

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

**Навчально–науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра зварювального виробництва**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

(підпис) Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо–професійною програмою
«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
на тему: Технологія складання та зварювання резервуару**

Виконав:

студент IV курсу, групи ЗВ–21

Лукошкін Іван Сергійович

Керівник:

асистент, доктор філософії (PhD)

Лагодзінський Іван Миколайович

Консультант з розроблення стартап–проєкту:

доцент, к.е.н., доцент Нараєвський Сергій Вікторович

Консультант з охорони праці:

Зав. каф., д.т.н., професор

Левченко Олег Григорович

Рецензент:

старший науковий співробітник

Войтенко Олександр Миколайович

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

Студент _____

Київ – 2026 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально–науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра зварювального виробництва

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо–професійна програма – «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Лукошкіну Івану Сергійовичу

1. Тема проєкту «Технологія складання та зварювання резервуару», керівник проєкту Лагодзінський Іван Миколайович, асистент, доктор філософії (PhD), затверджені наказом по університету від «28» травня 2026 р. № 1986–с

2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу – P235GH (EN 10028–2) 1.0345. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Серійна програма виготовлення виробу – 50 шт. Умови виготовлення – цехові, температура експлуатації – від –40 °C до +120 °C.

4. Зміст пояснювальної записки:

Виконати конструктивно–технологічний аналіз резервуару. Обґрунтувати вибір методів зварювання. Вибрати зварювальні матеріали. Призначити зварні шви згідно нормативних документів. Розрахувати режими зварювання зварних швів і витрати зварювальних матеріалів, призначити параметри режимів зварювання. Вибрати устаткування для зварювання. Розробити технологічну послідовність складання–зварювання резервуару. Адаптувати вибране устаткування для складання і зварювання резервуару. Виконати компонування установки для зварювання швів резервуару. Призначити методи контролю якості зварних швів резервуару. Спланувати розміщення засобів технологічного спорядження на виробничій площі. Скласти операційну карту процесу зварювання. Зробити загальні висновки до технологічного розділу дипломного проекту. Розрахувати економічний ефект від впровадження розробленої технології у виробництво. Розробити заходи з охорони праці безпеки та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

1. Складальне креслення резервуару (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення резервуару (1 А1).
3. Креслення складання кільцевого шву №5 (1 А1).
4. Креслення зварювання кільцевого шву №5 (1 А1).
5. Креслення складання та зварювання прямолінійного шву №2 (1 А1).
6. План виробничої площі (1 А1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап проекту	Нараєвський С. В., доц.		
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Прим.
1	Аналіз літератури за темою проекту	до 30 квітня	
2	Детальна розробка і обґрунтування проектних рішень технологічної частини проекту	до 15 травня	
3	Розробка стартап проекту	до 20 травня	
4	Розробка інженерних рішень з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	до 20 травня	
5	Оформлення графічного матеріалу	до 25 травня	
6	Оформлення пояснювальної записки і підготовка доповіді на захист	до 9 червня	

Студент

(підпис)

Іван ЛУКОШКІН

Керівник

(підпис)

Іван ЛАГОДЗІНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проєкту: 128 сторінок, 26 рисунків, 45 таблиць, 50 джерел інформації, 4 додатки, 6 аркушів графічного матеріалу.

РЕЗЕРВУАР, ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ, СТАЛЬ P235GH, ЗВАРЮВАННЯ MIG 131, ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ SAW 121, СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНА ОСНАСТКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗВАРЮВАННЯ, ОБЕРТАЧ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ, СТАРТАП-ПРОЄКТ.

У дипломному проєкті розроблено технологію складання та зварювання резервуару зі сталі P235GH (EN 10028–2) 1.0345. Визначено конструктивні особливості виробу, проаналізовано властивості матеріалу та обґрунтовано вибір способів зварювання MIG 131 і SAW 121 з урахуванням вимог до міцності, герметичності та якості зварних з'єднань.

Розроблено технологічний процес виготовлення резервуару, що включає підготовку металопрокату, плазмове різання, правлення листового металу, вальцювання обичайок, складання та зварювання вузлів виробу. Виконано вибір обладнання, зокрема плазморізального верстата, листопрямильного обладнання, трьохроликового гідравлічного верстата, установки для зварювання повздовжніх швів, роликового обертача та інших механізмів.

Розроблено планування виробничої ділянки з визначенням кількості обладнання, чисельності персоналу та виробничих площ. Проведено аналіз умов праці, визначено небезпечні та шкідливі виробничі фактори, виконано розрахунки вентиляції, освітлення та параметрів мікроклімату.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці, пожежної безпеки та захисту персоналу. Виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованої технології, оцінено ефективність виробництва резервуарів за річної програми випуску 50 виробів.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma project: 128 pages, 26 figures, 45 tables, 50 references, 4 appendices, 6 sheets of graphical material.

TANK, ASSEMBLY TECHNOLOGY, WELDING TECHNOLOGY, P235GH STEEL, MIG 131 WELDING, SAW 121 SUBMERGED ARC WELDING, ASSEMBLY AND WELDING FIXTURES, WELDING AUTOMATION, WELDING ROTATOR, OCCUPATIONAL SAFETY, FEASIBILITY STUDY, STARTUP PROJECT.

The diploma project develops the technology for assembling and welding a storage tank made of P235GH steel (EN 10028–2) 1.0345. The structural features of the product were determined, the material properties were analyzed, and the selection of MIG 131 and SAW 121 welding processes was substantiated considering the requirements for strength, tightness, and quality of welded joints.

A manufacturing process for the tank is developed, including preparation of rolled steel products, plasma cutting, sheet metal straightening, shell rolling, assembly, and welding of the product components. Equipment selection is carried out, including a plasma cutting machine, sheet straightening equipment, a three-roll hydraulic rolling machine, a longitudinal seam welding unit, a roller rotator, and other mechanisms.

The layout of the production area is developed with the determination of the required number of equipment units, personnel, and production space. Working conditions are analyzed, hazardous and harmful production factors are identified, and calculations of ventilation, lighting, and microclimate parameters are performed.

Particular attention is paid to occupational safety, fire safety, and personnel protection. A feasibility study of the proposed technology is carried out, and the efficiency of tank production with an annual output of 50 units is evaluated.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	8
ВСТУП	9
1 КОНСТРУКТИВНО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ	10
1.1 Призначення виробу	10
1.2 Опис конструкції виробу.....	10
1.3 Аналіз матеріалу конструкції за хімічним складом та механічними властивостями	12
1.4 Схильність до утворення тріщин	14
1.5 Характеристика зварних з'єднань.....	14
1.6 Вибір способу та параметрів режиму зварювання.....	15
1.7 Розробка зварних з'єднань.....	17
1.8 Технічні умови для виготовлення резервуару.....	19
1.9 Обґрунтований вибору зварювальних матеріалів	20
1.10 Розрахунок режимів зварювання.....	22
1.11 Опис технологічного процесу виготовлення виробу	27
1.12 Вибір устаткування та засобів технологічного спорядження	32
2 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ	45
2.1 Технічні вимоги щодо оснастки.....	45
2.2 Вибір технологічних баз та схема базування заготовок	46
2.3 Компонування складально–зварювального пристрою	47
2.4 Опис роботи складально–зварювального пристрою.....	47

					<i>ЗВ-21.08.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Технологічний процес виготовлення резервуару</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Лукошкін І.С.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Лагодзінський І.М.</i>					
<i>Н. контр.</i>		<i>Лисак В.В.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>			<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е.О. Патона</i>		
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архувів</i>
						5	128

3	КОМПОНУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ	49
3.1	Обґрунтування вибору основного технологічного устаткування.....	49
3.2	Розрахунок роликів зварювальних обертачів.....	53
3.3	Опис роботи зварювальної установки.....	66
4	РОЗРОБЛЕННЯ ПЛАНУ ДІЛЯНКИ ЦЕХУ	69
4.1	Визначення типу виробництва за номенклатурою продукції	69
4.2	Визначення типу та кількості обладнання	70
4.3	Визначення чисельності персоналу	72
4.4	Розробка складально–зварювального цеху	73
4.5	Розробка площі складу металу, заготовок, виробів.....	76
4.6	Технічні та функціональні вимоги до планування цеху	79
	ВИСНОВКИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗДІЛУ	81
5	СТАРТАП ПРОЄКТ	83
5.1	Енергетичний розділ.....	83
5.2	Розрахунок чисельності виробничих робітників	88
5.3	Визначення фондів заробітної плати	91
5.4	Розрахунок продуктивності праці.....	96
5.5	Розрахунок капітальний вкладень.....	97
5.6	Визначення планової собівартості одиниці продукції.....	101
5.7	Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення	103
	ВИСНОВОК ДО СТАРТАП–ПРОЄКТУ	106
6	ОХОРОНА ПРАЦІ	107
6.1	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	108
6.2	Заходи зниження шкідливих і небезпечних виробничих факторів ...	109
6.3	Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці.....	110

6.4	Розрахунок інженерного рішення (вентиляції).....	114
6.5	Пожежна безпека	116
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ З ОХОРОНИ ПРАЦІ		118
ВИСНОВКИ.....		119
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....		121

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

A – ампер, одиниця електричного струму

B – вольт, одиниця електричної напруги

Вт – ват, одиниця потужності

ГДК – гранично допустима концентрація

$C_{\text{екв}}$ – еквівалент вуглецю (показник, що характеризує схильність сталі до утворення холодних тріщин)

EBW (51) – електронно-променеве зварювання

ESW (72) – електрошлакове зварювання

HCS – індекс схильності до утворення гарячих тріщин

I – сила зварювального струму, A

ISO – International Organization for Standardization

LBW (52) – лазерне зварювання

MAG (135) – дугове зварювання плавким електродом у вуглекислому газі

MIG (131) – дугове зварювання плавким електродом в інертних газах

MMA (111) – ручне дугове зварювання штучним електродом

OFW (311) – газове зварювання

PAW (15) – плазмове зварювання

SAW (121) – зварювання під флюсом

TIG (141) – дугове зварювання неплавким електродом в інертних газах

U – напруга зварювальної дуги, B

δ – відносне подовження

σ_B – межа міцності

σ_T – межа текучості

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне зварювальне виробництво характеризується зростаючими вимогами до надійності, герметичності та економічної ефективності металевих конструкцій, що працюють під внутрішнім тиском або призначені для зберігання рідин. Особливої актуальності набуває виготовлення резервуарів циліндричної форми, які широко застосовуються в енергетичній, аграрній, транспортній та промисловій галузях. Такі конструкції повинні забезпечувати механічну міцність, корозійну стійкість, довговічність та відповідність вимогам нормативної документації.

У даній курсовій роботі розглядається розроблення технологічного процесу виготовлення горизонтального сталевого резервуара об'ємом близько 8 м³ із сталі P235GH (EN 10028-2) 1.0345 у кількості 50 одиниць у виробничому цеху.

Геометричні параметри резервуара та матеріал дозволяє використовувати резервуар для зберігання технічної води або інших неагресивних рідин. При цьому конкретна можливість зберігання певного середовища залежить від умов експлуатації, робочого тиску, температурного режиму та вимог до антикорозійного покриття, що виходить за рамки даного проекту.

Під час виконання роботи передбачається провести конструктивний та технологічний аналіз виробу, визначити оптимальну послідовність виготовлення обичайок і днищ, розробити маршрут складання та зварювання, обґрунтувати вибір способу зварювання, зварювальних матеріалів і режимів процесу. Окрема увага приділяється питанням забезпечення геометричної точності також організації серійного виробництва з урахуванням випуску 50 одиниць продукції.

Розроблений технологічний процес має забезпечити стабільну якість виробів, відповідність чинним стандартам та економічну доцільність серійного виготовлення резервуарів у цехових умовах.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 КОНСТРУКТИВНО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ

1.1 Призначення виробу

Резервуар циліндричної форми із сталі P235GH (EN 10028–2) 1.0345 об'ємом 8 м³ має плоске мембранне днище, що вказує на можливість використання тільки з незначним надлишковим тиском – до 0,04 МПа. Така конструкція призначена для зберігання рідких неагресивних середовищ у стаціонарних та рухомих умовах експлуатації. Конструкція резервуара передбачає використання в наземному виконанні у складі технологічних систем промислових, аграрних, енергетичних та комунальних підприємств.

Основним функціональним призначенням виробу є накопичення та зберігання технічної води, але не підходить для нафтопродуктів через неможливість забезпечення необхідним тиском.

Матеріал P235GH [1, 2] характеризується доброю зварюваністю, достатньою міцністю та пластичністю, що забезпечує надійність зварної конструкції при роботі під надлишковим тиском або в умовах атмосферного зберігання. Конструкція резервуара розрахована на забезпечення герметичності, механічної стійкості та довговічності при експлуатації.

