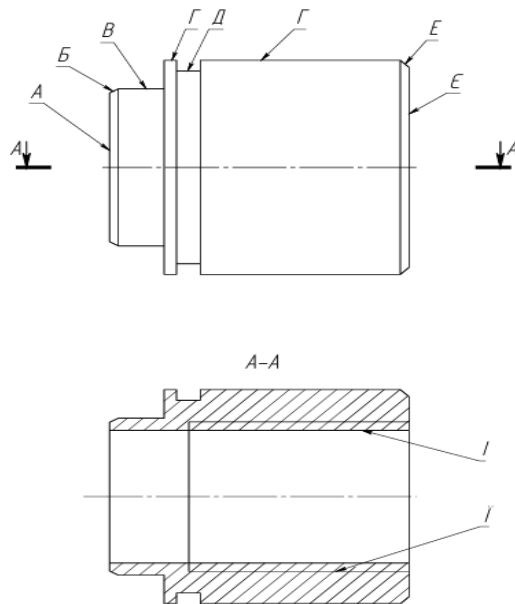


Рисунок 2.4 - Поверхні адаптера

Під час виконання перших (чорнових) операцій заготовка базується на своїй зовнішній необробленій циліндричній поверхні (пруток $\varnothing 32$), (рисунок 2.4). Це дозволяє виконати перше підрізання торця (поверхня А або Є) та чорнове формування посадкових діаметрів В ($\varnothing 22$) і Г ($\varnothing 30$), а також проточки Д і зовнішніх фасок Б, Е. Після цього проводиться обробка внутрішніх поверхонь отвору І та різьби ІІ.

Після формування чорнових баз проводиться обробка основних точних поверхонь. Встановлено, що найбільш жорсткі вимоги пов'язані із забезпеченням співвісності внутрішнього отвору під різьбу (поверхні І, ІІ) із зовнішнім діаметром $\varnothing 30h6$ (поверхня Г), а також перпендикулярності цих осей до базового торця. Тому основною напрямною технологічною базою на чистових токарних та свердлувальних і різьбових операціях приймається зовнішня циліндрична поверхня Г у комплексі з точно обробленим торцем. У такому положенні забезпечується отримання правильної геометричної форми деталі та відповідність вимогам креслення щодо співвісності всіх елементів.

Таке базування дозволяє одержати необхідну точність взаємного розташування поверхонь, зберегти співвісність та мінімізувати похибки. Це

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

досягається завдяки тому, що обраний комплекс технологічних баз (поверхня Г та торець) точно збігається з основними конструкторськими базами деталі, що дозволяє повністю реалізувати принцип єдності баз.

2.5.1 Розробка технологічного маршруту механічної обробки деталі

На основі аналізу вимог точності, шорсткості та властивостей матеріалу (сталь 08X18H10) для кожної функціональної поверхні деталі " Адаптер IFM E43300" була визначена оптимальна кількість та послідовність технологічних переходів. Основним принципом побудови маршруту (Таблиця 2.2) було поступове наближення від заготівлі до готової деталі з формуванням точних базових поверхонь на ранніх етапах.

Для деталі " Адаптер IFM E43300" обрано наступну систему баз, що забезпечує оптимальну точність виготовлення на універсальному обладнанні.

Таблиця 2.2 - Технологічний маршрут механічної обробки деталі

№ з/п	Найменування операції	Обладнання	Технологічні бази	Інструмент
005	Відрізна Відрізання заготовки довжиною $40 \pm 0,5$ мм від прутка $\varnothing 32$ мм Контроль геометричних параметрів заготовки	Верстат відрізний	Пруток $\varnothing 32$ А	Різець відрізний
010	Токарна чорнова Встановлення А: 1. Підрізання торця (формування чорнової	16K50	Встан. А, Б: Зовн. поверхня, торець (чорнові)	Різці прохідні чорнові (Т5К10),

№ з/п	Найменування операції	Обладнання	Технологічні бази	Інструмент
	бази) 2. Обточування зовнішнього діаметра до Ø30,5 мм (чорнове) 3. Формування фаски 45° 4. Обточування конусних поверхонь Встановлення Б: 1. Підрізання протилежного торця до довжини 35 мм 2. Обточування циліндра Ø22 мм 3. Формування фаски 1×45° Токарна чистова Встановлення В: 1. Точне підрізання торця (чистова база) 2. Чистове обточування Ø30h6 3. Формування чистової фаски 45° Встановлення Г: 1. Точне підрізання		Встан. В, Г: Ø30h6, торець (чистові бази) Б,В,Г,Д,Е,Є	підрізний, канавочний, різці чистові (ВК8)

№ з/п	Найменування операції	Обладнання	Технологічні бази	Інструмент
	торця до розміру 1,66 мм 2. Чистове обточування конусних поверхонь 3. Формування чистової фаски 1×45°			
015	Свердлильна 1. Центрування 2. Свердління отвору Ø17,5 мм 3. Зенкерування отвору до Ø18,6H10 4. Нарізування різьби G1/2"-6H мітчиком	2A135	Внутр. отвір Ø18,6 I,І (через кондуктор: торець деталі та Ø30h6)	Свердло центрове Ø5, свердло Ø17,5, зенкер Ø18,6, метчик G1/2" (комплект Р6М5)
020	Контрольна Повний контроль параметрів готової деталі	Контрольний стіл	Поверхні за кресленням	Калібр-пробка G1/2"-6H, мікрометр, штангенциркуль, шаблон

2.5.2 Визначення припусків та міжопераційних розмірів, проєктування заготовки

У цьому розділі виконано аналітичний розрахунок мінімально необхідних припусків на механічну обробку основних поверхонь деталі та визначені операційні розміри для технологічного процесу (Таблиця 2.3).

Вихідні дані та маршрут обробки:

1. Заготовка. Гарячекатаний пруток $\varnothing 32 \pm 1.0$ мм зі сталі 08X18H10.
2. Конструкторський розмір. $\varnothing 30_{\text{м6}}$, $d_{\text{max}} = 30.021$ мм, $d_{\text{min}} = 30.008$ мм, $d_{\text{сер}} = 30.0145$ мм.
3. Маршрут обробки.

Точіння чорнове-Точіння чистове-Шліфування чистове.

4. Довжина оброблюваної ділянки (L). 25 мм.

Сумарне просторове відхилення заготовки з сортового прокату розраховують за формулою, наведеною в [10]:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \quad (2.1)$$

де ρ_z - сумарне просторове відхилення заготовки, мм;

ρ_k - просторове відхилення через кривизну (короблення) прокату, мм;

$\rho_{\text{ц}}$ - похибка центрування заготовки в трикулачковому патроні, мм.

Загальна кривизна заготовки.

$$\rho_k = \Delta_k \cdot L = 1 \cdot 25 = 25 \text{ мм} \quad (2.2)$$

де $\Delta_k = 1$ мм - питома кривизна для прутка $\varnothing 32$ мм

Похибка центрування в трикулачковому патроні розраховують за формулою, наведеною в [10]:

$$\rho_{\text{ц}} = \sqrt{(0.25 \cdot \delta_3)^2 + e^2} = \sqrt{(0.25 \cdot 1)^2 + 0.03^2} = 0,252 \text{ мм} \quad (2.3)$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\delta_3 = 1$ мм — допуск на діаметр заготовки,

$e = 0.03$ мм — ексцентриситет патрона.

Сумарне відхилення.

$$\rho_3 = \sqrt{0.025^2 + 0.252^2} = 0.253 \text{ мм}, \quad (2.4)$$

Приймаємо для розрахунку $\rho_3 = 0.25 \text{ мм} = 250 \text{ мкм}$.

Розрахунок залишкових просторових відхилень.

Коефіцієнти уточнення k_y

Після чорнового точіння: $k_{y1} = 0.06$

Після чистового точіння: $k_{y2} = 0.04$

Після шліфування: $k_{y3} = 0.02$

Просторове відхилення для чорнового точіння заготовки:

$$\rho_{\text{чорн.точ.}} = 0.06 \cdot 250 = 15 \text{ мкм};$$

Просторове відхилення для чистового точіння заготовки:

$$\rho_{\text{чист.точ.}} = 0.04 \cdot 250 = 10 \text{ мкм};$$

Просторове відхилення для шліфування:

$$\rho_{\text{шліф}} = 0.02 \cdot 250 = 5 \text{ мкм}.$$

Мінімальний двобічний припуск на механічну обробку (на діаметр) розраховують за базовою формулою розрахунково-аналітичного методу, наведеною в [10]:

$$2z_{\min i} = 2 \cdot (R_{z(i-1)} + T_{(i-1)} + \rho_{(i-1)}), \quad (2.5)$$

Під чорнове точіння:

$$2z_{\min 1} = 2 \cdot (150 + 200 + 250) = 1200 \text{ мкм} = 1.2 \text{ мм}$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під чистове точіння:

$$2Z_{\min 2} = 2 \cdot (50 + 50 + 15) = 230 \text{мкм} = 0.23 \text{мм}$$

Під шліфування:

$$2Z_{\min 3} = 2 \cdot (20 + 25 + 10) = 110 \text{мкм} = 0,11 \text{мм}$$

Визначення операційних розмірів та їх допусків.

Розрахунок ведемо від найменшого розміру деталі до заготівлі.

Розмір після шліфування:

$$d_{\min. \text{шліф.}} = 30.008 \text{мм.}$$

Розмір після чистового точіння:

$$d_{\min. \text{чист.точ.}} = d_{\min. \text{шліф.}} + 2Z_{\min 3} = 30.008 + 0.11 = 30.118 \text{мм.}$$

Розмір після чорнового точіння:

$$d_{\min. \text{чорн.точ.}} = d_{\min. \text{чист.точ.}} + 2Z_{\min 2} = 30.118 + 0.23 = 30.348 \text{мм.}$$

Розмір заготовки:

$$d_{\min. \text{заг.}} = d_{\min. \text{чорн.точ.}} + 2Z_{\min 1} = 30.348 + 0.12 = 31.548 \text{мм.}$$

Встановлюємо допуски на міжопераційні розміри і розмір заготовки:

- на шліфування IT6 = 13 мкм;
- на чистове точіння IT 10 = 85 мкм;
- на чорнове точіння IT 14 = 210 мкм;
- на заготовку IT 16 = 1000 мкм

Обчислюємо найбільші операційні розміри і розмір заготовки.

- після шліфування:

$$d_{\max. \text{шліф.}} = 30 + 0,013 = 30,013 \text{мм}$$

- після чистового точіння:

$$d_{\max. \text{точ.чист.}} = 30.118 + 0,085 = 30,203 \text{мм}$$

- після чорнового точіння:

$$d_{\max. \text{точ.чорн.}} = 30.348 + 0,21 = 30,558 \text{мм}$$

- розмір заготовки:

$$d_{\max. \text{заг.}} = 31.548 + 1 = 32,548 \text{мм}$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обчислюємо граничні значення допусків.