1.2 Опис конструкції виробу

Резервуар являє собою зварну тонкостінну оболонкову конструкцію з підтримуючим каркасом. Таким чином забезпечена універсальність, міцність та герметичність виробу.

Конструктивно резервуар складається з таких основних елементів:

- циліндричної обичайки, сформованої зі сталевих листів;
- двох торцевих днищ (плоских з завальцьованим краєм);
- поздовжніх і кільцевих зварних швів;
- технологічного люка;
- профільного каркасу.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріал P235GH (EN 10028–2, 1.0345) належить до групи сталей для роботи під тиском та характеризується доброю зварюваністю без обов’язкової термообробки після зварювання при помірних товщинах металу.

З технологічної точки зору резервуар відноситься до виробів середньої складності та значних габаритів, що визначає специфіку його виготовлення: необхідність у забезпеченні точності стикування крайок перед зварюванням; у потребі контролю овальності та відхилень від циліндричності, а також у мінімізації зварювальних деформацій і залишкових напружень.

Основними видами зварних з’єднань є стикові шви (поздовжній та кільцеві), які повинні забезпечувати повний провар і герметичність. З огляду на серійність виготовлення (50 одиниць), доцільним є застосування механізованих або автоматизованих способів зварювання, що дозволяє підвищити продуктивність і стабільність якості швів.

З точки зору контролю якості виріб потребує перевірки герметичності (гідравлічні), візуально–вимірювального контролю зварних з’єднань, а за необхідності – застосування неруйнівних методів контролю (капілярний, ультразвуковий чи радіографічний контроль стикових швів).

Таким чином, конструкція резервуара є технологічно доцільною для серійного виготовлення в умовах цеху, поєднуючи раціональну форму оболонки, добру зварюваність матеріалу та можливість механізації основних операцій. Раціонально організований технологічний процес дозволяє забезпечити герметичність, міцність та експлуатаційну надійність виробу при мінімальних витратах часу і матеріальних ресурсів.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Аналіз матеріалу конструкції за хімічним складом та механічними властивостями

Сталь P235GH (1.0345) відповідно до стандарту EN 10028–2 є нелегованою якісною конструкційною сталлю, призначеною для виготовлення посудин, що працюють під тиском, трубопроводів і резервуарів при підвищених температурах[1, 2].

Згідно з ДСТУ ISO/TR 15608:2019 [3] сталь належить до групи 1.1 [1]–низьковуглецеві нелеговані сталі з доброю зварюваністю. Хімічний склад сталі наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад у % мас. P235GH [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	As
<0.16	<0.35	від 0.4 до 1.2	<0.3	<0.01	<0.025	<0.3	<0.08
Mo	V	Nb	Ti	Al	Cu	N	Fe
<0.08	<0.02	<0.02	<0.03	>0.02	<0.3	<0.012	решта

Низький вміст вуглецю забезпечує добру пластичність, мінімальну схильність до гартівних структур у ЗТВ та відсутність холодних тріщин за правильно підібраної технології. Механічні характеристики наведені у таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Механічні властивості (при T=20 °C) та товщині до 16 мм [2]

Межа текучості	σ_T	235 МПа
Тимчасовий опір розриву	σ_B	від 360 до 480 МПа
Відносне подовження	Δ	$\geq 24 \%$

Сталь P235GH є низьковуглецевою нелегованою конструкційною сталлю з переважно феритно–перлітною структурою. Після нормалізації охолодженням її мікроструктура формується внаслідок евтектоїдного розпаду аустеніту, в результаті чого утворюється перліт як механічна суміш фериту і цементиту, а також ферит, що виділяється безпосередньо з аустеніту при зниженні температури нижче критичних точок. Ферит забезпечує сталі високу пластичність і ударну в'язкість, тоді як перліт підвищує міцність і твердість, формуючи збалансоване поєднання механічних властивостей, необхідних для роботи під статичними та змінними навантаженнями.

Вміст вуглецю у сталі є відносно невисоким, що зменшує схильність до утворення загартованих структур у зоні термічного впливу під час зварювання та покращує технологічність. Марганець підвищує міцність, покращує гатрованість і зв'язує сірку у стабільні сполуки, зменшуючи ризик утворення гарячих тріщин. Кремній виконує роль розкислювача та сприяє формуванню дрібнозернистої структури, що позитивно впливає на механічні характеристики. Вміст сірки й фосфору суворо обмежується стандартом, оскільки їх підвищена концентрація може знижувати пластичність і ударну в'язкість.

Сталь P235GH відзначається доброю зварюваністю і для невеликих товщин зазвичай не потребує попереднього підігріву, однак при збільшенні товщини або підвищених вимогах до надійності зварних з'єднань режим зварювання та необхідність термообробки повинні визначатися технологічними нормативами і розрахунками. Сукупність структури, фазового складу та хімічних елементів забезпечує сталі стабільність властивостей, технологічність у виготовленні та достатню надійність при експлуатації обладнання, що працює під внутрішнім тиском і впливом підвищених температур.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.4 Схильність до утворення тріщин

Для оцінки схильності метала шва до утворення гарячих та холодних тріщин варто провести додаткові розрахунки. Оцінку схильності до гарячих тріщин розрахуємо наступною формулою [4]:

$$HCS = \frac{C (S + P + 0.04Si + 0.01Ni)}{3Mn + Cr + Mo + V} =$$
$$= \frac{0.16 (0.01 + 0.025 + 0.04 \cdot 0.35 + 0.01 \cdot 0.3)}{3 \cdot 1.2 + 0.3 + 0.08 + 0.02} = 0.00208 < 0.004$$

Так як $HCS < 0.004$ можна зробити висновок, що сталь не схильна до утворення гарячих тріщин.

Перевіряємо на схильність до утворення холодних тріщин [3]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} =$$
$$= 0.16 + \frac{0.35}{24} + \frac{1.2}{6} + \frac{0.3 + 0.08 + 0.02}{5} + \frac{0.3 + 0.3}{15} = 0.49$$

Так як $C_{\text{екв}} = 0,49 > 0.45$, що вказує на невелику схильність до утворення холодних тріщин за максимального вмісту легувальних елементів та домішок. Але практично таке поєднання мало ймовірно, від так в цехових умовах доцільно ретельно контролювати хімічний склад сталей, що отримуються на склад за сертифікатами якості та за можливості проводити вибіркового хімічний аналіз. В загальному сталь P235GH (1.0345) вважається добре зварювальною та з мінімальною схильністю до холодних тріщин.

1.5 Характеристика зварних з'єднань

Розглядаючи наш виріб резервуар, можемо оцінити та проаналізувати характеристики зварних з'єднань. Усі з'єднання можна вважати

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідальними і найважливішими вимогами до зварних швів є герметичність, надійність та відсутність дефектів. Переважно резервуар складається з прямолінійних та кільцевих швів різної по складності траєкторії. Також проаналізуємо доступність до зварного з'єднання та зведемо дані в таблицю 1.3 згідно методики [4]

Таблиця 1.3 – Характеристики зварних з'єднань резервуару

№ з'єднання	Вид з'єднання	Товщина металу, мм	Протяжність шва, м	Кількість з'єднань	Конфігурація з'єднання	Доступність
1	Стикове	6	4,4	2	Кільцеве	Без обмежень
2	Стикове	6	1,5	3	Прямо-лінійне	Без обмежень
3	Кутове	3 та 6	0,24	9	Прямо-лінійне	Обмежено
4	Напусткове	6 та 8	4,4	2	Кільцеве	Обмежено
5	Кутове	6	1,91	1	Кільцеве	Без обмежень

В подальшому розглядаємо шов №2 та №5

1.6 Вибір способу та параметрів режиму зварювання

Для зварювання сталі визначемо один з нижче наведених способів зварювання [4], рекомендації яких наведені в таблиці 1.4

Так, як сталь P235GH (1.0345) є нелегованою низьковуглецевою сталлю і невисоким еквівалентом вуглецю та відсутністю спеціальних легувальних

елементів типу Ti, Nb, V у значних кількостях, то з подальшого аналізу виключаємо способи дугового зварювання неплавким електродом– TIG (141): плазмове PAW (15) електронно–променеве EBW (51) та лазерне LBW (52), як недоцільно дорогі способи зварювання.

Таблиця 1.4 – Способи зварювання

№	Група Матеріалів	Типові способи зварювання									
		Плавким електродом					Неплавким електродом				
		MMA	MAG	MIG	SAW	ESW	OFW	TIG	PAW	EBW	LBW
1	P235GH	+	++	++	++	++	+	–	–	–	–

Примітка. “++” – рекомендуються переважно, “+” – рекомендуються, “(+)” – рекомендуються обмежено, “–” – не рекомендуються.

Таким чином, для подальшого аналізу залишаються способи ручного дугового – MMA (111), в вуглекислому газі MAG (135), під флюсом SAW (121), електрошлакового ESW (72), газового OFW (311) та зварювання плавким електродом в інертних газах MIG (131).

Очевидно, що недоцільно використовувати низькопродуктивне газове OFW (311) зварювання (багатопрхідне зварювання з присадкою) та низько ефективне зварювання неплавким електродом в активних газах. Виключаємо також електрошлакове зварювання ESW (72) так як технологічно недоцільно використовувати для товщин менше 16 мм.

З способів залишилися: автоматичне під флюсом – за один прохід, в вуглекислому газі MAG (135) – за один прохід, в інертному газі MIG (131) – за один прохід, а ручне дугове зварювання MMA (111) – за два та

більше проходів. Оцінка кількості проходів дає уявлення про продуктивність способів зварювання: чим менша кількість проходів, тим більша продуктивність.

Оцінка кількості проходів та економічної доцільності показує, що для товщин 6–8 мм найвищу продуктивність забезпечує механізоване зварювання в середовищі інертних газів MIG (131) та під флюсом SAW (121). Для подальшої розробки швів будемо відштовхуватись від наявного обладнання та його характеристик для оптимального застосування обраних режимів зварювання.

Проаналізувавши ці способи можна звести висновки у таблицю 1.5 з рекомендованим використанням зварювання для усіх зварних з'єднань.

Таблиця 1.5 – Варіанти типових способів зварювання

Номер зварного з'єднання	Положення при зварюванні	Товщина, мм	Спосіб зварювання
1	РА	6	SAW (121)
2	РА	6	MIG (131)
5	РВ	6	SAW (121)

Розробляємо технологію зварювання зварного з'єднання №2 та №5.

Для зварних з'єднань обираємо необхідні зварювальні матеріали в розділі 1.9

1.7 Розробка зварних з'єднань

При проектуванні зварних швів визначаємо їх основні геометричні характеристики, зокрема товщину, довжину, величину катета та спосіб підготовки кромek деталей.

Зведемо данні характеристики зварних швів та складемо таблицю 1.6

Таблиця 1.6 – Характеристики зварних з'єднань

№ шву	Товщина матеріалу t , мм	Тип підготовки	Ескіз	Кут α, β	Зазор b , мм
2	від 3 до 8	без скосу крайок, за ДСТУ EN ISO 9692–1 п. 1.2.2		–	від 6 до 8
5	Від 4,5 до 6	зі скосом однієї крайки, за ДСТУ EN ISO 9692–2 п. 3.1.1		45°	від 0 до 2

Параметри швів встановлюються залежно від товщини матеріалу конструкції та величини навантажень, що діють на резервуар у процесі експлуатації, включаючи внутрішній тиск, власну вагу конструкції та вплив зовнішніх чинників.

Для шву №2, товщина матеріалу 6 мм, який зварюємо способом MIG (135) відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 9692–1 [5].

Для шву №5, товщина матеріалу 6 мм і 8 мм, способом SAW (121) відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 9692–2 [6]

1.8 Технічні умови для виготовлення резервуару

Виготовлення резервуара для зберігання технічної води повинно здійснюватися відповідно до вимог робочої конструкторської документації та чинних стандартів на листовий прокат і зварні конструкції.

Сталь P235GH (EN 10028–2, 1.0345) [1], [2] повинна постачатися з сертифікатом якості та відповідати встановленим вимогам щодо хімічного складу та механічних властивостей.

Листовий метал перед виготовленням проходить вхідний контроль на відсутність тріщин, розшарувань і поверхневих дефектів. Формування обичайки здійснюється методом холодного вальцювання з подальшим складанням у зварювальному пристрої, що забезпечує співвісність та мінімальну овальність. Днища вставляються у середину обичайки та приєднуються до кільцевими швами – матеріал днища та обичайки складається в напусток.

Зварні шви повинні бути рівномірними, без тріщин, непроварів, прожогів та інших дефектів, що можуть вплинути на герметичність конструкції. Після зварювання проводиться очищення швів від шлаку та бризок металу.

Геометричні відхилення резервуара не повинні перевищувати допусків, установлених для циліндричних зварних конструкцій середніх габаритів;

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

овальність корпусу повинна забезпечувати правильне прилягання днищ і нормальні умови експлуатації. Конструкція повинна зберігати стійкість при встановленні на опори та під час заповнення водою.

Контроль якості включає 100 % візуально-вимірювальний контроль зварних з'єднань та перевірку герметичності шляхом заповнення резервуара водою з витримкою під навантаженням. Ознаки протікання або просочування через зварні з'єднання не допускаються.

Після завершення виготовлення поверхні очищаються від забруднень і покриваються антикорозійним покриттям, придатним для контакту з технічною водою. Готовий резервуар повинен забезпечувати міцність, герметичність і довговічність при експлуатації в атмосферних умовах без внутрішнього надлишкового тиску та відповідати вимогам безпечної експлуатації зварних металоконструкцій.

1.9 Обґрунтований вибору зварювальних матеріалів

Вибір зварювальних матеріалів здійснюється з урахуванням хімічного складу та властивостей основного матеріалу – сталі P235GH (1.0345), яка належить до групи низьковуглецевих нелегованих сталей, призначених для роботи під тиском при підвищених температурах. Основними вимогами є забезпечення достатньої міцності зварного з'єднання, пластичності, відсутності холодних тріщин та стабільності властивостей у зоні термічного впливу.

Для зварювання шву № 2 прийнято використання режиму MIG, тоді згідно ДСТУ EN ISO 14341–A [7] підбираємо дріт, який має відповідати маркуванню G 35 2 M21 3Si1.

Згідно ДСТУ EN ISO 14341–A: G 35 2 M21 3Si1 [7] має розшифрування:

- G – режим зварювання MIG/MAG;
- 35 – мінімальна границя текучості 350 МПа, що відповідає мінімальному значенню більше міцності сталі P235GH (1.0345);

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 2 – ударна в'язкість при 0°C (≥ 47 Дж);
- M21 – захисний газ;
- 3Si1 – код хімічного складу, який відповідає вмісту легуючих елементів кремнію та марганцю.

Наявність кремнію та марганцю в дроті стабілізують процес зварювання, що особливо важливо при автоматичних режимах зварювання. Забезпечують стабільне горіння дуги.

Для захисту зони зварювання шву №2 від впливу атмосферних газів застосовується захисний газ відповідно до EN ISO 14175 [8]. Обираючи захисний газ проаналізувавши варіанти було обрано оптимальний для процесу MIG – газова суміш ISO 14175 M21 (Ar/CO₂ 82/18) [8]. Аргон у складі суміші забезпечує стабільність дуги, рівномірне перенесення металу та зменшення розбризкування. В той час як наявність вуглекислого газу у суміші сприяє підвищенню глибини проплавлення та покращенню формування шва.

Характеристики газової суміші наведено в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Класифікація захисного газу за ISO 14175:2008 (M21) [8]

Головна група	Підгрупа	CO ₂ , %	O ₂ , %	Ar, %	He, %	N ₂ , %
M2	1	$15 \leq \text{CO}_2 \leq 25$	–	решта	–	–

Для зварного з'єднання № 5 обрано процес дугового зварювання під флюсом SAW (121), тоді вибір зварювальних матеріалів здійснюється відповідно до вимог EN ISO 14171 [9] та EN ISO 14174 [10].

Для даного з'єднання прийнято комбінацію зварювального дроту та флюсу, що відповідає маркуванню S 35 3 AB S2:

- S – суцільний дріт для дугового зварювання під флюсом (SAW);
- 35 – мінімальна границя текучості наплавленого металу 350 МПа, що перевищує міцність основного металу P235GH (1.0345);
- 3 – ударна в'язкість при температурі –20°C (≥ 47 Дж);
- AB – тип застосовуваного флюсу;

- S2 – код хімічного складу дроту, що характеризується помірним вмістом марганцю та кремнію.

Особливу роль у даному процесі відіграє флюс типу АВ, обраний згідно з EN ISO 14174 [10]. Такий флюс належить до основних (базових) і характеризується низьким вмістом дифузійного водню, що знижує ризик утворення холодних тріщин. Крім того, він забезпечує стабільне горіння дуги, сприяє формуванню якісного зварного шва та добре сумісний з автоматизованими системами подачі й збору флюсу.

1.10 Розрахунок режимів зварювання

Для обраного варіанту зварювання проведемо розрахунок. Розрахунок ведемо згідно методики [11].

Розрахунок зварного шва №2 показано на рис.1.1.

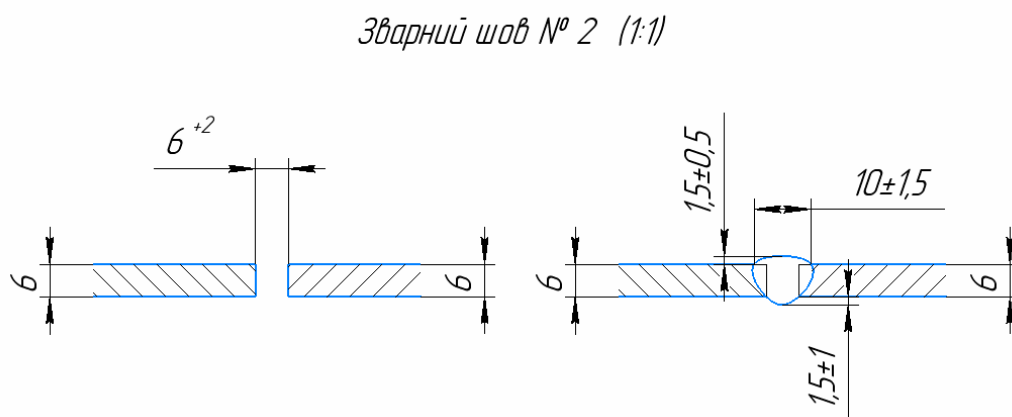


Рисунок 1.1 – Схема підготовки до зварювання та зварного шву №2

Визначаємо розрахункову глибину проплавлення:

$$h_p = S - 0.5 \cdot b = 6 - 0.5 \cdot 6 = 3 \text{ мм}$$

де s – товщина металу, мм

b – ширина зазору, мм

Діаметр електродного дроту:

$$d_{\text{е.д.}} = \sqrt[4]{h_p} \pm 0,05 \cdot h_p = \sqrt[4]{3} \pm 0,05 \cdot 3 = 1,16 \dots 1,46 \text{ мм}$$

Обираємо з стандартного ряду $d_{\text{е.д.}} = 1,2 \text{ мм}$

Визначаємо швидкість зварювання:

$$V_3 = K_v \cdot \frac{h_p^{1.32}}{e^{3.36}} = 1060 \cdot \frac{3^{1.32}}{10^{3.36}} = 1.97 \frac{\text{мм}}{\text{с}} = 11.84 \text{ см/хв} = 7,1 \text{ м/год}$$

де $K_v = 1060$ – коефіцієнт з табл.13 [11], що враховує діаметр дроту;

$e = 10 \pm 1,5 \text{ мм}$ – ширина наплавлення.

Струм зварювання визначаємо:

$$I_3 = K_I \cdot \frac{h_p^{1.32}}{e^{1.07}} = 430 \cdot \frac{3^{1.32}}{10^{1.07}} = 156.1 \text{ А}$$

де $K_I = 430$ – коефіцієнт з табл.14 [11], що враховує діаметр дроту

Перевіряємо обмеження струму за таб.15 [11];

$$I_3 = 156 \leq 180 \cdot d_{\text{е.д.}}^{1.5} = 237 \text{ А}$$

Перевірка виконується.

Напруга зварювання:

$$U_3 = 14 + 0,05 \cdot I_3 = 14 + 0,05 \cdot 156 = 21.8 \text{ В} \approx 22 \text{ В}$$

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виліт електродного дроту:

$$l_B = 10 \cdot d_{e.d.} \pm 2 \cdot d_{e.d.} = 10 \cdot 1,2 \pm 2 \cdot 1,2 = 9,6 \dots 14,4 \text{ мм}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{e.d.} = 0,53 \cdot \frac{I_3}{d_{e.d.}^2} + 6,94 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{I_3^3}{d_{e.d.}^3} = 0,53 \cdot \frac{156}{1,2^2} + 6,94 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{156^3}{1,2^3} \\ = 67,2 \frac{\text{мм}}{\text{с}} = 241,9 \text{ м/год}$$

Розрахунок захисного газу:

$$q_{з.г.} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot I_3^{0,75} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 156^{0,75} = 0,146 \frac{\text{л}}{\text{с}} = 8,74 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Ці теоретичні розрахунки є базою для початкових налаштувань, які корегуються на виробництві шляхом первинних тестувань.

Розрахунок зварного шва №5 показано на рис.1.2.

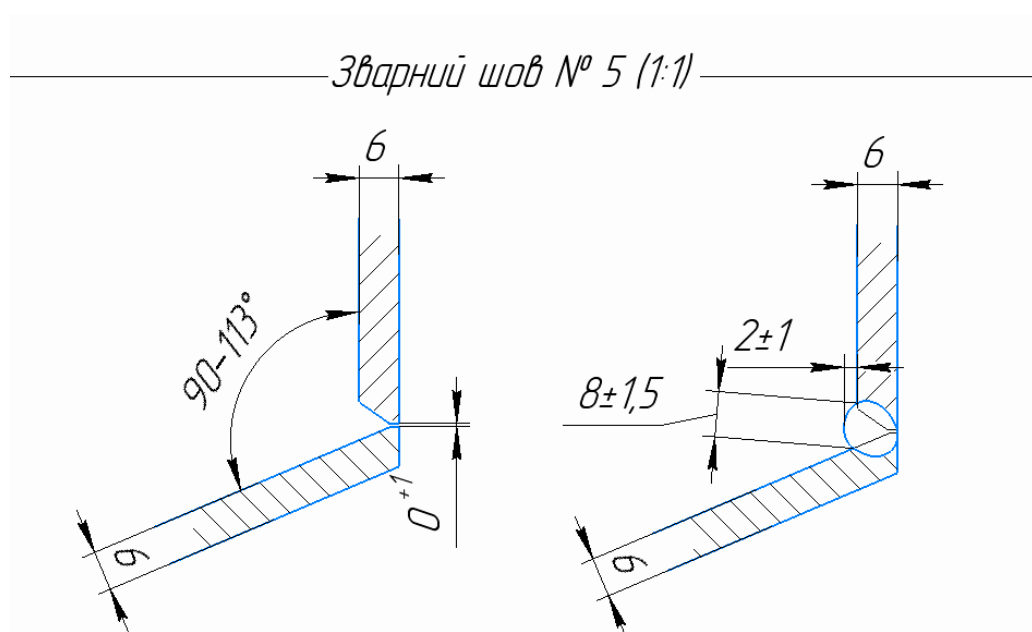


Рисунок 1.2 – Схема підготовки до зварювання та зварного шву №5

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Визначаємо площу проходу

$$F_H = K_3 \cdot l \cdot g + \frac{1}{2} \cdot K^2 = 0.7 \cdot 8 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 6^2 = 29,2 \text{ мм}^2$$

де K_3 — коефіцієнт для врахування кривизни

l — довжина катету

g — висота опуклості шву

K — розмір катету шва

Визначаємо діаметр електродного дроту:

$$d_{e.d.} \geq (0,036..0,160) \cdot F_H = (0,036..0,160) \cdot 29,2 = 1,05..4,67 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_{e.d.} = 3 \text{ мм}$ заокругливши до стандартних значень. Згідно ISO 14171 [9] для зварювання найбільш універсальним є дріт маркування S2 який забезпечує стабільне формування шва.

Визначаємо швидкість зварювання:

$$v_{зв} \leq 110 \cdot \frac{d_{e.d.}}{F_H} = 110 \cdot \frac{3}{29,2} = 11,3 \text{ мм/с}$$

Приймаємо $v_{зв} = 11 \text{ мм/с}$

Так шов кільцевий визначимо швидкість обертання установки

$$w = \frac{v_{зв}}{D} = \frac{11}{600} = 0.0183 \text{ с}^{-1}$$

Тоді процес зварювання буде тривати:

$$T = \frac{2 \pi \cdot D}{v_{зв}} = \frac{2\pi \cdot 600}{11} = 342.7 \text{ с} = 5.7 \text{ хв}$$

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо швидкість подачі дроту:

$$v_{\text{др}} = \frac{4 \cdot F_{\text{Н}} \cdot v_{\text{зв}}}{\pi \cdot d_{\text{е.д.}}^2} = \frac{4 \cdot 29,2 \cdot 11}{\pi \cdot 3^2} = 45,44 \text{ мм/с}$$

Визначаємо силу змінного струму:

$$\begin{aligned} I_{\text{с.}} &= d_{\text{е.д.}} \cdot \left(\sqrt{450 \cdot d_{\text{е.д.}} \cdot v_{\text{др}} + 5185} - 72 \right) = \\ &= 3 \cdot \left(\sqrt{450 \cdot 3 \cdot 45,44 + 5185} - 72 \right) = 557,8 \text{ А} \approx 560 \text{ А} \end{aligned}$$

Сила струму в межах допустимого

$$[I] = (180..190) \cdot d_{\text{е.д.}} = (180..190) \cdot 3 = 540..570 \text{ А}$$

Визначаємо напругу:

$$U_{\text{с.}} = 22 + 0.02 \cdot I_{\text{с.}} = 22 + 0.02 \cdot 560 = 33,2 \text{ В}$$

Визначаємо виліт дроту:

$$l_{\text{в}} = 10 d_{\text{е.д.}} \pm 2d_{\text{е.д.}} = 30 \pm 6 \text{ мм}$$

Орієнтовно шов охолоджується за 20–60 секунд до температури 100–300°C. При такій температурі безпечно прибирати флюс, тому відстань до флюсозабірника має розраховуватися за формулою:

$$L_{\text{заб}} = (20 \dots 60) \cdot v_{\text{зв}} = (20 \dots 60) \cdot 11 = 220 \dots 660 \text{ мм}$$

Прийmemo $L_{\text{заб}} = 35 \text{ см}$

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.11 Опис технологічного процесу виготовлення виробу

Процес виготовлення резервуару включає етапи підготовки заготовок, механічного оброблення, складання вузлів, контроль і забезпечення дотримання технології виготовлення та відповідність експлуатаційних характеристик, зокрема міцності, надійності та герметичності.