- для чистового шліфування:

$$2Z_{MIN}^{PP} = d_{min.шліф.} = 30.008\text{мм.}$$

$$2Z_{MAX}^{PP} = d_{max.шліф.} = 30,013\text{мм}$$

- для чистового точіння:

$$2Z_{MIN}^{PP} = d_{min.чорн.точ.} - d_{min.чист.точ.} = 30.348 - 30.118 = 0,23\text{мм}$$

$$2Z_{MAX}^{PP} = d_{max.точ.чорн.} - d_{max.точ.чист.} = 30,558 - 30,203 = 0,355\text{мм}$$

- для чорнового точіння:

$$2Z_{MIN}^{PP} = d_{min.заг.} - d_{min.чорн.точ.} = 31.548 - 30.348 = 1,2\text{мм}$$

$$2Z_{MAX}^{PP} = d_{max.заг.} - d_{max.точ.чист.} = 32,548 - 30,203 = 2,345\text{мм}$$

Обчислюємо загальний припуск.

$$2Z_0^{PP} = d_{max.заг.} - d_{min.шліф.} = 32,548 - 30.008 = 2,54\text{мм}$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3. - Розрахунок припусків та операційних розмірів на обробку Ø30h6

Технологічні переходи обробки	Елементи припуску, мкм	Розрах. Припуск $2Z_{min}$	Операційний розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм (IT)	Граничні розміри, мм	Граничні припуски, мм	Перевірка	$2Z_{pr}$ min	$2Z_{pr}$ max		
	Rz	T	ρ			min (dmin)	max (dmax)				
Заготовка (пруток Ø32)	150	200	250	–	31.548	1000 (поле)	32.548	30.008	30.013	–	–
Точіння чорнове	–	–	–	1200	30.348	210 (IT12)	30.558	0,23	0,355	2200	$\delta_{заг} - \delta_1 = 790$
Точіння чистове	50	50	15	230	30.118	84 (IT10)	30.203	1,2	2,345	440	$\delta_1 - \delta_2 = 126$
Шліфування (Ø30m6)	20	25	10	110	30.008	13 (IT6)	30.013		2,54	194	$\delta_2 - \delta_3 = 71$
Сумарні припуски			$\Sigma 2Z_{min} = 1540$						$\Sigma 2Z_{pr} min = 1233$	$\Sigma 2Z_{pr} max = 2834$	$\Sigma \Delta \delta = 987$

На основі стандартних рекомендацій ДСТУ 7505, [1] та аналогії з розрахунком для Ø30h6 призначаються припуски на інші поверхні(Таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 - Призначені припуски та операційні розміри основних поверхонь деталі

№	Найменування поверхні	Розмір деталі	Квалітет	Шорсткість Ra, мкм	Припуск на діаметр 2Z, мм	Операційні розміри (діаметр) та примітки
1	Зовн. діаметр Ø30m6	30 +0.021/ +0.008	IT6	6.3	3.0	Оп. 3: 30.0 (шліф). Оп. 2: 30.12 (чист.точ). Оп. 1: 30.35 (чорн.точ).
2	Отвір Ø18.6H10 (під різьбу)	18.6 +0.084	IT10	6.3	1.1	Оп. Ø18.6: Розточування. Оп. Ø17.5: Свердління.
3	Фаска 100° (зовн. Ø34)	34	—	6.3	2.0	Обробляється при чорновому точінні зовнішнього контуру.
4	Зовн. ступінь Ø27	27	IT14	12.5	1.4	Обробляється за 1 перехід (чорнове точіння).
5	Зовн. ступінь Ø22	22	IT12	12.5	1.0	Обробляється за 1 перехід (чорнове точіння).
6	Торці (загальна довжина)	35 ±0.31	IT14	12.5	5.0 (сумарно)	Довжина заготівлі: 40 ±0.5 мм. Операційний розмір після першого підрізання: 36.0±0.2 мм.
7	Фаска 1×45° (зовнішня)	1×45°	—	12.5	— (формується інструментом)	Формування при точінні (оп. 010)
9	Внутрішні конусні переходи та ступені	Ø10.3, Ø7.6 та ін.	IT14	12.5	3.2 – 4.0 (сумарно)	Свердління (оп. 015): Ø17.5 ±0.1 Послідовне розточування (оп. 010 або 015): За кресленням

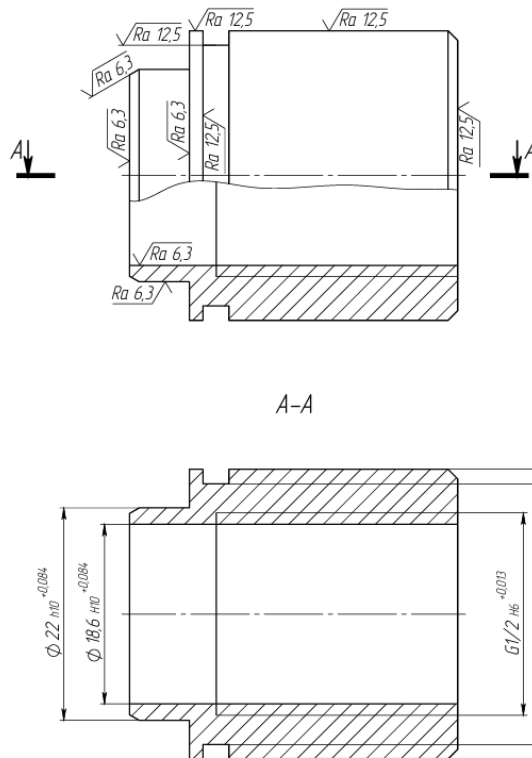


Рисунок 2.5 - Поверхні вварного адаптера

На рисунку 2.5 зображено найбільш відповідальні поверхні. Вони включають різьблення G1/2" та фаску 45°. Допуск на середній діаметр різьблення становить +0,236 мм за полем допуску 6Н, що відповідає класу точності В за ISO 228-1. Фаска повинна мати кут 45° з відхиленням не більше $\pm 1^\circ$ та шорсткість Ra 6.3 мкм.

Відповідальні поверхні (Таблиця 2.5) представлені зовнішнім діаметром Ø30h14 та торцевими поверхнями, що формують розмір 1,66 мм. Допуск на діаметр становить 0,1мм, що забезпечує необхідну щільність посадки при монтажі.

Другорядні поверхні включають контурні елементи та зони, що не беруть безпосередньої участі в роботі деталі. Допуски на розміри цих поверхонь можуть коливатися в межах IT14-IT15, а шорсткість поверхні може становити Rz 40-8

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Таблиця 2.5. - Зведена таблиця різання

№ операції	Найменування операції, переходу	Глибина різання t , мм	Довжина різання L , мм	Подача S , мм/об	Швидкість V , м/хв	Частота обертання n , хв ⁻¹	Хвилинка подача, мм/хв	Прийнята		
			Розрах.	Прийнята	Розрах.	Прийнята	Розрах.	Прийнята		
005	Відрізна									
	1. Відрізати загострілю $L=40\pm 0.5$	4.0	44	0.075	0.07	32.5	31.6	323	315	22.05
010	Токарна чорнова ($N_{\text{становка A}}$)									
	1. Підрізати горіць (базу)	2.5	19.5	0.36	0.35	140.0	140.0	2320	1780	623
	2. Обточити $\varnothing 30.5$ на $l=25$	0.75	28	0.36	0.35	167.8	157.0	1710	1600	560
	3. Зняти фаску $1\times 45^\circ$	0.7	2.5	0.096	0.10	252.6	252.6	2637	2000	200
010	Токарна чорнова ($N_{\text{становка B}}^*$)									
	1. Підрізати горіць до $L=35$	2.0	18	0.36	0.35	145.0	145.0	2000	1540	539
	2. Обточити ступені $\varnothing 27, \varnothing 22$	1.0	20	0.36	0.35	155.0	155.0	1800	1640	574
015	Свердильна									
	1. Центрувати	2.5	5	0.08	0.08	55.4	55.4	3530	1400	112
	2. Свердлити отвір $\varnothing 17.5$	8.75	33.8	0.195	0.20	32.3	30.8	588	560	112
	3. Зенкерувати отвір $\varnothing 18.6H10$	0.55	29	0.25	0.25	14.6	14.6	250	250	62.5
	4. Нарізати різьбу $G1/2"$	–	20	1.814	1.814	17.5	17.5	125	125	226.7
										5

2.6 Технологічний регламент збирання та розбирання купольної арматури ЦКТ

Купольна арматура, що монтується у найвищій точці торосферичної кришки циліндрично-конічного танка робочим об'ємом 54 м³, є найбільш критичним і складним інженерним вузлом, рисунок 2.6, який безпосередньо забезпечує механічну безпеку апарата, контроль баричних режимів та підтримання абсолютної мікробіологічної чистоти виробничого процесу.

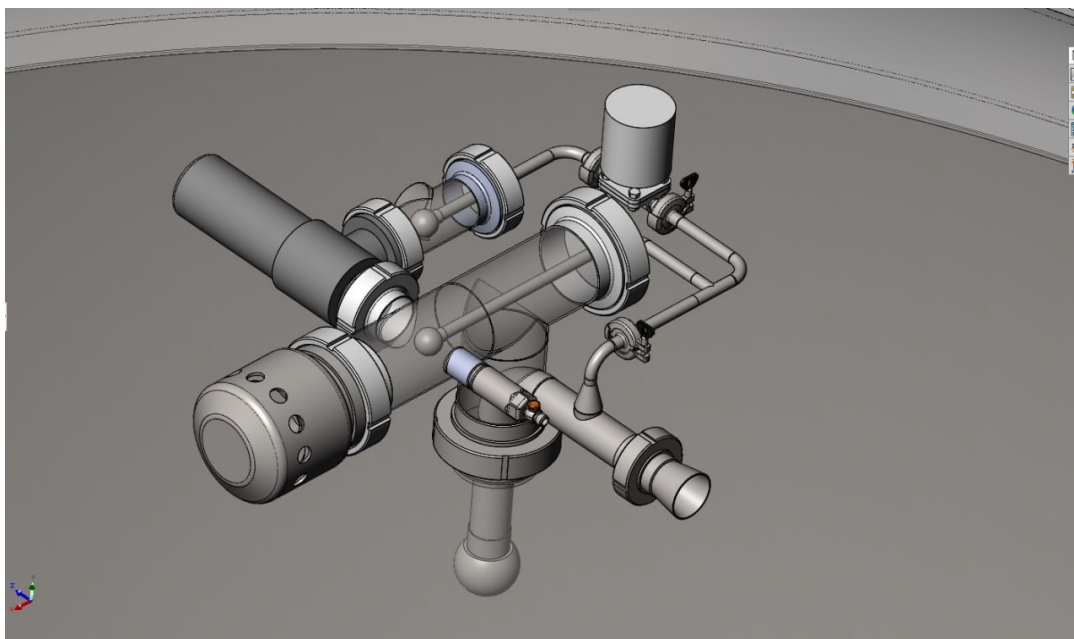


Рисунок 2.6 - Купольна арматура

Цей комплексний блок об'єднує в єдину систему двоходовий запобіжний клапан (пристрій скидання надлишкового тиску та компенсації вакууму), ротаційну струминну миючу головку системи СІР, газовідвідну магістраль збирання вуглекислого газу (CO₂) та контрольно-вимірювальні прилади, включаючи вакуумний клапан. Оскільки проєктований ЦКТ експлуатується в умовах високого надлишкового тиску (до 0,15 МПа), зазнає гідростатичного навантаження від багатотонного стовпа рідини, а також постійно піддається агресивній дії мийних хімічних засобів (гарячих лужних розчинів гідроксиду натрію з температурі до +85 °С та кислотних розчинів азотної кислоти), надійність і герметичність купольної арматури мають вирішальне значення для

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

запобігання аварійним ситуаціям. Будь-яка неточність при збиранні цього вузла або несвоєчасна дефектовка його елементів може призвести або до масштабного інфікування продукту через утворення стійких біоплівки у щілинах, або до катастрофічного руйнування корпусу ємності внаслідок явища імплзії чи експлозії. Даний регламент встановлює сувору інженерну послідовність виконання розбирально-збиральних робіт, правила дефектовки, технологію налаштування та випробування купольного блоку, що є обов'язковим до виконання під час проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР), [8] службою головного механіка підприємства.