Перед подачею на верстати листовий та профільний прокат направляють на дробеструминну [12] обробку з метою очищення поверхні від окалини, корозії та інших забруднень. Після цього направляємо на листопрямильний верстат [13].

Для формування днища резервуару листовий прокат лист $\frac{8 \times 1500 \times 6000 \text{ ДСТУ 8540:2015}}{P 235GH 1.0345 \text{ ДСТУ EN 10028}}$ [14] доставляється спочатку на гільотину [15] де розрубається на заготівки, а потім на плазморізальний верстат з ЧПК [16] за допомогою краном-балки вантажопідйомністю 5 тонн [17]. Після вирізання, заготовки транспортуються кран-балкою фланцеву машину Bermet Makina BM FM 8 для формування днищ [18] для вальцювання, де формується кромка листа. Сформована деталь транспортується кран-балкою у відведене місце для зберігання.

Паралельно з виготовленням днища виробляємо обичайки. Транспортуємо за допомогою краном-балки зі складу лист $\frac{6 \times 1500 \times 6000 \text{ ДСТУ 8540:2015}}{P 235GH 1.0345 \text{ ДСТУ EN 10028}}$ [14] на гільотину [15] для задання розміру 4400 мм по довжині. Транспортуємо заготівку за допомогою краном-балки [17] на тривалковий листозгинальний верстат [19] на якому формуємо обичайку.

Транспортуємо обичайку на верстат LINEARWELD XLS INEX 2100[20] для виконання повздовжнього зварювання – шва № 2. Виставляємо обичайку на верстаті – для підтримки використовуємо кран колону – так як обичайка має малу товщину і відповідно малу жорсткість. Зачищаємо шов КІШМ [21] та транспортуємо обичайку на роликові обертачі [22]. На обичайки одягаємо

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

ззовні ланцюговий зажим DOUBLE CHAIN CLAMP [23] для запобігання еліпсності в місці стикування обичайок. В зв'язку з цим для виконання зварних робіт потрібно три ланцюгових затискача на резервуар.

На роликових обертачах [22] стикуємо обичайки по черзі – резервуар складається з трьох обичайок. Місця стику спочатку прихвачуємо, а потім виставляємо апарат для зварювання під флюсом на колесах та запускаємо процес зварювання – підчас зварювання обичайки обертаються на стенді, що забезпечує постійне положення апарату та стабільний процес зварювання. Зачищаємо та контролюємо якість шву.

Транспортуємо зі складу днище. За допомогою кран-балки [17] встановлюємо днище в обичайку, виставляємо та прихвачуємо край. Зварюємо трактором з пальником з флюсовим дротом. Проводимо зачистку та візуальний контроль шву.

Паралельно зі складу транспортується профіль $\frac{\square 60 \times 60 \times 3 \text{ ДСТУ 8940:2019}}{P 235GH 1.0345 \text{ ДСТУ EN 10028}}$. На стрічкопильному верстаті [24] виконуємо розрізання заготовок під кутом 60° довжиною 1177 мм. Заготовки з профілю транспортуємо на зварювальний кондуктор. На зварювальному кондукторі виставляємо заготовки та зварюємо каркас. Зварюємо механізованим способом в CO_2 .

Каркаси транспортуються на роликові обертачі та встановлюються в заготовку резервуара. Розташування каркасних елементів має забезпечити жорсткість конструкції та підтримку циліндричності. Каркасні елементи приварюються кутовими швами до обичайки. Так як шви знаходяться в важкодоступних місцях та надто короткі (60 мм) застосування механізованих та автоматизованих методів недоцільно.

Після встановлення розпирних каркасів жорсткість резервуару достатня і можна зняти ланцюгові затискачі [23].

Розмічаємо циркулем місце під люк. За допомогою газового різака вирізаємо отвір. Зачищаємо края, формуємо фаски та контролюємо округлість утвореного отвору.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Транспортуємо зі складу днище. За допомогою кран–балки [17] встановлюємо днище в обичайку, виставляємо та прихватуємо край. Зварюємо трактором з пальником з флюсовим дротом. Проводимо зачистку [21] та візуальний контроль шву. Так як друга операція по встановленню днища відбувається вже в закритому резервуарі – обов’язкова наявність приточно–витяжної вентиляція та інженерний нагляд за дотриманням правил техніки безпеки.

До резервуару підводимо балку з зафіксованим пальником та обертаючи резервуар проводимо зовнішнє зварювання під флюсом стиків обичайок. Зварювальник паралельно збирає зайвий флюс. Після зварювання шви зачищаються та проводимо візуальний контроль.

Транспортуємо люк зі складу. Зачищаємо місце стику на люку та формуємо фаску і притуплення. Встановлюємо резервуар таким чином, щоб отвір знаходився зверху. Не доцільно встановлення в інших положеннях так як потребують більше обладнання та менш зручні для встановлення та фіксації люка.

Встановлюємо люк обертовою колоною на отвір. Контроль встановлення здійснює робітник на підйомнику [25]. За допомогою центратора отворів CWO–3662 центруємо отвір та фіксуємо люк прихватками. Згідно стандарту допускається зазор не більше 1 мм – проводим візуальний контроль зазорів, за необхідності користуємось шупом, та положення люка. Проводимо зварювання шва №5 коловим зварювальним апаратом CW–18 [26]. Зачищаємо шов та проводимо візуальний контроль шва.

Завершальною операцією проводиться контроль зварних швів – візуальний та капілярний. Готовий виріб транспортуємо на ділянку для тестування виробу заповненням води. Після тестування готовий виріб направляємо на склад готової продукції. Маршрут показаний у вигляді блок–схеми рис. 1.3.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

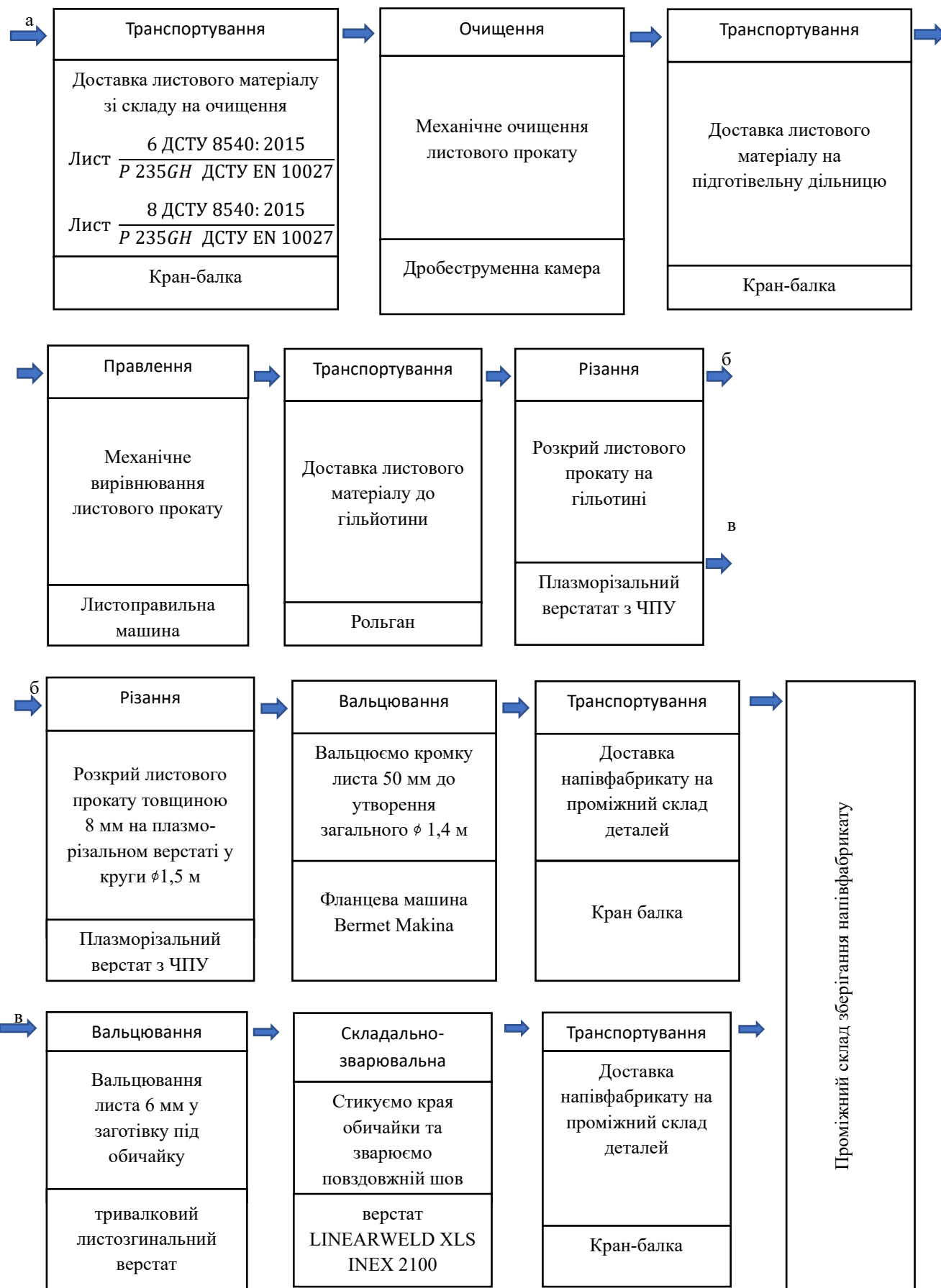


Рисунок 1.3 – Маршрутно–технологічна блок–схема виготовлення резервуару

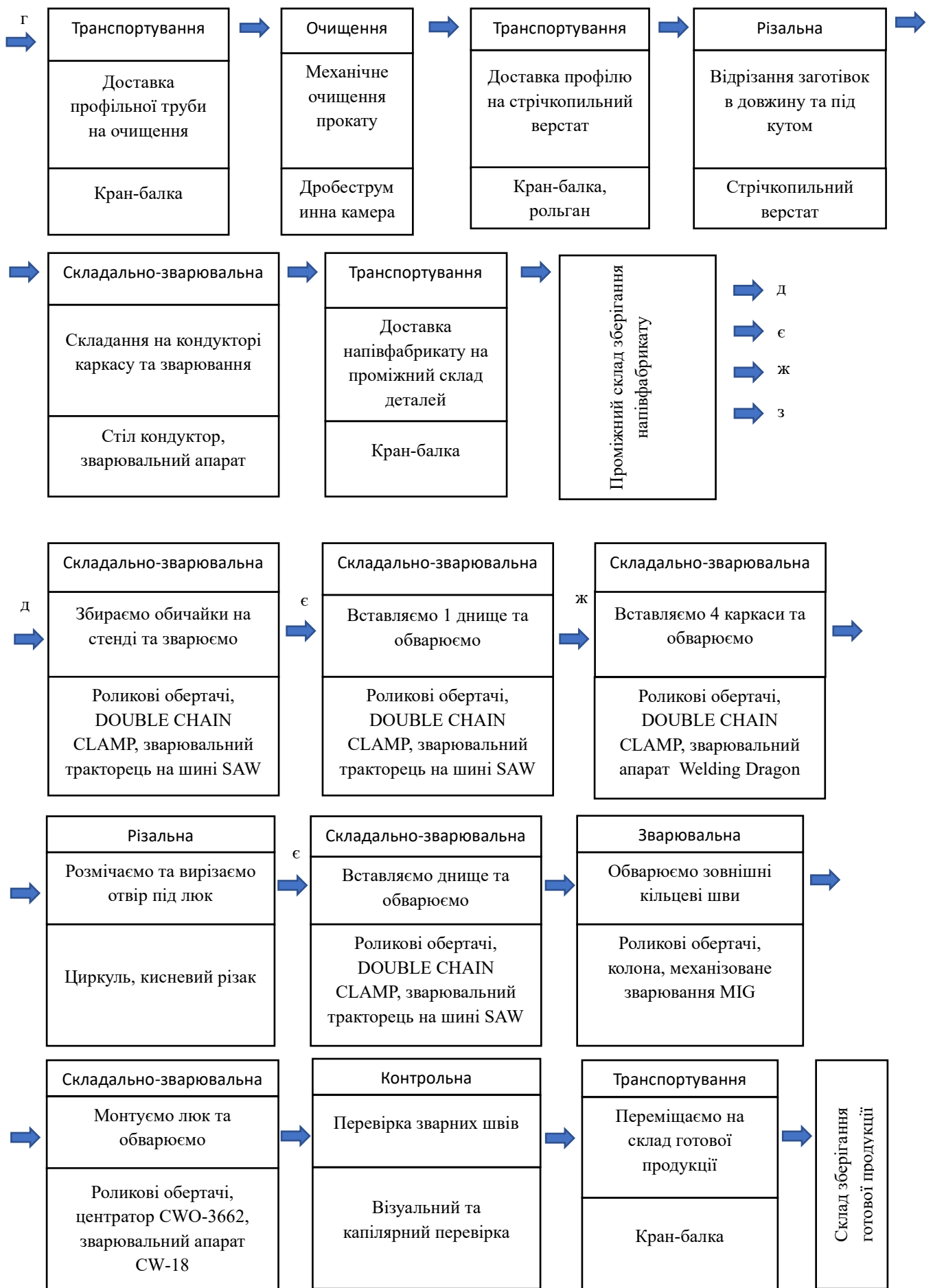


Рисунок 1.3 – Маршрутно–технологічна блок–схема виготовлення резервуару.
Продовження блок-схеми

1.12 Вибір устаткування та засобів технологічного спорядження

Листовий і профільний прокат надходить до виробництва в стані непридатному для використання без підготовки, для цього нами обрано спеціалізовану дробоструминну камеру KASO–7 [12], показано на рис. 1.4, в якій ми можемо очищувати матеріал від іржі, бруду, мастила, тощо. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.8.

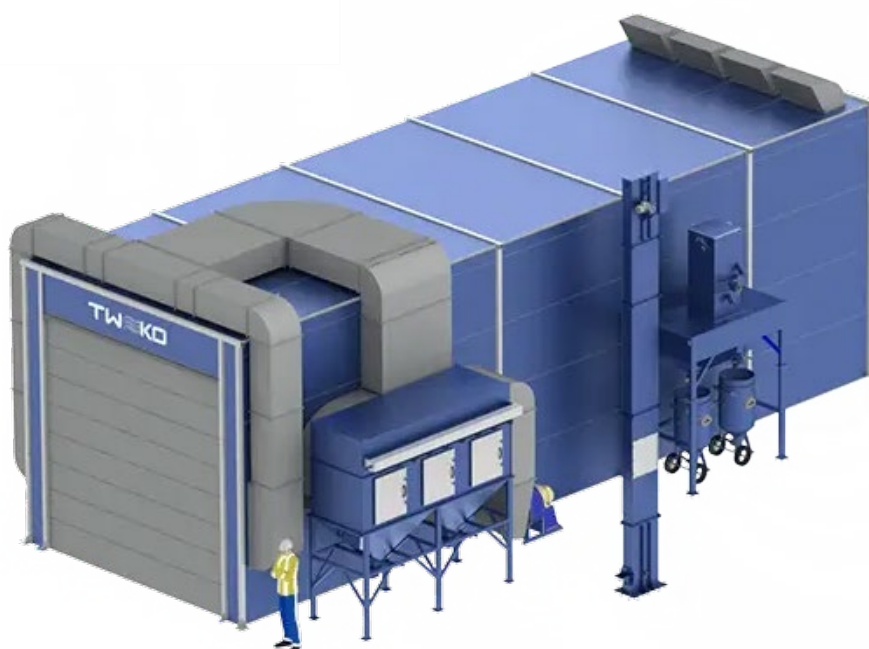


Рисунок 1.4 – Дробоструминна камера KASO–7

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики KASO–7 [12]

Параметр	Значення
Габаритні розміри робочої зони	7 м х 5 м х 3.5 м
Споживання стисненого повітря	650 л/хв
Сумарне споживання електроенергії	23.7 кВт/год

Після дробоструменевої камери листовий прокат направляємо на листоправильну машину Bendmak BPSM 25/35 [13], показано на рис. 1.5, для усунення залишкових деформацій та хвилястості. Обладнання забезпечує точну правку листів шириною до 2500 мм і товщиною до 35 мм, що дозволяє отримати рівну геометрію заготовок перед подальшими операціями. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.9.



Рисунок 1.5 – Листоправильна машина Bendmak BPSM 25/35

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики Bendmak BPSM 25/35

Параметр	Значення
Робоча довжина	2500 мм
Товщина металу	35 мм
Діаметр правильних валків	450 мм
Потужність двигуна	100 кВт

Після правки листовий прокат подається на гідравлічну гільйотину Cormak 12×3200 [15], показано на рис. 1.6, для розкрою заготовок за заданими необхідними розмірами. Обладнання забезпечує точний і якісний різ, готуючи деталі до подальших технологічних операцій. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.10.

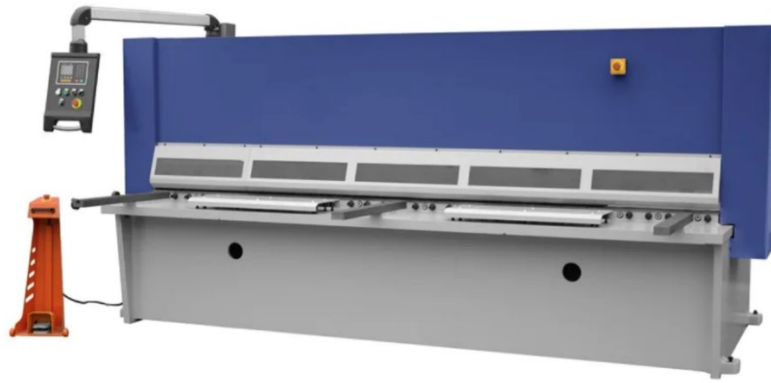


Рисунок 1.6 – Гідравлічна гільйотина Cormak 12×3200

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики гільйотини Cormak 12×3200

Параметр	Значення
Товщина різання	12 мм
Ширина різання	3200 мм
Міцність різаного матеріалу	450 Н/мм ²
Кут різання	2°
Довжина леза	3300 мм
Висота робочого столу	760 мм
Потужність головного двигуна	18.5 кВт

Для вирізання круглих заготовок із листового прокату товщиною 8 мм [14] застосовується плазморізальний верстат з ЧПК СК–1325–Р [16], показано на рис. 1.7. Обладнання забезпечує високу точність різання та дозволяє отримувати заготовки необхідного діаметра з мінімальними відхиленнями для подальшого формування днищ. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.11.



Рисунок 1.7 – Плазморізальний верстат з ЧПК SK-1325-P

Таблиця 1.11 – Технічні характеристики SK-1325-P

Параметр	Значення
Робоча зона	Ширина 1500 мм, довжина 2500
Точність процесу	± 0.35 мм
Газ	Кисень

Для формування днищ обрано фланцеву машина Bernmet Makina BM FM 8 [18], показано на рис. 1.8. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.12.



Рисунок 1.8 – Фланцева машина Bernmet Makina BM FM 8

Таблиця 1.12 – Технічні характеристики Bermet Makina BM FM 8

Параметр	Значення
Діаметр заготовки	від 700 мм до 3000 мм
Фланцевий радіус	від 20 мм до 100 мм
Фланцева загальна висота	550 мм
Максимальна товщина листа	8 мм
Потужність двигуна	11 кВт

Для формування листового прокату товщиною 6 мм в обичайку, використовуємо гідравлічний вальцювальний верстат BENDMAK CY3R–HNS 190–20/8.0 [19] показано на рис. 1.9 , технічні характеристики наведено в таблиці 1.13



Рисунок 1.9 – Гідравлічний вальцювальний верстат BENDMAK CY3R–HNS 190–20/8.0

Таблиця 1.13 – Технічні характеристики BENDMAK CY3R–HHS 190–20/8.0

Параметр	Значення
Робоча довжина	2100 мм
Максимальна товщина сталі	8 мм
Попередній згин	6 мм
Діаметр верхнього валка	160 мм
Діаметр бічних валків	180 мм
Потужність двигуна	3 кВт

Для базування резервуара застосовується система із самоцентрувальних зварювальних обертачів серії HGZ–5 [22] (3 комплекти) показано на рис. 1.10, технічні характеристики наведено у таблиці 1.14, які забезпечують точне встановлення обичайок однакового діаметра, обертання резервуара під час виготовлення, а також характеризуються високою несучою здатністю, універсальністю та можливістю інтеграції зі зварювальним обладнанням. Комплект обертача складається з приводної (лист 3 поз.2) та непривідної (лист 3 поз.3) секції.

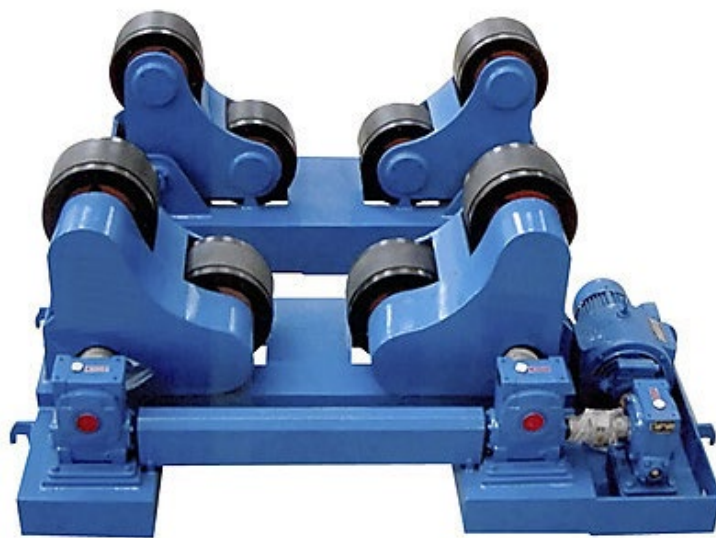


Рисунок 1.10 – 2Самоцентрувальний зварювальний обертач серії HGZ–5

Таблиця 1.14 – Технічні характеристики обертач серії HGZ–5

Параметр	Значення
Потужність двигуна	0.75 кВт
Спосіб управління	Частотно–регульований привід
Вантажопідйомність	5 тонн
Діаметр поліуретанового ролика	250 мм
Ширина поліуретанового ролика	100 мм
мін. діаметр обічайки	250 мм
Макс. діаметр обічайки	2500 мм
Лінійна швидкість ролика	від 6 м/год до 60 м/год

Для розрізання профільної прокату використовуємо стрічкопильний верстат JET HBS–1321VS 414471T [24], показано на рис. 1.11, що дозволяє формувати зріз під необхідним кутом. Технічні характеристики наведено до таблиці 1.15.



Рисунок 1.11 – Стрічкопильний верстат JET HBS–1321VS 414471T

Таблиця 1.15 – Технічні характеристики JET HBS–1321VS 414471T

Параметр	Значення
Кут нахилу пилки (ліворуч/праворуч)	від 0° до 45°
Напруга	380 В
Потужність	4150 Вт
Швидкість руху стрічки	від 20 м/хв до 80 м/хв
Вага	600 кг

Для всіх проміжних шліфувальних процесів використовуємо КШМ AG 230–24D [21], зображено на рис. 1.12 Технічні характеристики наведено в таблиці 1.16.



Рисунок 1.12 – КШМ AG 230–24D

Таблиця 1.16 – Технічні характеристики AG 230–24D КШМ

Параметр	Значення
Діаметр диска	230 мм
Вага	6.5 кг
Макс. глибина різання	68 мм
Вхідна потужність	2400 Вт

Для неосновних та проміжних процесів зварювання, для прихоплень та зварювання профільного каркасу використовуємо зварювальний апарат Welding Dragon MIG-200 S4 PRO [27], показано на рис. 1.13 , технічні характеристики наведено в таблиці 1.17.



Рисунок 1.13 – Зварювальний апарат Welding Dragon MIG-200 S4 PRO

Таблиця 1.17 – Технічні характеристики Welding Dragon MIG-200 S4 PRO

Параметр	Значення
Вид зварювання	MIG/MAG, TIG, MMA
Діапазон робочої напруги	від 10.0 В до 26.5 В
Зварювальний струм MIG/MAG	від 30 А до 200 А
Споживана потужність (повна)	7.1 кВт
Пристрій подачі	Вбудований
Кількість роликів	2
Діаметр зварювального дроту	від 0.6 мм до 1.0 мм

Зварювання люка є складним технологічним процесом. Для механізації зварювального процесу фірмою BUGO SYSTEMS розроблено комплекс обладнання для виконання таких робіт.