Процес обслуговування купольної арматури обов'язково починається з комплексу суворих організаційно-підготовчих заходів та забезпечення безпеки праці, [9]. Оскільки верхнє днище танка знаходиться на значній висоті (понад 11–12 метрів від рівня підлоги цеху), всі роботи класифікуються як роботи на висоті та виконуються виключно зі стаціонарних обслуговуючих майданчиків, оснащених захисними перилами, або із застосуванням випробуваних страхувальних поясів і касок. Перед початком будь-яких маніпуляцій з кріпильними елементами арматури оператор бродильного відділення зобов'язаний повністю зупинити технологічний процес у даному танку, перекрити подачу холодоносія в сорочки охолодження та провести повне скидання внутрішнього манометричного тиску через шпунт-магістраль. Тільки після того, як стрілка повіреного робочого манометра опуститься на позначку «0» і буде проведено візуальну та інструментальну перевірку відсутності тиску, ЦКТ надійно відсікається від загальнозаводських трубопроводів продукту, мийних розчинів та магістралі рекуперації CO₂ шляхом встановлення суцільних сталевих заглушок. Робоче місце комплектується спеціальним розбірним піддоном з м'яким полімерним або гумовим покриттям, де розміщуються демонтовані деталі. Використання інструментів з вуглецевої кавалерійської сталі суворо обмежене — для роботи з високолегованою харчовою сталлю AISI 304, з якої виготовлений купол та деталі арматури, застосовують лише спеціалізований інструмент з хромованадієвим покриттям або нержавіючі ключі, що повністю

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

виключає ризик механічного перенесення частинок заліза на нержавіючу поверхню та розвитку подальшої пітингової корозії під ізоляцією чи на відкритому металі.

Технологічний маршрут розбирання купольного вузла виконується за принципом послідовного зняття елементів від периферії до центру та зверху вниз. Спочатку виконується акуратний демонтаж імпульсних ліній електронних датчиків, кабельних роз'ємів контролерів системи SCADA та локальних трубопроводів обв'язки. Швидкознімні з'єднання типу Clamp (згідно з DIN 32676 [14]) або різьбові молочні муфти (згідно з DIN 11851 [13]), які фіксують арматурний блок на патрубках, послаблюються за допомогою спеціальних серпоподібних накидних ключів. Першим з посадочного фланця купола демонтується двоходовий запобіжно-вакуумний клапан, який вертикально піднімається вгору за допомогою такелажного пристрою або вручну (залежно від маси модифікації) та переміщується на верстат ремонтної майстерні КВПіА для детального розбирання. В умовах майстерні на спеціальному гвинтовому прес-стенді плавно послаблюється регулювальний гвинт, який утримує потужну тарілчасту пружину клапана надлишкового тиску. Після повного зняття напруги з пружини відкручується і знімається захисний глухий ковпак, виймається центральний напрямний шток, тарілка клапана з інтегрованим ущільнювальним кільцем, а також вилучається внутрішній автономний тарілчастий клапан вакуумного затвора разом із його слабкою поворотною пружиною зворотного ходу. Наступним кроком безпосередньо на куполі танка проводиться демонтаж ротаційної миючої головки системи СІР. Для цього виймається фіксуючий нержавіючий шплінт або відкручується накидна гайка, і форсункова куля, що обертається, знімається з живильного патрубка. У середині головки розбирається мініатюрний підшипниковий вузол (тефлонові або нержавіючі кульки), який забезпечує плавне ротаційне обертання під дією гідродинамічного тиску мийного розчину. Завершується етап розбирання ретельним вилученням усіх профільних еластомірних ущільнювальних прокладок з дзеркал фланців. Для піддівання прокладок категорично забороняється використовувати гострі сталеві

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

предмети, такі як викрутки чи ножі, оскільки вони неминуче залишать подряпини на прецизійно полірованих фланцевих поверхнях (де шорсткість Ra не повинна перевищувати 0,6 мкм), що в майбутньому призведе до хронічної мікророзгерметизації газової камери ЦКТ та втрати дорогого газу CO₂.

Після завершення демонтажу всі елементи проходять обов'язкову операцію хімічної санітарії та ретельної інженерної дефектовки. Металеві деталі очищаються від нальоту пивного каменю, білково-хмельових осадів і занурюються у ванну з теплим 2%-м розчином гідроксиду натрію (NaOH) на 30–40 хвилин, після чого промиваються демінералізованою водою, пасивуються слабоконцентрованим 1%-м розчином азотної кислоти (HNO₃) та висушуються потоком очищеного гарячого повітря. Всі промиті деталі піддаються інструментальному контролю: штоки перевіряються на відсутність радіального биття та вигинів на токарному верстаті 16K50 або за допомогою індикаторів годинникового типу, робочі пружини запобіжного та вакуумного клапанів проходять перевірку на втомну деформацію, втрату жорсткості та наявність прихованих мікротріщин втоми за допомогою кольорової (капілярної) дефектоскопії (згідно з ДСТУ EN ISO 17635, [4]), з нанесенням червоного пенетранту та білого проявника. Втомне просідання головної пружини є неприпустимим, оскільки такий клапан почне передчасно відкриватися при тисках нижче 0,15 МПа, унеможливаючи правильне протікання технологічної стадії шпунтування сусла. Всі еластомірні прокладки (виготовлені з матеріалів EPDM, силікону або вітону) перевіряються на предмет втрати еластичності, набрякання, появи крайових зрізів та мікротріщин, що виникають внаслідок жорсткого температурного циклу СІР-мийки (+85 °С). Будь-яка прокладка з ознаками деструкції підлягає безумовній 100% заміні на нову з оригінального ремкомплекту.

Технологічний процес збирання та зворотного монтажу купольної арматури виконується у суворій послідовності з дотриманням підвищених вимог до мікробіологічної стерильності, при цьому всі внутрішні порожнини деталей безпосередньо перед фіксацією рясно зрошуються дезінфікуючим розчином на

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

основі надоцтової кислоти (НОК). Спочатку в умовах майстерні збираються окремі підвузли, монтується підшипник ротаційної головки СІР, перевіряється легкість її ексцентричного або концентричного обертання від слабкого зусилля руки, збирається корпус запобіжного клапана, куди встановлюються очищені напрямні втулки, штоки, внутрішні ущільнення та пружини. На фланцеві патрубки торосферичного купола вкладаються нові прокладки. Зібраний арматурний блок акуратно центрується і встановлюється на посадочні місця кришки танка. Затягування з'єднань типу Clamp виконується за допомогою штатних гвинтових хомутів, а болти та шпильки класичних фланцевих з'єднань затягуються виключно хрестоподібним методом (за схемою 1-4-3-2) у три або чотири послідовні етапи. Для затягування обов'язково застосовується тарувальний динамометричний ключ, який дозволяє суворо контролювати крутний момент, [2, 11]. Це гарантує створення рівномірного питомого тиску на прокладку по всьому периметру, повністю виключає небезпеку її локального роздавлювання або виникнення згинальних моментів, що руйнують фланець в робочих умовах.

Заключним і найбільш відповідальним етапом регламенту є калібрування, налагодження та пневматичне опресовування зібраної купольної арматури, що підтверджує готовність 54-кубового танка до безпечного пуску в експлуатацію. Калібрування запобіжного клапана здійснюється безпосередньо на танку за допомогою підключення мобільного стенда з еталонним манометром вищого класу точності (не нижче 0,5) шляхом плавного закручування або відкручування регульовального гвинта пружини. Інженер налаштовує чітку межу спрацьовування: при номінальному робочому тиску карбонізації в ЦКТ на рівні 0,15 МПа, початок мікрокритичного відкриття тарілки клапана під дією надлишкового тиску газу повинен відбуватися суворо при тиску 0,17 МПа, а повне відкриття з інтенсивним скиданням при 0,18 МПа. Вакуумна частина клапана аналогічно тестується на межу спрацьовування при виникненні внутрішнього розрідження (вакууму) у вузькому діапазоні мінус 0,002...0,005 МПа, що є критично важливим для миттєвої компенсації атмосферним повітрям

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

та повного виключення ризику деформації (зминання) тонкостінних обичайок корпусу під дією зовнішнього тиску. Після успішного завершення калібрування регулювальні вузли клапанів закриваються металевими ковпаками та опломбовуються свинцевими пломбами заводу або служби головного механіка підприємства для унеможливлення несанкціонованого регулювання персоналом цеху. Купольний блок у зборі піддається фінальному пневматичному випробуванню на герметичність: газова камера танка заповнюється стисненим повітрям або очищеним вуглекислим газом до максимального робочого тиску 0,15 МПа, і всі стики, фланці, clamp-хомути та рухомі з'єднання штоків ретельно покриваються індикаторним піноутворюючим розчином (або тестуються за допомогою портативного ультразвукового шукача витоків газу). Поява бульбашок повітря або падіння тиску по манометру протягом 2 годин експозиції не допускається. Результати випробувань, індивідуальні номери встановлених ремкомплектів, фактичні значення тисків спрацьовування клапанів та підписи відповідальних осіб в обов'язковому порядку заносяться до технічного паспорта даної судини під тиском та реєструються в інженерному журналі ТО і ремонтів Бродильного цеху

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3. Конструкторська частина

3.1 Розрахункові зони. Вибір та обґрунтування конструкційних матеріалів для харчових середовищ

Під час розрахунку на міцність враховуються вимоги безпечності у відповідності з додатком 1 «Технічного регламенту обладнання, що працює під тиском», [12]. Розрахунок ЦКТ проводиться на визначення стійкості до тиску та міцності опорних обичайок. Розрахунок на міцність проводиться за стандартом ISO 16528-1:2007 [16] та ДСТУ EN 13445-3:2015 [2].

На рисунку 3.1. приведено розрахункову схему ЦКТ.

Для розрахунку були прийняті наступні розрахункові значення.