Для встановлення люка та його базування використовується трьохлапий центратор CWO–3662 (лист 3 поз.5) [28], показано на рис. 1.14, який призначений для монтажу люків та з'єднання труб діаметром від 255 мм до 610 мм. Центратор оснащений пластинами на лапах для базування по верхній частині люка (лист 3 поз.10), а також має площадку для встановлення автоматичного кругового зварювального апарата CW– 18 [26].

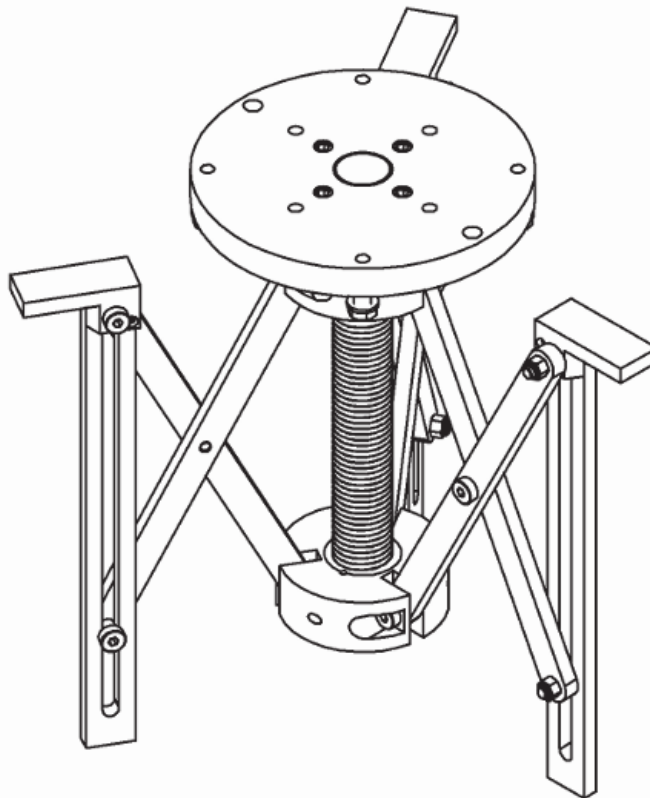


Рисунок 1.14 – Трьохлапий центратор CWO–3662

Згідно з технологічними вимогами, зазор між зварюваними елементами має становити 0^{+1} мм. Відповідно, необхідно контролювати прилягання елементів по лінії контакту – для цього використовується щуп, показано на рис. 1.15.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Рисунок 1.15 – Набір щупів для вимірювання зазорів

Оскільки монтаж та зварювання виконуються на значній висоті (люк розташований на висоті 1,9 м), використовується підйомник JLG Power Towers NANO [25] (лист 3 поз.6), показано на рис. 1.16, технічні характеристики наведено у таблиці 1.18.



Рисунок 1.16 – JLG Power Towers NANO

Таблиця 1.18 – Технічні характеристики JLG Power Towers NANO

Параметр	Значення
Робоча висота	4.5 м
Робоче навантаження	200 кг
Власна вага	285 кг
Максимальна висота платформи	2.5 м
Рекомендована кількість людей	1
Механізм підйому	Електричний

Він забезпечує підйом на висоту до 4,5 м при вантажопідйомності до 200 кг та має робочу площадку розміром 1,0 м × 0,73 м, що є достатнім для одного працівника, який здійснює контроль встановлення люка, центратора, зварювального апарата та зазорів. Підйомник оснащений колесами для транспортування та позиціонування, а також електричним приводом підйому, що відповідає умовам роботи у виробничому цеху.

Sawyer Double Chain Clamp [23] (ланцюговий затискач), показано на рис. 1.17, технічні характеристики наведено у таблиці 1.19 застосовується для вирівнювання та фіксації труб і ємностей під час складання та зварювання, що забезпечує точну геометрію з'єднань. Пристрій ефективний для діаметрів до 6 м і розрахований на роботу з трубами до Schedule 80 (Schedule 80 – це стандарт товщини стінки труб, визначений у системі ASME який немає аналогу в ДСТУ) включно, що визначає його придатність для більшості промислових задач. Конструкція з ланцюговим затиском, посиленими гвинтовими упорами та опорними блоками забезпечує рівномірний розподіл зусилля і стабільне центрування. Використання динамометричного ключа для контролю натягу знижує ризик деформацій і підвищує якість зварного шва. Додатково передбачена сумісність з різними матеріалами (включно з нержавіючою сталлю) та висока корозійна стійкість завдяки захисному покриттю.



Рисунок 1.17 – DOUBLE CHAIN CLAMP

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 1.19 – Технічні характеристики Double chain clamp

Параметр	Значення
Мінімальний діаметр труби	254 мм
Максимальний діаметр труби	5486.4 мм

Головною умовою при виборі обладнання було щоб всі технічні характеристики повністю відповідали і задовольняли нашим задачам. Таким чином підібрано і обґрунтовано все необхідне обладнання яке знадобиться при виготовленні резервуару.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ

2.1 Технічні вимоги щодо оснастки

Оснастка, що застосовується під час виготовлення та складання горизонтального резервуара з вертикально встановленим люком, повинна забезпечувати точне взаємне розташування деталей, необхідну жорсткість конструкції та надійну фіксацію елементів під час виконання зварювальних робіт. Вона має гарантувати високу точність складання, дотримання геометричних розмірів і співвісність елементів відповідно до вимог конструкторської документації.

Під час складання шву №5 корпус резервуара розміщується на роликових обертачах [22], які забезпечують стійке положення виробу, можливість його обертання та зручність виконання зварювальних операцій. Роликоопори повинні витримувати масу конструкції та забезпечувати плавне переміщення резервуара без порушення його положення.

Для вирівнювання та фіксації обичайки під час складання та зварювання, щоб забезпечити точну геометрію з'єднань використовуємо ланцюговий затискач [23] – характеристики якого заявлені виробником зі значним запасом перебивають наші вимоги.

Оснастка повинна також забезпечувати достатню доступність до місць зварювання, що дозволяє виконувати зварювальні операції по всій довжині швів без перешкод, а також створює зручні та безпечні умови роботи для зварника.

Для правильного встановлення вертикального люка використовується трьохлапий центратор [28], який встановлюється всередину люка. Він забезпечує точне центрування та правильне стикування люка з корпусом резервуара, утримуючи деталі у необхідному положенні під час виконання прихваток і подальшого зварювання.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

2.2 Вибір технологічних баз та схема базування заготовок

Під час розроблення технологічного процесу виготовлення горизонтального резервуара з вертикально розташованим люком важливим етапом є обґрунтований вибір технологічних баз, оскільки від цього залежить точність взаємного розташування елементів конструкції та надійність виконання технологічних операцій. Технологічною базою вважають поверхню або вісь заготовки, відносно яких визначається її положення під час обробки чи складання.

Оскільки основною частиною виробу є циліндрична оболонка резервуара, за головну технологічну базу приймають вісь циліндра. Як базові поверхні використовують зовнішню циліндричну поверхню обичайки та її торцеві кромки, що забезпечує правильну орієнтацію заготовки у просторі та точне взаємне розташування конструктивних елементів під час виконання технологічних операцій.

Базування резервуара під час виготовлення здійснюється із застосуванням самоцентрувальних зварювальних обертачів серії HGZ-5 [22]. Такий спосіб встановлення забезпечує надійну підтримку циліндричної заготовки, її автоматичне центрування відносно осі та можливість обертання навколо поздовжньої осі. Під дією сили тяжіння маса резервуара забезпечує стійкий контакт із роликowymi опорами обертачів, що гарантує стабільність положення без застосування додаткових складних затискних пристроїв.

Таким чином, використання самоцентрувальних роликowych обертачів як елементів базування забезпечує необхідну точність встановлення, стійкість положення виробу та зручність виконання технологічних операцій.

Під час встановлення люка базування здійснюється відносно осі отвору в обичайці із застосуванням трьохлапого центратора CWO-3662 [28]. Центратор забезпечує співвісність люка та отвору за рахунок фіксації по внутрішніх поверхнях, а також стабільність положення елементів під час складання та зварювання.

При зварюванні шву №2, тобто поздовжнього шву обичайки, базування відбувається за рахунок двох складових. По–перше саме базування обичайки відбувається на верстаті для поздовжнього зварювання LINEARWELD XLS INEX 2100 [20]. Самі торці обичайки надійно фіксує і вирівнює сам верстат за допомогою пневматичних затискачів зварювального типу. По–друге так як не заварена ще обичайка являє собою не жорстку конструкцію, додатково фіксуємо її зверху підтримуючи за допомогою обертової кран–колони з ланцюгами і підтримуючою планкою. Від так обичайка надійно вирівняна і зафіксована.

2.3 Компонування складально–зварювального пристрою

Для виконання складання та підготовки шву №2. Лист вальцюється за допомогою тривалкового листозгинального верстата [19]. Транспортуємо кран балкою на верстат LINEARWELD XLS INEX 2100 [20] та встановлюємо обичайку, попередньо підготовлену. Виставляємо шов та притискаємо пневматичним клавiшним механізмом. Проводимо візуальний контроль перед автоматичним зварюванням.

Для виконання складання та підготовки шву №5. Розташовуємо резервуар на роликівих обертачах таким чином, щоб отвір для люку знаходився зверху. На отвір за допомогою поворотного консольного крану встановлює люк на місце базування. Потім встановлюємо центратор – яким базуємо та фіксуємо положення люку.

2.4 Опис роботи складально–зварювального пристрою

Складально–зварювальний верстат LINEARWELD XLS INEX [20] призначений для автоматизованого складання, центрування та поздовжнього зварювання обичайок великого діаметра. Після встановлення заготовки апарат автоматично фіксує її у затискних вузлах. Виконується позиціонування шву.

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вздовж шву переміщується зварювальний пальник. Контроль параметрів зварювання виконується автоматично, що забезпечує стабільність шву. Застосування такого обладнання дозволяє підвищити точність складання, зменшити вплив людського фактору, забезпечити повторюваність результатів і підвищити продуктивність зварювальних робіт.

Резервуар встановлюється на самоцентрувальних зварювальних обертачах серії HGZ–5 [22], які складаються з приводної та неприводної секцій. Самоцентрування здійснюється за рахунок взаємного переміщення роликів, розташованих на поворотних кронштейнах. Приводна секція оснащена мотор–редуктором із частотним регулюванням частоти обертання та передавальним механізмом, який забезпечує передачу крутного моменту на ролики.

Люк фіксується у положенні для зварювання за допомогою трьохлапого центратора CWO–3662 [28]. Конструкція центратора включає гвинтовий механізм із двонаправленою самогальмівною різьбою, на якій розташовані гайки, жорстко з'єднані з розсувними елементами. При обертанні гвинта відбувається одночасне симетричне переміщення лап, що забезпечує їх радіальне розтискання та встановлення люка з забезпеченням співвісності відносно отвору в обичайці.

Під час встановлення люка працівник, перебуваючи на підйомнику [25], виконує позиціонування центратора та обертання гвинта для розтискання лап. Після цього здійснюється контроль зазору між елементами по всьому периметру з використанням щупа, зображений на рис.15 та виконується прихоплення люка у восьми рівномірно розташованих точках.

На завершальному етапі виконується встановлення автоматичного кругового зварювального апарата CW–18 [26] на площадку центратора, його фіксація та підключення до системи живлення і керування.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3 КОМПОНУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

3.1 Обґрунтування вибору основного технологічного устаткування

Для утворення обичайок виконується повздовжній шов. Для забезпечення міцності, стабільної повторюваності та жорсткої фіксації при зварюванні було обрано складально–зварювальний верстат LINEARWELD XLS INEX 2100 [20], показано на рис. 3.1, технічні характеристики наведено у таблицю 3.1. Перевагою верстату є надійна фіксація зварного шву під час зварювання та можливість виконання збірки безпосередньо на верстаті. Верстат оснащений регульованими затискачами та упорами, що дозволяє вирішити проблеми стикування – зміщення та перекосу кромок (депланації).