випробувальний тиск $P_{\text{випр}}=0,139$ МПа (1,39 кгс/см²);

розрахункова температура $T=20^{\circ}\text{C}$;

розрахункова сила $F_{\text{роз}}=700000$ Н

На рисунку 3.1 зображено повну схему танка, розділену на 13 критичних розрахункових зон. Це потрібно для того, щоб окремо перевірити на міцність кожен елемент апарата під спільною дією ваги пива та тиску газу.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			3. Конструкторська частина		Літ.	Арк.
Перевір.		Вітенько Т.М.						50
							гр. МО-41	
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

Надійність, довговічність та санітарно-гігієнічна безпека циліндрично-конічного танка (ЦКТ) місткістю 54 м³ безпосередньо залежать від правильності вибору конструкційних матеріалів. Згідно з чинними санітарними нормами та європейськими стандартами харчового машинобудування (EHEDG Guidelines, [15]), базовим матеріалом для виготовлення внутрішньої робочої колби (циліндра, конуса та кришки) обрано аустенітну корозійностійку (нержавіючу) сталь марки AISI 304 (08X18H10).

Робоче середовище всередині апарата пивне або квасне сусло є біологічно активним і має слабокислу реакцію ($\text{pH} = 4,0 \dots 4,5$). Крім того, в процесі експлуатації внутрішні стінки піддаються впливу розчиненого діоксиду вуглецю (CO_2), а під час санітарної обробки (CIP-мийки) циклічному впливу агресивних хімічних Реагентів, гарячих 2%-х розчинів гідроксиду натрію (NaOH) при температурі $+85\text{ }^\circ\text{C}$ та 1,5%-х розчинів азотної кислоти (HNO_3).

З огляду на такі жорсткі умови експлуатації, використання вуглецевих або низьколегованих сталей (навіть із захисними емалями) є неприпустимим. Згідно з чинними санітарними нормами та європейськими стандартами харчового машинобудування (EHEDG), базовим матеріалом для виготовлення внутрішньої робочої колби (циліндра, конуса та кришки) обрано аустенітну корозійностійку (нержавіючу) сталь марки AISI 304 (за американською класифікацією ASTM), що відповідає вітчизняному аналогу 08X18H10.

Хімічний склад та властивості сталі AISI 304.

Ця сталь є низьковуглецевою (вміст вуглецю $\text{C} \leq 0,08\%$), що мінімізує ризик виникнення міжкристалітної корозії в зонах зварних швів. Високий вміст хрому ($\text{Cr } 18\text{--}20\%$) забезпечує утворення на поверхні металу міцної, самовідновлюваної оксидної плівки, яка гарантує відмінну стійкість до пітингової корозії. Нікель ($\text{Ni } 8\text{--}10\%$) стабілізує аустенітну структуру, надаючи металу високу пластичність, що є критично важливим для технології ротаційної витяжки торосферичних кришок та вальцювання обичайок.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунок товщини стінки торосферичної кришки

На рисунку 3.2 зображено геометричний профіль верхньої купольної кришки танка. Така опукла форма потрібна для того, щоб рівномірно розподілити внутрішній тиск вуглекислого газу та запобігти деформації даху апарата.

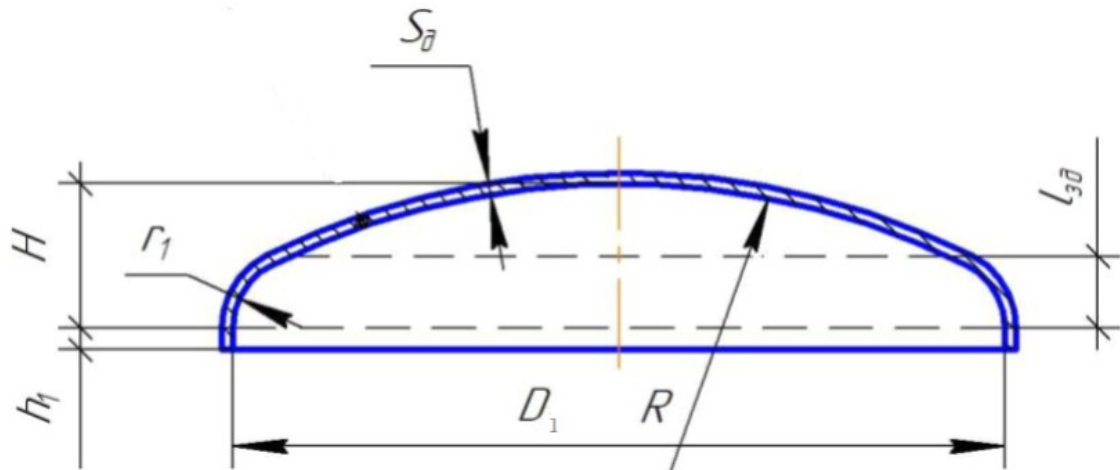


Рисунок 3.2 - Днище торосферичне

$D_1 = 2900$ мм – Зовнішній діаметр днища

$R = 2900$ мм – Радіус

$S_d = 7$ мм – Товщина стінки днища

$h_1 = 45$ мм – Ширина прямої ділянки на днищі

$H = 558$ мм – Ширина днища від крайнього торця до внутрішньої поверхні

Тип днища:

$$R \approx D_1$$

$$2900 \approx 2900 \text{ мм}$$

$$r_1 \geq 0,095 \cdot D_1$$

$$290 \geq 0,095 \cdot 2900 \text{ мм}$$

$$290 \geq 275,5 \text{ мм}$$

де:

R – радіус кривизни в вершині опуклої кришки по внутрішній поверхні, мм;

D_1 – зовнішній діаметр кришки;

r_1 – зовнішній радіус відбортки торосферичної кришки, мм; [11]

Приймаємо тип кришки: А.

Товщина стінки кришки в крайній зоні

$$s_d \geq s_{др} + C, \quad (3.1)$$

Розрахункову товщину стінки торосферичної кришки (в крайній зоні відбортки) під дією внутрішнього надлишкового тиску обчислюють за формулою, наведеною в [11]:

$$s_{др} = \frac{p_d \cdot D_1 \cdot \beta_1}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]} = \frac{0,139 \cdot 2900 \cdot 2,6}{2 \cdot 136 \cdot 0,85} = 4,5 \text{ мм.}, \quad (3.2)$$

Внутрішній надлишковий робочий тиск кришки:

$$p_d = p_{\text{випр}} \rightarrow p_d = 0,139 \text{ МПа}$$

$$\beta_1 = 2,6 - \text{коефіцієнт форми, [11]}$$

$$\frac{p_d}{[\sigma]} = \frac{0,139}{136} = 0,001 \text{ МПа}$$

Сумарний запас до розрахункової товщини металу обчислюють за формулою, наведеною в [11]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,7 + 0,7 = 1,4 \text{ мм.} \quad (3.3)$$

де:

C_1 – Запас на корозію та ерозію металу;

C_2 – Запас на від'ємний допуск, 10% від товщини листа;

C_3 – Технологічний запас, 10% від товщини листа;

$$s_d \geq 4,5 + 1,4 \text{ мм}$$

$$s_d \geq 5,9 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину кришки $s_d = 7 \text{ мм.}$

$$7 \geq 5,9 \text{ мм}$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина стінки в центральній зоні:

$$s_d \geq s_{др} + C, \quad (3.4)$$

$$s_{др} = \frac{p_d \cdot R}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p_d} = \frac{0,139 \cdot 2900}{2 \cdot 0,85 \cdot 136 - 0,5 \cdot 0,139} = 1,74 \text{ мм.} \quad (3.5)$$

$$s_d \geq 1,74 + 1,4 \text{ мм}$$

$$s_d \geq 3,14 \text{ мм}$$

Для розрахунку приймаємо більше значення $s_d = 7 \text{ мм}$.

$$7 \geq 3,14 \text{ мм}$$

Перевірочний розрахунок в крайній зоні:

$$[p] = \frac{2 \cdot (s_d - C) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]}{D_1 \cdot \beta_2} = \frac{2 \cdot (7 - 1,4) \cdot 0,85 \cdot 136}{2900 \cdot 2,6} = 0,17 \text{ МПа,} \quad (3.6)$$

$$\beta_2 = 2,6 - \text{коефіцієнт форми, [11]}$$

$$\frac{(s_d - C)}{D_1} = \frac{7 - 1,4}{2900} = 0,002 - \text{коефіцієнт форми.}$$

Перевірочний розрахунок в центральній зоні:

$$[p] = \frac{2 \cdot (s_d - C) \cdot \varphi_p \cdot [\sigma]}{R + 0,5 \cdot (s_d - C)} = \frac{2 \cdot (7 - 1,4) \cdot 0,85 \cdot 136}{2900 + 0,5 \cdot (7 - 1,4)} = \frac{1294,72}{2902,8} = 0,44 \text{ Мпа,} \quad (3.7)$$

$[\sigma] = 136 \text{ МПа}$ – допустиме напруження при розрахунковій температурі

Умова міцності:

$$[p] > p_d$$

$$0,44 > 0,139 \text{ МПа}$$

3.3 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

На рисунку 3.3 зображено стінку головного циліндричного корпусу танка. Ця схема потрібна для розрахунку мінімальної товщини стінки $s_o = 5 \text{ мм}$, яка має витримувати одночасний тиск газу зсередини та вагу всього стовпа рідини.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

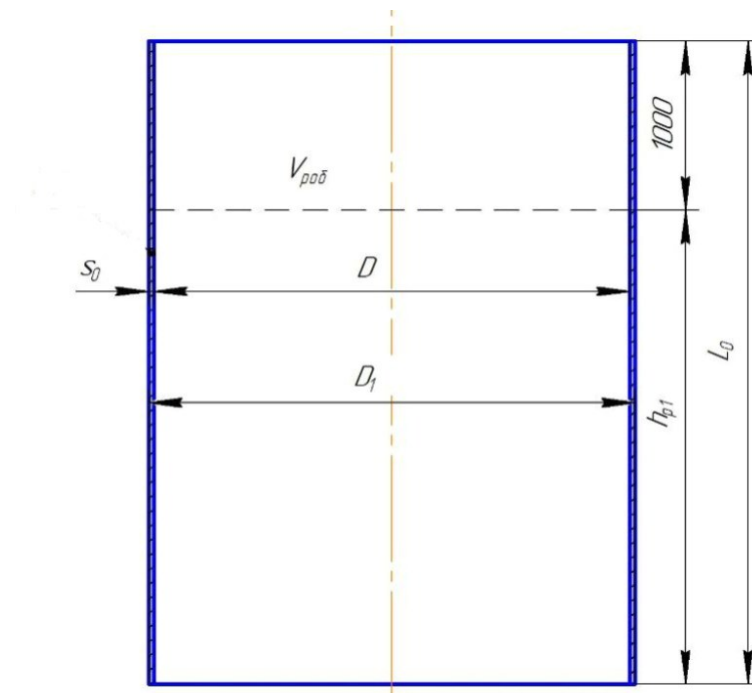


Рисунок 3.3 – Циліндрична обичайка.

Номінальну товщину стінки циліндричної обичайки обчислюють за формулою, наведеною в [11]:

$$s_o \geq s_p + C, \quad (3.8)$$

де:

s_o – товщина стінки обичайки;

s_p – розрахункова товщина стінки обичайки;

C – Запас до товщини стінки.

Розрахункову товщину стінки циліндричної обичайки обчислюють за формулою, наведеною в [11]:

$$s_p = \frac{p_o \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} = \frac{0,21 \cdot 2890}{2 \cdot 136 \cdot 0,85 - 0,21} = 2,5 \text{ мм}, \quad (3.9)$$

де:

p_o – внутрішній робочий надлишковий тиск обичайки;

D – внутрішній діаметр обичайки;

$[\sigma]$ – допустиме напруження при розрахунковій температурі;

φ_p – коефіцієнт міцності поздовжнього зварного шва; [11]

Внутрішній робочий надлишковий тиск у нижній частині циліндричної обичайки (з урахуванням гідростатичного тиску стовпа рідини) обчислюють за формулою, наведеною в [11]:

$$p_o = p_{\text{вип}} + h_{p_1} \cdot \rho \cdot g = 0,139 + 7,505 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,21 \text{ МПа}, \quad (3.10)$$

де:

$p_{\text{вип}}$ (МПа) – Тиск випробування;

h_{p_1} (м) – висота обичайки;

ρ (кг/м³) – густина;

g (м/с²) – прискорення вільного падіння.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,5 + 0,5 = 1 \text{ мм.}, \quad (3.11)$$

Товщина стінки обичайки:

$$s_o \geq 2,5 + 1 \text{ мм}$$

$$s_o \geq 3,5 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину листа обичайки $s_o = 5 \text{ мм}$.

$$5 \geq 3,5 \text{ мм}$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск для циліндричної обичайки обчислюють за формулою, наведеною в [11]:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_o - c)}{D + (s_o - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (5 - 1)}{2890 + (5 - 1)} = \frac{924,8}{2894} = 0,32 \text{ МПа}, \quad (3.12)$$

де $[p]$ - допустимий внутрішній надлишковий тиск, МПа;

$[\sigma]$ – допустиме напруження матеріалу при розрахунковій температурі, МПа;

φ_p - коефіцієнт міцності поздовжнього зварного шва;

s_o - прийнята (номінальна) товщина стінки обичайки, мм;

c - сумарна прибавка до розрахункової товщини стінки, мм;

D - внутрішній діаметр обичайки, мм.

Умова міцності

$$[p] > p$$

$$0,32 > 0,21 \text{ МПа}$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

3.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки з тороїдальним переходом

На рисунку 3.4 зображено закруглений перехідний вузол між циліндром та нижнім конусом. Цей плавний перехід потрібен для того, щоб прибрати небезпечну концентрацію напружень у місці зламу конструкції.

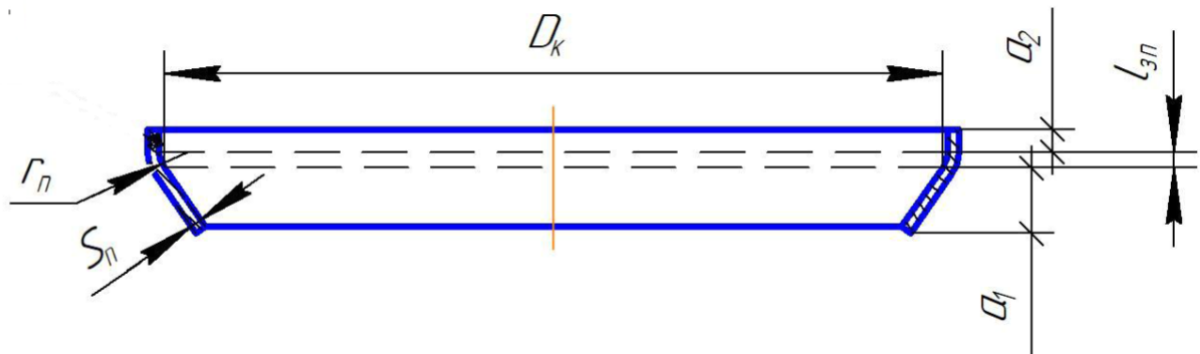


Рисунок 3.4 – З'єднання циліндричної обичайки з тороїдальним переходом.

Умови застосування розрахунку:

$$\alpha_1 = 70^\circ$$

$$35^\circ \leq 70^\circ$$

$$0 \leq \frac{r_n}{D} \leq 0,3$$

$$0 \leq \frac{140}{2898} \leq 0,3$$

$$0 \leq 0,048 \leq 0,3$$

Товщину стінки перехідної частини обчислюють за формулою

$$s_{\Pi} \geq s_{\Pi p} + C$$

Де розрахункова товщина стінки:

$$s_{\Pi p} = \frac{p_{\Pi} \cdot D \cdot \beta_3}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - p_{\Pi}} = \frac{0,21 \cdot 2890 \cdot 1,85}{2 \cdot 0,85 \cdot 136 - 0,21} = 4,86 \text{ мм.}, \quad (3.13)$$

Внутрішній надлишковий тиск:

$$p_{\Pi} = p_{\text{вип}} + h_{p_2} \cdot \rho \cdot g = 0,139 + 7,594 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,126 + 0,075 = 0,21 \text{ МПа}, \quad (3.14)$$

Запас до товщини металу

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,7 + 0,7 = 1,4 \text{ мм.}, \quad (3.15)$$

$$\beta_3 = \max (0,5; \beta \cdot \beta_1)$$

$$\beta = 2,5, [11]$$

$$\frac{p_{\Pi}}{[\sigma] \cdot \varphi_p} = \frac{0,201}{136 \cdot 0,85} = 0,0017 \text{ МПа} \quad (3.16)$$

$$\frac{(s_1 - c)}{(s_2 - c)} = \frac{7 - 1,4}{7 - 1,4} = 1,$$

$$s_1 = s_2 = 7 \text{ мм.}$$

$$\beta_T = 0,74, [11]$$

$$\frac{r_{\Pi}}{D} = \frac{140}{2890} = 0.048$$

$$\frac{p_{\Pi} \cdot \beta}{[\sigma] \cdot \varphi_p} = \frac{0,21 \cdot 2,5}{136 \cdot 0,85} = 0,0045 \text{ МПа}$$

$$\beta_3 = \max (0,5; 2,5 \cdot 0,74)$$

$$\beta_3 = \max (0,5; 1,85)$$

$$\beta_3 = 1,85, [11]$$

Товщину стінки перехідної частини обчислюють за формулою

$$s_{\Pi} \geq s_{\Pi_p} + C$$

$$s_{\Pi} \geq 4,86 + 1,4 \text{ мм}$$

$$s_{\Pi} \geq 6,26 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки 7 мм.

$$7 \geq 6,26 \text{ мм}$$

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_{\Pi} - c)}{D \cdot \beta_3 + (s_{\Pi} - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (7 - 1,4)}{2890 \cdot 1,768 + (7 - 1,4)} = \frac{1294,72}{5115,12} = 0,25 \text{ МПа,} \quad (3.17)$$

$$\beta_3 = \max (0,5; \beta \cdot \beta_T)$$

$$\beta = 2,6, [11]$$

$$\frac{D}{(s_2 - c)} = \frac{2890}{7 - 1,4} = 516 \text{ мм}$$

$$\frac{(s_1 - c)}{(s_2 - c)} = \frac{7 - 1,4}{7 - 1,4} = 1$$

$$\beta_T = 0,68, [11]$$

$$\frac{r_{\Pi}}{D} = \frac{140}{2890} = 0.048$$

$$\beta_3 = \max (0,5; 2,6 \cdot 0,68)$$

$$\beta_3 = 1,768$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова міцності:

$$[p] > p_{\pi}$$

$$0,25 > 0,21 \text{ МПа}$$

3.5 Розрахунок конічної обичайки навантаженої внутрішнім надлишковим тиском

На рисунку 3.5 зображено нижню велику конічну частину ЦКТ. Вона потрібна для збору дріжджів, а її схема розраховується на міцність під дією максимальної ваги усього об'єму пива.

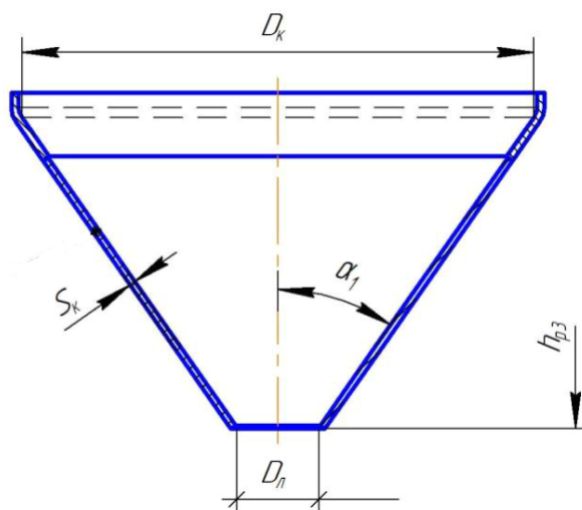


Рисунок 3.5 – Конічна обичайка.

Товщину стінки гладкої конічної обичайки обчислюють за формулою:

$$s_k \geq s_{kp} + C$$

Де розрахункова товщина стінки конічної обичайка:

$$s_{kp} = \frac{p_k \cdot D_k}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - p_k} \cdot \left(\frac{1}{\cos \alpha_1} \right) = \frac{0,23 \cdot 2838}{2 \cdot 0,85 \cdot 136 - 0,23} \cdot \left(\frac{1}{0,819} \right) = 2,65 \cdot 1,22 = 3,45 \text{ мм}, (3.18)$$

Робочий тиск в конічній частині:

$$p_k = p_{\text{вип}} + h_{p3} \cdot \rho \cdot g = 0,139 + 9,267 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,126 + 0,09 = 0,23 \text{ МПа}, (3.19)$$

де p_k - повний розрахунковий робочий тиск у конічній частині, МПа;

$p_{\text{вип}}$ - випробувальний (робочий надлишковий) тиск газу, МПа;

h_{p3} - розрахункова висота стовпа рідини над конічною частиною, м;

ρ - густина робочого середовища, кг/м³;

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Запас до товщини металу

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,5 + 0,5 = 1 \text{ мм.}$$

$$s_k \geq 3,45 + 1$$

$$s_k \geq 4,45 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_k = 5 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск розраховують за формулою

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\alpha_1} + (s_k - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (5 - 1)}{\frac{2838}{\cos 35^\circ} + (5 - 1)} = \frac{924,8}{3470} = 0,266 \text{ МПа, (3.20)}$$

$\alpha_1 = 35^\circ$ – половина кута поперечного розтину при вершині конічної обичайки, град;

Умова міцності:

$$[p] > p_k$$

$$0,266 > 0,23 \text{ МПа}$$

3.6 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки з конічною обичайкою

На рисунку 3.6 зображено вузол стикування вершини великого конуса з вузькою нижньою трубою. Схема потрібна для перевірки міцності металу у зоні різкого звуження перед випускною арматурою.