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики LINEARWELD XLS INEX 2100

Параметр	Значення
Максимальна довжина зварювання	2100 мм
Діапазон діаметрів	від 225 мм до 1605 мм
Товщина листа	від 0,5 мм 15 мм
Матеріали	нержавіюча сталь, сталь, оцинкована сталь, AL, CU, латунь, титан
Захисний газ	інертний газ
Процес зварювання	Аргонодугове (TIG), (MIG/MAG), плазмовий



Рисунок 3.1 – Зварювальний комплекс для повздовжніх швів Schnelldorfer
LINEARWELD XLS INEX 2100

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики LINEARWELD
XLS INEX 2100

Розрахункові параметри режиму	Діапазон, що забезпечується верстатом
Глибина проплавлення	
h_p	6 мм
Швидкість зварювання	
$V_{зв}$	34,4 см/хв
	від 0,5 мм 15 мм
	від 10 см/хв до 770 см/хв

Виконавши порівняння розрахованих режимів зварювання та технічних характеристик верстата – можна зробити висновок, що він повністю нас задовольняє. Для забезпечення інших параметрів виробник постачає окремі елементи, які можна підібрати, щоб задовільнити необхідні струм, напругу та витрати захисного газу.

При замовленні обладнання використовується вибір необхідної комплектації. Для забезпечення необхідних режимів зварювання та

можливості виконання зварювання обичайок діаметром до 1605 мм потрібно обрати комплектацію згідно каталогу. Щоб забезпечити режим зварювання GMAW (MIG/MAG) комплектуємо верстат:

- джерело живлення: Fronius TPS 500i – забезпечує діапазон струму до 500 А та 39 В, що задовільняє розраховані параметри режиму;
- система охолодження: HYFRA eChilly 2 CE – система водяного охолодження призначена для відведення тепла при роботах на високому струмі до 500 А;
- система подачі газу: Bürkert Mass Flow Control – масовий витратомір, який забезпечить автоматичне регулювання та підтримку витрат захисного газу;
- електричний візок: Insertion Trolley electric – візок подачі заготовок, який дозволяє підвищити точність позиціонування та зменшити навантаження на оператора;
- система видалення зварювального диму: ТЕКА Handycart – система витяжної вентиляції;
- система керування: Fronius RCUi – панель дистанційного керування для налаштування параметрів режиму зварювання.

В такій комплектації виробник може поставляти обладнання на замовлення.

Для зварювання люку з резервуаром необхідно утворити кільцевий шов №5 зі складною траєкторією шву. Забезпечити таку траєкторію шву можливо лише ручним способом, роботом або використанням зварювального апарата CW-18 з круговим зварюванням [26], зображено на рис. 3.2.

Для механізації процесу було обрано зварювальний апарат CW-18 з круговим зварюванням – який дозволяє поєднати коловий рух з переміщенням по вертикалі і виконати зварювання під флюсом, надійний, повторюваний та недорогий спосіб.

Основними характеристиками апарату є:

- можливості процесу SAW;

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- діаметр зварювання 10–50 дюймів (254–1270 мм);
- розмір суцільного дроту 3/32–5/32 дюйма (2,4–4,0 мм);
- швидкість обертання 0,2–2,2 об/хв;
- підйомно–опускаючий кулачок 0–7 дюймів (0–175 мм);
- 1200 ампер, 100% робочий цикл;
- контроль зворотного горіння, горизонтальне та вертикальне регулювання пістолета та троса.

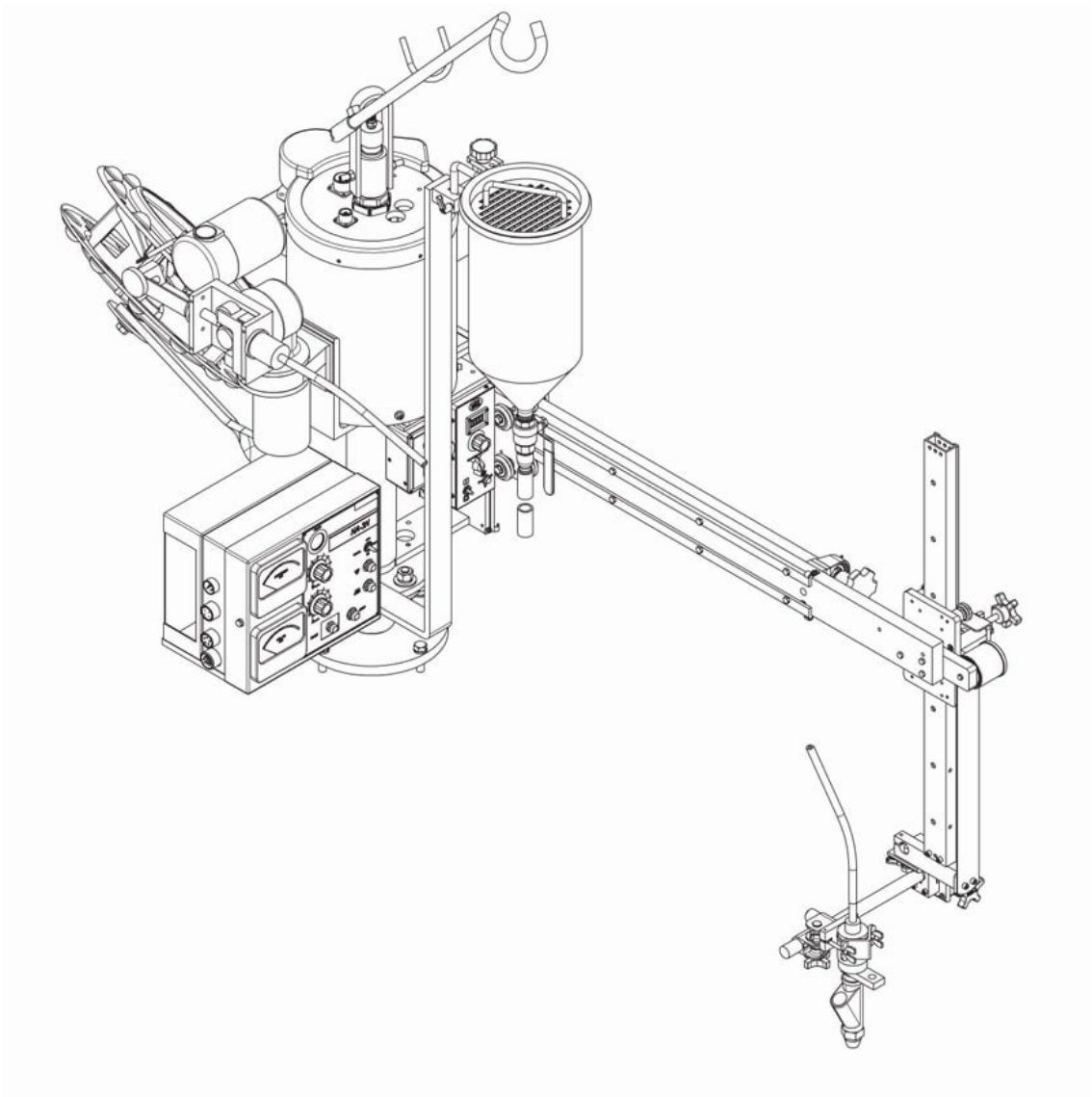


Рисунок 3.2 – Зварювальний апарат CW–18 з круговим зварюванням

Також виробник комплектує зварювальний апарат необхідним центратором для монтажу люків, труб тощо.

3.2 Розрахунок роликів зварювальних обертачів

Проводимо перевірочний розрахунок обраного обертача згідно методичних вказівок [29]. За характеристиками обертача маршова швидкість обертання регулюється у межах:

$$n = 0.035 \dots 0.35 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$

Для розрахунку приймемо максимально допустиму швидкість для виробу обертачів

$$n = 0.16 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$

Метою розрахунку є перевірка діаметра роликів, діаметр приводного валу та потужність електродвигуна. Спрощена схема наведена на рис. 3.3.

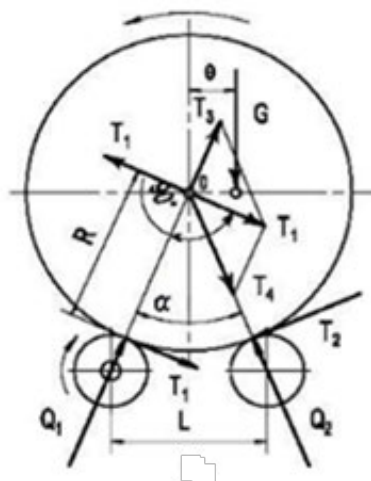


Рисунок 3.3 – Спрощена розрахункова схема роликового кантувача

$$D = 1.4 \text{ м}; \delta = 0.006 \text{ м}; \delta_{\text{ст}} = 0.008 \text{ м}; L_{\text{к}} = 4,5 \text{ м}; \rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Визначим параметри виробу та геометричні характеристики кантувача:

$$m = \left(\pi \cdot D \cdot \delta \cdot L_k + \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \delta_{\text{ст}} \right) \cdot \rho$$

$$m = (\pi \cdot 1.4 \cdot 0.006 \cdot 4.5 + \pi \cdot \frac{1.4^2}{4} \cdot 0.008) \cdot 7.8 \cdot 10^3 = 1.022 \cdot 10^3$$

Маса виробу: $m = 1.022 \cdot 10^3$ кг, відповідно вага:

$$G = 9.8 \cdot m = 9.8 \cdot 1.022 \cdot 10^3 = 1.002 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Прийmemo:

$$R = \frac{D}{2} = \frac{1.4}{2} = 0.7 \text{ м,}$$

$$e = 0.04 \text{ м}$$

$$\varepsilon = \frac{e}{R} = \frac{0.04}{0.7} = 0.057$$

де e – ексцентриситет який з'являється через наявність люку на резервуарі.

З розрахунків вага видаленої частини резервуара 13,65 кг, а люк має 9,63 кг. Данні моделювання наведено на рис. 3.4.

Різниця складає приблизно 4 кг. Додатковий вплив від встановлення обладнання буде нівелюватися тим, що частину маси буде приймати на себе кран–балка. Тому умовно приймаємо $e = 0.04$ м

Згідно стандартної методики розрахунку доцільно задати кут розпору $\alpha = 64^\circ$,

Оскільки кут α менше 90 градусів схема розрахунку відповідає рис. 3.3.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

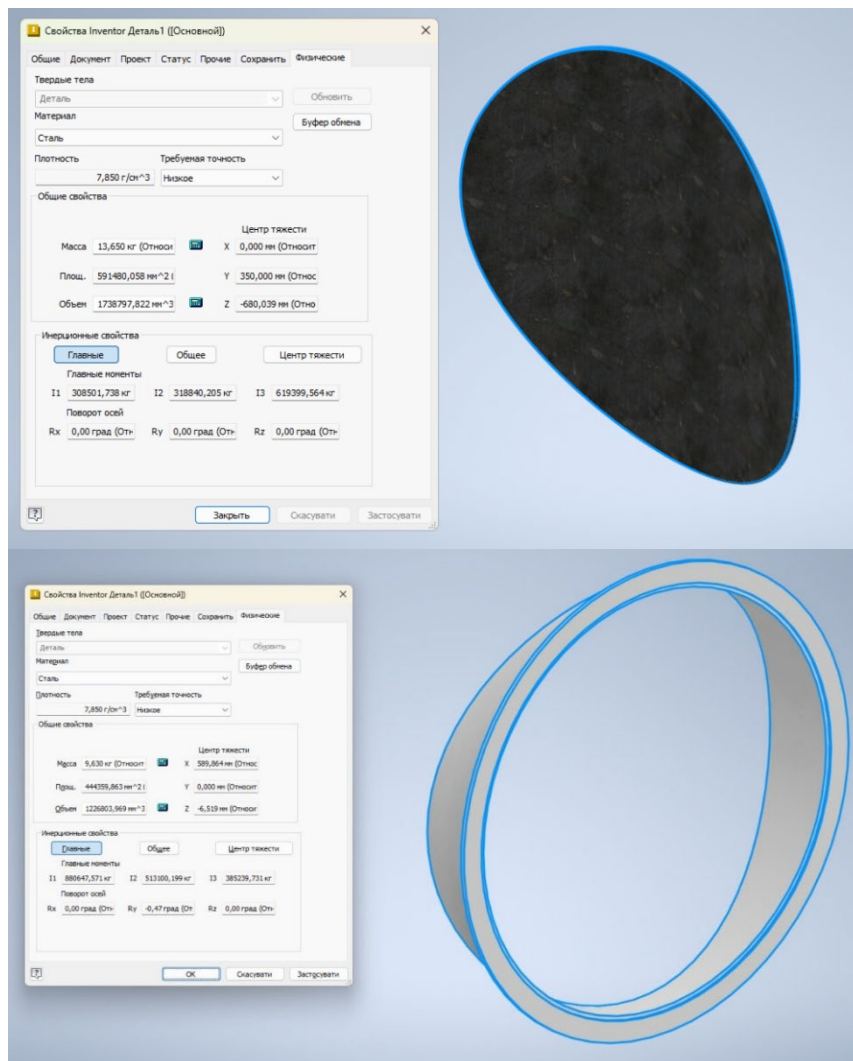


Рисунок 3.4 – Модель частини резервуара та люка з характеристиками

В статичному стані реакції в опорах:

$$Q = \frac{G}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{1,002 \cdot 10^4}{2 \cdot \cos\left(\frac{64}{2}\right)} = 5,907 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Повні реакції ведучої Q1 та холостої Q2 роликоопор:

$$Q1 = \left(\frac{G}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{T1}{\tan(\alpha)} + \frac{T2}{\tan(\alpha)} \right)$$

$$Q2 = \left(\frac{G}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{T1}{\sin(\alpha)} - \frac{T2}{\sin(\alpha)} \right)$$

Колові зусилля ведучої T1 і холостої T2 роlikоопор.

$$T1 = (G \cdot \varepsilon + T2)$$
$$T2 = Q2 \cdot \frac{f \cdot d_B + 2 \cdot \mu}{D_p}$$

де f – коеф. тертя для підшипників кочення $f = 0.015$ для підшипників ковзання $f = 0.1$

Прийmemo: $f = 0.015$

μ – коеф. тертя кочення для роликів з гумовим покриттям

$\mu = 2.5 \dots 3.5$ мм. Приймемо: $\mu = 3$.

d_B – діаметр вала в опорі, м,

D_p – діаметр ролика, м.