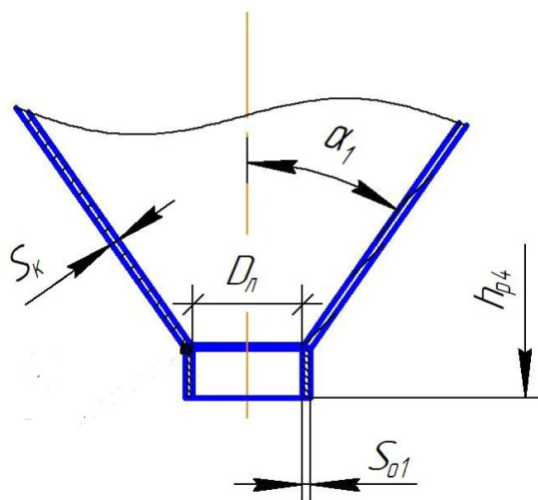


Рисунок 3.6 – З'єднання конічної обичайки з циліндричною обичайкою меншого діаметра.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Товщину стінки в місці з'єднання обичайки меншого діаметра з конічною обичайкою обчислюють за формулою:

$$s_{01} \geq s_{01p} + C$$

Де розрахункова товщина стінки в місці з'єднання обичайки меншого діаметра з конічною обичайкою:

$$s_{np} = \frac{p_{01} \cdot D_{\Pi} \cdot \beta_4}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - p_{01}} = \frac{0,23 \cdot 500 \cdot 3,4}{2 \cdot 0,85 \cdot 136 - 0,23} = 1,7 \text{ мм.} \quad (3.21)$$

Внутрішній надлишковий тиск:

$$p_{01} = p_{\text{вип}} + h_{p_4} \cdot \rho \cdot g = 0,139 + 9,37 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,126 + 0,092 = 0,23 \text{ МПа,} \quad (3.22)$$

Запас до товщини металу

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,5 + 0,5 = 1 \text{ мм.} \quad (3.23)$$

$$\beta_4 = \max(1; \beta_H)$$

$$\beta_4 = \max(1; 3,4)$$

$$\beta_4 = 3,4, [11]$$

$$\frac{(s_1 - c)}{(s_2 - c)} = \frac{5 - 1}{6 - 1} = 0,8$$

$$\frac{p_{01}}{[\sigma] \cdot \varphi_p} = \frac{0,23}{136 \cdot 0,85} = 0,002 \text{ МПа}$$

$$s_{01} \geq 1,7 + 1$$

$$s_{01} \geq 2,7$$

Приймаємо $s_{01} = 6 \text{ мм.}$

$$6 \geq 2,7$$

$$s_k \geq \frac{(s_1 - c)}{(s_2 - c)} \cdot s_{01p} + C$$

$$s_k \geq \frac{5-1}{6-1} \cdot 1,7 + 1,2 \text{ мм}$$

$$s_k \geq 2,7 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_k = 5 \text{ мм.}$

$$5 \geq 2,7 \text{ мм}$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_{01} - c)}{D_{\Pi} \cdot \beta_4 + (s_{01} - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (6 - 1)}{500 \cdot 2,1 + (6 - 1)} = \frac{1109,76}{1054,8} = 1,09 \text{ МПа,} \quad (3.24)$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\beta_4 = \max (1; \beta_H)$$

$$\beta_4 = \max (1; 2,1)$$

$$\beta_4 = 2,1[11]$$

$$\beta_H = 2,1 [11]$$

$$\frac{(s_1 - c)}{(s_2 - c)} = \frac{5 - 1}{6 - 1} = 0,8$$

$$\frac{D_1}{s_{01} - c} = \frac{500}{6 - 1} = 100 \text{ мм}$$

Умова міцності:

$$[p] > p_{01}$$

$$1,05 > 0,23 \text{ МПа}$$

3.7 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки у місці встановлення люка

На рисунку 3.7 зображено циліндричний комір (кільце) оглядового люка. Він потрібен для забезпечення жорсткої та герметичної посадки кришки люка, щоб уникнути витоку газу під тиском.

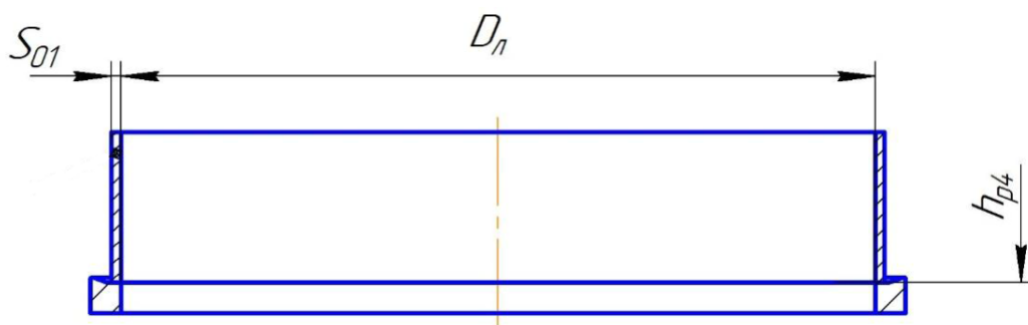


Рисунок 3.7 – Циліндрична обичайка у місці встановлення люка.

Товщину стінки обичайки:

$$s_{л} \geq s_{лp} + C$$

Де розрахункова товщина стінки:

$$s_{лp} = \frac{p_{л} \cdot D_{п}}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - p_{л}} = \frac{0,23 \cdot 500}{2 \cdot 136 \cdot 0,85 - 0,23} = 0,5 \text{ мм.}, \quad (3.25)$$

$$p_{л} = p_{\text{вип}} + h_{p4} \cdot \rho \cdot g = 0,139 + 9,37 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,126 + 0,092 = 0,23 \text{ МПа}, \quad (3.26)$$

Запас до товщини металу

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ мм.}, \quad (3.27)$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$s_{\text{л}} \geq 0,5 + 1,2 \text{ мм}$$

$$s_{\text{л}} \geq 1,7 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_{\text{л}} = 6 \text{ мм}$.

$$6 \geq 1,7 \text{ мм}$$

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_{01} - c)}{D + (s_{01} - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (6 - 1,2)}{500 + (6 - 1,2)} = 2,19 \text{ МПа}, \quad (3.28)$$

Умова міцності:

$$[p] > p_{\text{л}}$$

$$2,19 > 0,23 \text{ МПа}$$

3.8 Розрахунок товщини стінки нижньої обичайки у місці кріплення люка

На рисунку 3.8 зображено нижню циліндричну частину розвантажувального вузла. Вона потрібна для перевірки стійкості нижнього патрубку під статичним тиском усього стовпа рідини в танку.

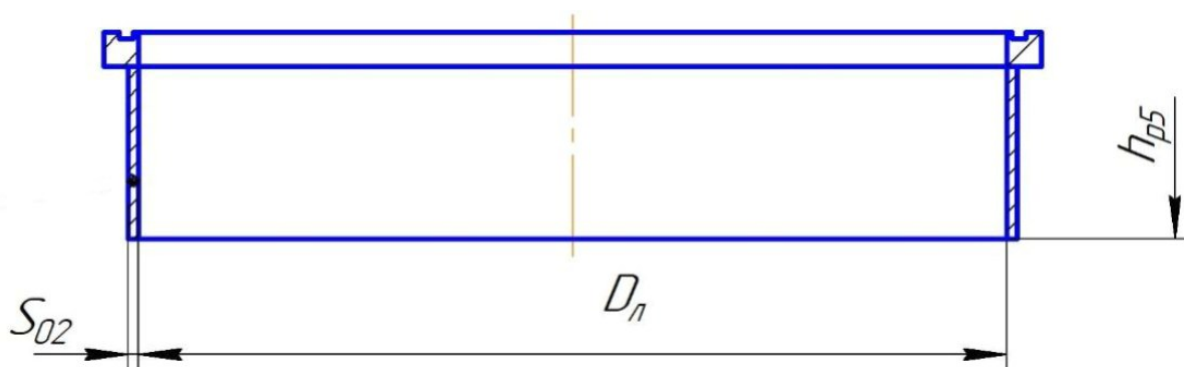


Рисунок 3.8 – Циліндрична обичайка у місці встановлення люка.

Товщину стінки обичайки:

$$s_{02} \geq s_{02p} + C$$

Де розрахункова товщина стінки:

$$s_{02p} = \frac{p_{02} \cdot D_{\text{п}}}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - p_{02}} = \frac{0,23 \cdot 500}{2 \cdot 136 \cdot 0,85 - 0,23} = 0,5 \text{ мм}. \quad [3.29]$$

$$p_{02} = p_{\text{вип}} + h_{p5} \cdot \rho \cdot g \quad [3.30]$$

$$p_{02} = 0,139 + 9,505 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,126 + 0,093 = 0,23 \text{ МПа}$$

Запас до товщини металу

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ мм}. \quad [3.31]$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$s_{\text{л}} \geq 0,5 + 1,2 \text{ мм}$$

$$s_{\text{л}} \geq 1,7 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_{\text{л}} = 6 \text{ мм}$.

$$6 \geq 1,7 \text{ мм}$$

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_{02} - c)}{D + (s_{02} - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (6 - 1,2)}{500 + (6 - 1,2)} = 2,19 \text{ МПа} \quad [3.32]$$

Умова міцності:

$$[p] > p_{02}; 2,19 > 0,23 \text{ МПа}$$

3.9 Розрахунок товщини стінки місця з'єднання конуса люка з циліндричною обичайкою

На рисунку 3.9 зображено стик нижнього товстого фланця із тонким конусом люка. Розрахунок потрібен для перевірки міцності зварного шва у місці з'єднання деталей різної товщини.

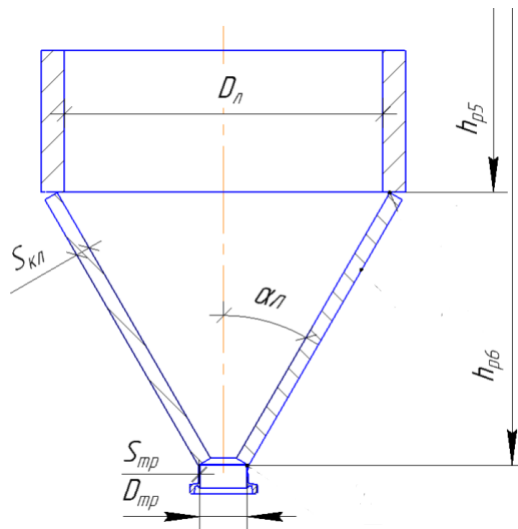


Рисунок 3.9 – Перехід з циліндричної обичайки на нижньою конічною частиною.

$$\alpha_{\text{л}} = 70^\circ$$

$$35^\circ \leq 70^\circ$$

$$(s_{\text{кл}} - c) \leq (s_{01} - c)$$

$$(3 - 0,6) \leq (6 - 1,2)$$

$$2,4 \leq 4,8 \text{ мм}$$

Для перевірного розрахунку приймаємо ($[p]$):

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$s_1 - C = s_2 - C$$

$$s_1 = s_{кл}; s_2 = s_{02}$$

Де розрахункова товщина стінки:

$$s_{02p} = \frac{p_{02} \cdot D_{п} \cdot \beta_1}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - p_{02}} = \frac{0,23 \cdot 500 \cdot 1,52}{2 \cdot 136 \cdot 0,85 - 0,23} = 0,76 \text{ мм.} \quad [3.33]$$

$$p_{02} = p_{вип} + h_{p_5} \cdot \rho \cdot g$$

$$p_{02} = 0,139 + 9,505 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,126 + 0,093 = 0,23 \text{ МПа} \quad [3.34]$$

$$\beta_1 = \max(0,5; \beta_1)$$

$$\beta_1 = \max(0,5; 1,52)$$

$$\beta_1 = 1,52, [11]$$

Коефіцієнт β обчислюють за формулою:

$$\beta = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{D_{п}}{s_2 - C}} \cdot \frac{\tan \alpha_1}{1 + \sqrt{\frac{1 + x_1 \cdot \left(\frac{s_1 - C}{s_2 - C}\right)^2}{2 \cdot \cos \alpha_{л}}} \cdot x_1 \cdot \frac{s_1 - C}{s_2 - C}} \cdot 0,25 \quad [3.35]$$

$$\beta = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{500}{6 - 1,2}} \cdot \frac{0,7}{1 + \sqrt{\frac{1 + 1 \cdot \left(\frac{3 - 0,6}{6 - 1,2}\right)^2}{2 \cdot 0,819}} \cdot 1 \cdot \frac{3 - 0,6}{6 - 1,2}} \cdot 0,25 = 1,52$$

$$x_1 = \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_2} = \frac{136}{136} = 1$$

$$s_{02} \geq s_{02p} + C$$

$$s_{02} \geq 0,76 + 1,2 \text{ мм}$$

$$s_{02} \geq 1,96 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_{02} = 6 \text{ мм.}$

$$6 \geq 1,96 \text{ мм}$$

Запас до товщини металу

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ мм} \quad [3.36]$$

$$s_{\text{кл}} = \frac{s_1 - C}{s_2 - C} \cdot s_{02p} + C = \frac{3 - 0,6}{6 - 1,2} \cdot 0,76 + 1,2 = 1,6 \text{ мм.} \quad [3.37]$$

Приймаємо $s_{\text{кл}} = 3 \text{ мм.}$

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_2 - c)}{D \cdot \beta_1 + (s_2 - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (3 - 0,6)}{500 \cdot 1,55 + (3 - 0,6)} = \frac{555}{777,4} = 0,71 \text{ МПа} \quad [3.38]$$

$$\beta_1 = \max (0,5; 1,55)$$

$$\beta_1 = 1,55, [11]$$

$$\frac{s_1 - C}{s_2 - C} = \frac{3 - 0,6}{3 - 0,6} = 1$$

$$\frac{D}{s_2 - C} = \frac{500}{3 - 0,6} = 208,3 \text{ мм}$$

Умова міцності:

$$[p] > p_{02}$$

$$0,71 > 0,23 \text{ МПа}$$

3.10 Розрахунок товщини стінки конуса люка

На рисунку 3.10 зображено малий конус нижнього випускного люка. Схема потрібна для перевірки того, чи витримає лист металу завтовшки 3 мм максимальний тиск у найнижчій точці апарата.

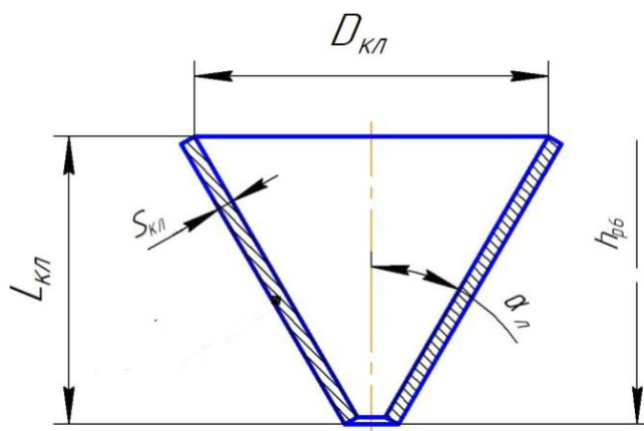


Рисунок 3.10 – Конічна обичайка люка.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Товщину стінки обичайки:

$$s_{\text{кл}} \geq s_{\text{кл}p} + C$$

Де розрахункова товщина стінки:

$$s_{\text{кл}p} = \frac{p_{\text{кл}} \cdot D_{\text{п}}}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - p_{\text{кл}}} \cdot \left(\frac{1}{\cos \alpha_{\text{л}}} \right) = \frac{0,236 \cdot 500}{2 \cdot 0,85 \cdot 136 - 0,236} \cdot \left(\frac{1}{0,819} \right) = 0,62 \text{ мм.} \quad [3.39]$$

$$p_{\text{кл}} = p_{\text{вип}} + h_{p_6} \cdot \rho \cdot g \quad [3.40]$$

$$p_{\text{кл}} = 0,139 + 9,885 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,126 + 0,097 = 0,236 \text{ МПа}$$

Запас до товщини металу

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ мм.}$$

$$s_{\text{кл}} \geq 0,62 + 0,6 \text{ мм}$$

$$s_{\text{кл}} \geq 1,22 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки $s_{\text{кл}} = 3 \text{ мм.}$

$$3 \geq 1,22 \text{ мм}$$

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_{\text{кл}} - c)}{\frac{D_{\text{к}}}{\cos \alpha_{\text{л}}} + (s_{\text{кл}} - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (3 - 0,6)}{\frac{500}{0,819} + (3 - 0,6)} = \frac{555}{613} = 0,9 \text{ МПа} \quad [3.41]$$

Умова міцності:

$$[p] > p_{\text{кл}}$$

$$0,9 > 0,236 \text{ МПа}$$

3.11 Розрахунок товщини стінки переходу у місці з'єднання нижньої конічної частини баку з трубою

На рисунку 3.11 зображено перехід від малого конуса до продуктової вихідної труби. Він потрібен для перевірки міцності патрубку, на який діють зовнішні навантаження та вібрації від підключених трубопроводів.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

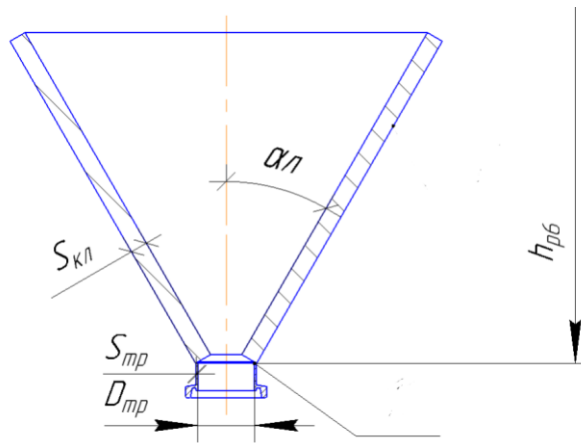


Рисунок 3.11 – Перехід з конічної обичайки на трубу.

Товщину стінки переходу:

$$s_T \geq s_{Tp} + C$$

Де розрахункова товщина стінки:

$$s_{Tp} = \frac{p_T \cdot D_{Tp} \cdot \beta_4}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - p_T} = \frac{0,24 \cdot 66 \cdot 2,5}{2 \cdot 0,85 \cdot 136 - 0,24} = 0,17 \text{ мм.} \quad [3.42]$$

$$p_T = p_{\text{вип}} + h_{p7} \cdot \rho \cdot g \quad [3.43]$$

$$p_T = 0,139 + 10,2 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 0,126 + 0,1 = 0,24 \text{ МПа}$$

Запас до товщини металу

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0 + 0,2 + 0,2 = 0,4 \text{ мм.}$$

$$\beta_4 = \max (1; \beta_H)$$

$$\beta_4 = \max (1; 2,5)$$

$$\beta_4 = 2,5$$

$$\beta_H = 2,5, [11]$$

$$\frac{s_1 - C}{s_2 - C} = \frac{3 - 0,6}{2 - 0,4} = 1,5$$

$$\frac{D_T}{\varphi_p \cdot [\sigma]} = \frac{0,24}{136 \cdot 0,85} = 0,002 \text{ МПа}$$

$$s_T \geq 0,17 + 0,4 \text{ мм}$$

$$s_T \geq 0,21 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_T = 2 \text{ мм.}$

$$2 \geq 0,56 \text{ мм}$$

$$s_{kl} \geq \frac{s_1 - C}{s_2 - C} \cdot s_{Tp} + C$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$s_{\text{кл}} \geq \frac{3-0,6}{2-0,4} \cdot 0,17 + 0,4 \text{ мм}$$

$$s_{\text{кл}} \geq 0,66 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_{\text{кл}} = 3 \text{ мм}$.

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_2 - c)}{D_{\text{т}} \cdot \beta_4 + (s_2 - c)} = \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,85 \cdot (2 - 0,4)}{66 \cdot 1,15 + (2 - 0,4)} = \frac{370}{77,5} = 4,8 \text{ МПа} \quad [3.44]$$

$$\beta_4 = \max(1; \beta_{\text{н}})$$

$$\beta_4 = \max(1; 1,15)$$

$$\beta_4 = 1,15$$

$$\beta_{\text{н}} = 1,15, [11]$$

$$\frac{s_1 - C}{s_2 - C} = \frac{3 - 0,6}{2 - 0,4} = 1,5$$

$$\frac{D_{\text{т}}}{s_2 - C} = \frac{66}{2 - 0,4} = 41,25 \text{ мм}$$

Умова міцності:

$$[p] > p_{\text{т}}$$

$$4,8 \text{ МПа} > 0,24 \text{ МПа}$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.12 Розрахунок міцності зварного шва підсилюючої обичайки для ЦКТ

На рисунку 3.12 зображено зварні шви підсилюючого поясу опорного кільця. Вони потрібні для того, щоб надійно тримати всю 60-тонну вагу заповненого танка на фундаменті і запобігти зрізанню металу.

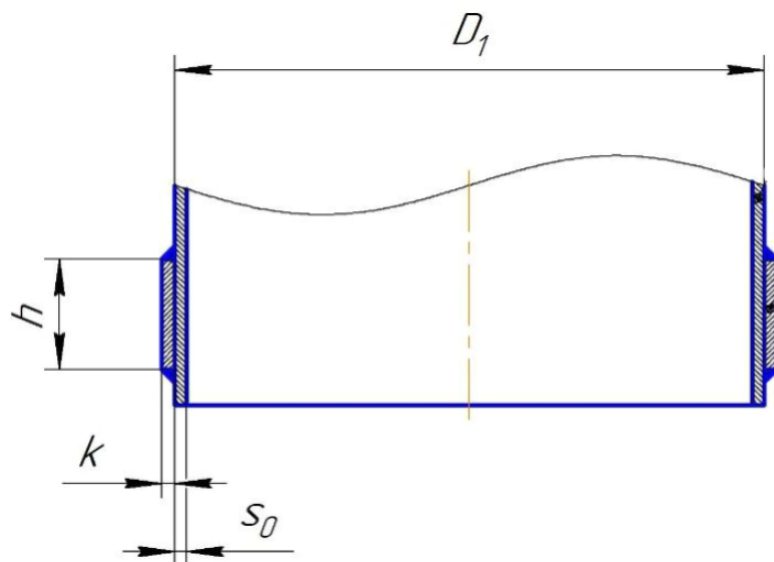


Рисунок 3.12 – Розрахункова схема зварного шва.

$D_1=2900\text{мм}$; $h=300\text{мм}$; $k=6\text{мм}$; $s_0=5\text{мм}$.

$l = 9100 \cdot 2 \text{ мм.}; k = 6 \text{ мм.}; F = 70000 \text{ кг.} = 700000 \text{ Н.}$

l – довжина зварного шва.

Розрахунок зварного шва на зріз проводиться за формулою [2]:

$$\tau = \frac{F}{0,7 \cdot k \cdot l} \leq [\tau] \quad [3.45]$$

$$\frac{700000}{0,7 \cdot 6 \cdot 18200} = 9,15 \text{ МПа}$$

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma]_p = 81,6 \text{ МПа} \quad [3.46]$$

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{s} = \frac{205}{1,5} = 136 \text{ МПа} \quad [3.47]$$

Умова міцності зварного шва:

$$\tau \leq [\tau]$$

$$9,15 \text{ МПа} \leq 81,6 \text{ МПа}$$

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

4.1 Аналіз умов праці та заходи безпеки при експлуатації ЦКТ

Циліндрично-конічний танк (ЦКТ) місткістю 54 м³ є об'єктом підвищеної небезпеки. Експлуатація, технічне обслуговування та ремонт даного обладнання супроводжуються впливом на працівників низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Наявність надлишкового тиску газів усередині апарата (до 0,15 МПа).
Небезпека удушення (асфіксії) внаслідок накопичення діоксиду вуглецю (CO₂).
Хімічна небезпека при роботі з концентрованими лужними (NaOH) та кислотними (HNO₃) мийними розчинами системи СІР.

Термічна небезпека (опіки) від гарячих поверхонь трубопроводів під час санітарної обробки (температура до +85 °С) та обмороження від магістралей холодоносія (до -4 °С).

Робота на висоті (висота апарата перевищує 12 метрів).

Для забезпечення безпечних умов праці на робочому місці апаратника бродіння та слюсаря-ремонтника передбачено комплекс інженерно-технічних та організаційних заходів згідно з чинними нормами охорони праці (НПАОП).

Безпека при роботі з посудинами під тиском.

Апарат оснащений дублюючою системою скидання тиску. Окрім робочого шпунт-апарата, на кришці встановлено пружинний запобіжний клапан, налаштований на тиск 0,17 МПа, який автоматично стравлює надлишок газу при аварійній ситуації. Для запобігання зминанню (імплозії) корпусу при різкому охолодженні або зливі продукту встановлено вакуумний клапан. Категорично забороняється відкривати оглядовий люк або послаблювати фланцеві з'єднання до повного вирівнювання внутрішнього тиску з атмосферним.

Безпека при роботі в замкненому просторі.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.					72	
						гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

Проведення дефектовки або ручного очищення всередині ЦКТ класифікується як роботи підвищеної небезпеки у газонебезпечних місцях. CO₂ є важчим за повітря газом без кольору та запаху, який накопичується в конічному днищі.

Перед спуском працівника всередину танка необхідно:

1. Повністю відключити танк від усіх продуктових та газових комунікацій за допомогою встановлення сталевих заглушок.
2. Провести багаторазове вентильовання внутрішнього об'єму примусовою витяжкою.
3. Виконати інструментальний замір концентрації кисню (повинна бути не менше 20% за об'ємом) та CO₂ за допомогою переносного газоаналізатора.

Роботи виконуються бригадою мінімум з трьох осіб. Один працює всередині (у запобіжному поясі зі страхувальною мотузкою), двоє спостерігають ззовні та утримують кінець мотузки.

Хімічна безпека.

Усі магістралі подачі мийних розчинів системи СІР виконуються стаціонарними, герметично звареними трубопроводами. Фланцеві з'єднання на трубопроводах із лугом та кислотою обладнуються захисними кожухами (дефлекторами) для запобігання розбризкуванню хімікатів в обличчя оператора у разі прориву прокладки. Персонал забезпечується засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): прогумованими фартухами, кислотолугостійкими рукавицями та захисними щитками для обличчя.

4.2 Екологічна безпека та утилізація відходів

Пивоварне виробництво та виробництво квасу характеризуються значним споживанням води та утворенням органічних стічних вод, а також викидами вуглекислого газу в атмосферу. Проектований ЦКТ об'ємом 54 м³ розроблено з урахуванням вимог екологічної безпеки та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Захист атмосферного повітря.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Під час головного бродіння 54 м³ сусла виділяється величезна кількість діоксиду вуглецю. Викид таких об'ємів CO₂ безпосередньо в атмосферу створює парниковий ефект та погіршує мікроклімат на території заводу. З метою екологізації виробництва газовідвідна магістраль ЦКТ підключається до загальнозаводської станції рекуперації CO₂. Газ, що виділяється, збирається, промивається, стискається компресорами, скраплюється і зберігається в резервуарах для подальшого використання у цехах розливу продукції. Це рішення створює безвідходний цикл по газу.

Очищення стічних вод.

Основним джерелом забруднення водойм є стічні води після санітарної обробки (CIP-мийки) танка. Вони містять залишки лугів, кислот, дріжджових клітин та білкових речовин (високий показник ХСК та БСК — хімічного та біологічного споживання кисню).

Для нейтралізації агресивних стоків на підприємстві застосовується метод взаємної нейтралізації. Відпрацьовані розчини лугу та кислоти перед скиданням у загальну каналізацію змішуються в спеціальному танку-нейтралізаторі. Завдяки реакції нейтралізації (NaOH + HNO₃ → NaNO₃ + H₂O) рівень рН стоків доводиться до нормативних значень (рН 6,5...8,5).

Після завершення бродіння з кінцевого днища вивантажується надлишкова маса відпрацьованих дріжджів. Замість скидання їх у каналізацію (що категорично заборонено екологічними нормами через загрозу гниття), дріжджі збираються у спеціальні збірники. Згодом вони проходять термічну інактивацію (сушіння) та реалізуються як високобілкова кормова добавка для сільського господарства або як сировина для фармацевтичної та парфумерної промисловості.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У кваліфікаційній роботі бакалавра було здійснено комплексне розроблення конструкції, обґрунтовано технологію монтажу та сформовано системний регламент технічного обслуговування циліндрично-конічного танка (ЦКТ) робочим об'ємом 54м³, що гарантує безпеку його експлуатації та стабільність виробництва.

Відповідно до поставлених завдань отримано такі результати:

1. За результатами аналізу вихідної інформації доведено економічну та технологічну доцільність впровадження великогабаритних ЦКТ закритого типу. Це дозволяє реалізувати «одноапаратне» виробництво та інтенсифікувати процес бродіння і карбонізації напою завдяки підвищеному гідростатичному тиску («ефект Натана»).
2. Обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів. Основним матеріалом для робочої колби обрано харчову аустенітну сталь AISI 304 (08X18H10). Цей вибір повністю задовольняє жорсткі вимоги щодо корозійної стійкості в умовах кислого середовища сусла, впливу діоксиду вуглецю та циклічної дії агресивних лужних і кислотних розчинів під час СІР-мийки.
3. Виконано комплекс конструкторських розрахунків на міцність основних вузлів апарата (торосферичної кришки, циліндричної обичайки, конічного днища, фланців та люків). Доведено, що визначені товщини стінок оболонки здатні безпечно та довготривало витримувати робочий надлишковий тиск до 0,15 МПа у поєднанні з гідростатичною вагою 54 тонн рідини.
4. Розроблено технологічний регламент монтажу обладнання індустріально-агрегатним методом. Визначено, що основним методом з'єднання корпусних

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			Висновки	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.					75	
						гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

5. деталей та трубопроводів має бути аргонодугове зварювання (TIG) неплавким вольфрамовим електродам із піддувом кореня шва, що забезпечує ідеальну гладкість поверхонь шорсткість $Ra \leq 0.6$ мкм та унеможливорює утворення мікробіологічних плівок. Сформовано систему технічного обслуговування та планово-попереджувальних ремонтів (ППР) із загальною тривалістю ремонтного циклу 34 560 годин. Розроблено суворий технологічний регламент збирання, дефектовки та калібрування критично важливої купольної арматури (запобіжного та вакуумного клапанів).

Впровадження розробленого регламенту технічного обслуговування дозволяє мінімізувати ризик аварійних ситуацій (зокрема явищ імплзії корпусу), підвищити загальний ресурс роботи обладнання та знизити експлуатаційні витрати підприємства на 12–15% на рік. Крім того, передбачені заходи з охорони праці та екологічної безпеки гарантують безпечну роботу персоналу з посудинами під тиском і мінімізацію впливу стоків на довкілля.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. ДСТУ 7505:2014. Поковки сталеві штамповані. Допуски, припуски та кувальні напуски. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 54 с.
2. ДСТУ EN 13445-3:2015. Посудини, що працюють під тиском, без вогневого підведення тепла. Частина 3. Проектування (EN 13445-3:2014, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 842 с.
3. ДСТУ EN ISO 14175:2014. Матеріали зварювальні. Гази та газові суміші для плавкого зварювання і споріднених процесів. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 18 с.
4. ДСТУ EN ISO 17635:2014. Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Загальні правила щодо металевих матеріалів. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 26 с.
5. ДСТУ ISO 228-1:2015. Різьби трубні, що не забезпечують герметичність з'єднання. Частина 1. Розміри, допуски і позначення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 20 с.
6. ДСТУ ISO 4063:2012. Зварювання та споріднені процеси. Перелік та умовні позначення процесів. Київ : Мінекономрозвитку України, 2013. 22 с.
7. Мелетєв А. Є., Власенко В. В. Обладнання підприємств бродильної промисловості. Вінниця : ВНТУ, 2016. 310 с.
8. Планово-попереджувальний ремонт обладнання підприємств харчової промисловості : довідник / уклад. О. І. Петренко. Львів : Новий Світ-2000, 2021. 224 с.
9. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском : НПАОП 0.00-1.81-18 : затв. наказом Мінсоцполітики України від 05.03.2018 № 333. Київ : Основа, 2018. 56 с.

					КРБ 22-061.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кожушко В.С.			Перелік посилань	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Вітенько Т.М.					77	
						гр. МО-41		
Н. Контр.		Кравець О.І.						
Затверд.		Пилипець О.М.						

- 10.Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні : навч. посібник. Київ : Вища школа, 1993. 414 с.
- 11.Соколов В. Н. Сучасні методи розрахунку на міцність хімічного та харчового обладнання. Дніпро : НМетАУ, 2020. 198 с.
- 12.Технічний регламент обладнання, що працює під тиском : затв. постановою Кабінету Міністрів України від 16 січ. 2019 р. № 27. Київ, 2019. 24 с.
- 13.DIN 11851:2013-02. Fittings for the food and chemical industries – Stainless steel screwed pipe connections – Design and dimensions. Berlin : Beuth Verlag, 2013. 16 p.
- 14.DIN 32676:2009-05. Fittings for the food, chemical and pharmaceutical industry – Clamp connections for stainless steel tubes. Berlin : Beuth Verlag, 2009. 18 p.
- 15.EHEDG Guidelines Doc 8. Hygienic Design of Closed Equipment for the Processing of Liquid Food. European Hygienic Engineering & Design Group, 2018. 32 p.
- 16.ISO 16528-1:2007. Boilers and pressure vessels. Part 1: Performance requirements. Geneva : ISO, 2007. 13 p.