В першому наближенні нехтуємо силою T2 і проводимо розрахунок при T21=0

$$T11 = (G \cdot \varepsilon + T2) = (1,002 \cdot 10^4 \cdot 0.057 + 0) = 0.573 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Повні реакції ведучої Q1 та холостої Q2 роlikоопор:

$$Q11 = \left(\frac{G}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{T11}{\tan(\alpha)} + \frac{T21}{\tan(\alpha)} \right) =$$
$$= \left(\frac{1,002 \cdot 10^4}{2 \cdot \cos\left(\frac{64}{2}\right)} + \frac{0.572 \cdot 10^3}{\tan(64)} + \frac{0}{\tan(64)} \right) = 6,186 \cdot 10^3 \text{ Н}$$
$$Q21 = \frac{G}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{T11}{\sin(\alpha)} - \frac{T21}{\sin(\alpha)} =$$
$$= \frac{1,002 \cdot 10^4}{2 \cdot \cos\left(\frac{64}{2}\right)} - \frac{0.572 \cdot 10^3}{\sin(64)} - \frac{0}{\sin(64)} = 5.27 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Максимальне навантаження на одну приводну Р1 та холосту Р2 роlikоопору:

$$P1 = \frac{\sqrt{Q1^2 + T1^2}}{i_p} \cdot k_p$$

$$P2 = \frac{\sqrt{Q2^2 + T2^2}}{i_p} \cdot k_p$$

де i_p – кількість роlikоопор в ряду. Прийmemo $i_p = 6$

k_p – коеф. нерівномірності розподілення навантаження при $i_p > 2$,

$k_p = 1.2 \dots 1.3$

Приймаємо: $k_p = 1.25$

$$P11 = \frac{\sqrt{(Q11)^2 + (T11)^2}}{i_p} \cdot k_p = \frac{\sqrt{(6.186 \cdot 10^3)^2 + (0.572 \cdot 10^3)^2}}{6} \cdot 1.25$$
$$= 1.294 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$P21 = \frac{\sqrt{(Q21)^2 + (T21)^2}}{i_p} \cdot k_p = \frac{\sqrt{(5.27 \cdot 10^3)^2 + (0)^2}}{6} \cdot 1.25 = 1.098 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Вантажопідйомність роликів обертача серії HGZ–5 5 тонн на дві секції, тобто 2.5 тонни на одну опору, що відповідає 25 кН – відповідно вантажопідйомність забезпечена. Згідно креслення діаметри роликів

$$D_p = 300 \text{ мм}$$

Схема редуктора приводу ролика наведена на рис. 3.5.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

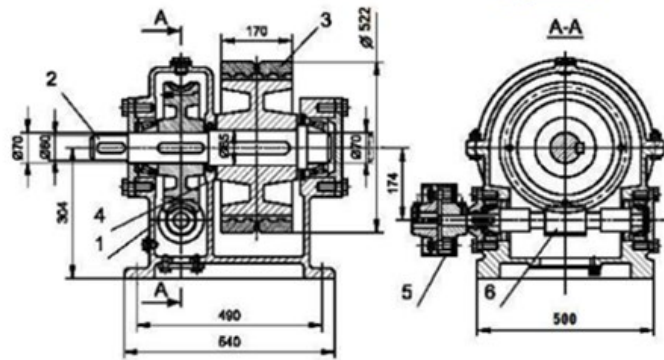


Рисунок 3.5 – Схема редуктора приводу ролика

Для стандартних роlikоопор визначаємо всі потрібні геометричні параметри згідно з рис.3.6.

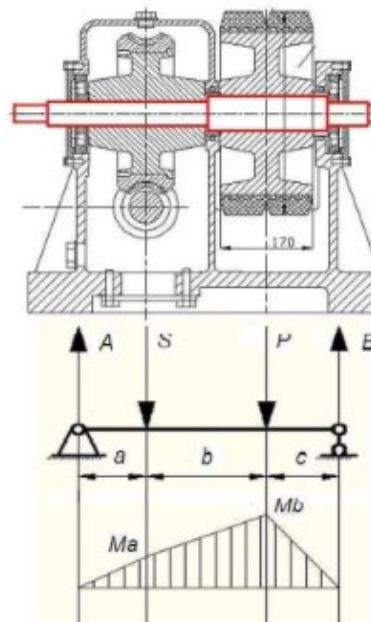


Рисунок 3.6 – Епюра моментів згину привідного валу ролика

- діаметр черв'ячного колеса $D_{\text{ч}} = 200$ мм
- відстань від лівого підшипника до середини черв'ячного колеса $a = 60$ мм
- відстань від середини черв'ячного колеса до середини ролика $b = 115$ мм
- відстань від середини ролика до правого підшипника $c = 95$ мм

Максимальне колове зусилля на черв'ячному колесі:

$$S1 = T11 \cdot \frac{D_p}{D_q} = 0.572 \cdot 10^3 \cdot \frac{300}{200} = 0.859 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Для визначення максимального згинального моменту на валу ролика, зобразимо розрахункову схему і визначимо реакції в підшипниках:

$$\begin{aligned} A1 &= \frac{(P11 \cdot c) + (S1 \cdot (b + c))}{a + b + c} = \\ &= \frac{(1.294 \cdot 10^3 \cdot 95) + (0.859 \cdot 10^3 \cdot (115 + 95))}{95 + 115 + 60} = 1.123 \cdot 10^3 \text{ Н} \\ B1 &= \frac{P11 \cdot (a + b) + (S1 \cdot a)}{a + b + c} = \\ &= \frac{1.294 \cdot 10^3 \cdot (60 + 115) + (0.859 \cdot 10^3 \cdot 60)}{60 + 115 + 95} = 1.03 \cdot 10^3 \text{ Н} \end{aligned}$$

Моменти в потрібних перерізах:

$$M_{a1} = A1 \cdot a \cdot 10^{-3} = 1.123 \cdot 10^3 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 67.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{b1} = B1 \cdot c \cdot 10^{-3} = 1.03 \cdot 10^3 \cdot 95 \cdot 10^{-3} = 97.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отже, небезпечним є переріз під роликом.

Розрахуємо у першому наближенні величину крутного моменту на валу, прийнявши його діаметр рівним 0

$$d_{b0} = 0 \text{ мм}$$

$$\begin{aligned} M_{кр1} &= T11 \cdot \frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + \left(f \cdot \frac{d_{b0} \cdot 10^{-3}}{2} + \mu \cdot 10^{-3} \right) \cdot \left(\sqrt{(Q11)^2 + (T11)^2} \right) = \\ &= 0.573 \cdot 10^3 \cdot \frac{300 \cdot 10^{-3}}{2} + \left(0.015 \cdot \frac{0 \cdot 10^{-3}}{2} + 3 \cdot 10^{-3} \right) \times \end{aligned}$$

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\times \left(\sqrt{(6.186 \cdot 10^3)^2 + (0.573 \cdot 10^3)^2} \right) = 104.5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальний згинальний момент визначаємо з епюри моменту на валу:

$$M_{зг1} = M_{б1} = 97.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{екв1} = \sqrt{(M_{кр1})^2 + (M_{зг1})^2} = \sqrt{104.5^2 + 97.8^2} = 143.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Діаметри підшипників приймемо однаковими та визначимо за формулою:

$$d_{в1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{екв1}}{\pi \cdot \sigma_d \cdot 10^6}}$$

де σ_d допустимі напруження на згин $\sigma_d = 100 \text{ МПа}$.

$$d_{в1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{екв1}}{\pi \cdot \sigma_d \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 143.2}{\pi \cdot 100 \cdot 10^6}} = 0.0244 \text{ м}$$

Приймемо діаметр шпинделя рівним :

$$d_{в1} = 25 \text{ мм}$$

Виконаємо розрахунок у другому наближенні:

Для зручності розрахунку, введемо параметр:

$$B = \frac{D_p}{f \cdot d_{в1} + 2 \cdot \mu} = \frac{300}{0.015 \cdot 25 + 2 \cdot 3} = 47.06$$

Формули будуть мати вигляд:

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{12} = G \cdot \left(\varepsilon + \frac{\varepsilon + \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{B \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha) - 1} \right) =$$

$$= 1.002 \cdot 10^4 \cdot \left(0.057 + \frac{0.057 + \sin\left(\frac{64}{2}\right)}{47.06 \cdot \sin(64) + \cos(64) - 1} \right) = 0.713 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$T_{22} = G \cdot \left(\frac{\varepsilon + \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{B \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha) - 1} \right) =$$

$$= 1.002 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{0.057 + \sin\left(\frac{64}{2}\right)}{47.06 \cdot \sin(64) + \cos(64) - 1} \right) = 140.93 \text{ Н}$$

Повні реакції ведучої Q1 та холостої Q2 роlikоопор:

$$Q_{12} = \left(\frac{G}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{T_{12}}{\tan(\alpha)} + \frac{T_{22}}{\tan(\alpha)} \right) =$$

$$= \left(\frac{1.002 \cdot 10^4}{2 \cdot \cos\left(\frac{64}{2}\right)} + \frac{0.713 \cdot 10^3}{\tan(64)} + \frac{140.93}{\tan(64)} \right) = 6.324 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$Q_{22} = \left(\frac{G}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{T_{12}}{\sin(\alpha)} \right) - \frac{T_{22}}{\sin(\alpha)} =$$

$$= \frac{1.002 \cdot 10^4}{2 \cdot \cos\left(\frac{64}{2}\right)} - \frac{0.713 \cdot 10^3}{\sin(64)} - \frac{0.141 \cdot 10^3}{\sin(64)} = 4.956 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Максимальне навантаження на приводну P1 і холості P2 роlikоопори:

$$P_{12} = \frac{\sqrt{(Q_{12})^2 + (T_{12})^2}}{i_p} \cdot k_p =$$

$$= \frac{\sqrt{(6.324 \cdot 10^3)^2 + (0.713 \cdot 10^3)^2}}{8} \cdot 1.25 = 1.326 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$P_{22} = \frac{\sqrt{(Q_{22})^2 + (T_{22})^2}}{i_p} \cdot k_p =$$

$$= \frac{\sqrt{(4.956 \cdot 10^3)^2 + (0.141 \cdot 10^3)^2}}{8} \cdot 1.25 = 1.033 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Максимальне колове зусилля на черв'ячному колесі:

$$S_2 = T_{12} \cdot \frac{D_p}{D_q} = 0.713 \cdot 10^3 \cdot \frac{300}{200} = 1.07 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Максимальний момент знаходимо згідно рис.3.6.

$$A_2 = \frac{(P_{12} \cdot c) + (S_2 \cdot (b + c))}{a + b + c} =$$

$$= \frac{(1.326 \cdot 10^3 \cdot 95) + (1.07 \cdot 10^3 \cdot (115 + 95))}{95 + 115 + 60} = 1.3 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$B_2 = \frac{(P_{12} \cdot (a + b)) + (S_2 \cdot a)}{a + b + c} =$$

$$= \frac{1.326 \cdot 10^3 \cdot (60 + 115) + (1.07 \cdot 10^3 \cdot 60)}{60 + 115 + 95} = 1.1 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$M_{a2} = A_2 \cdot a \cdot 10^{-3} = 1.3 \cdot 10^3 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 77.93 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{b2} = B_2 \cdot c \cdot 10^{-3} = 1.1 \cdot 10^3 \cdot 95 \cdot 10^{-3} = 104.23 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на валу:

$$M_{кр2} = T_{12} \cdot \frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + \left(f \cdot \frac{d_{B1} \cdot 10^{-3}}{2} + \mu \cdot 10^{-3} \right) \cdot \left(\sqrt{(Q_{12})^2 + (T_{12})^2} \right) =$$

$$= 0.713 \cdot 10^3 \cdot \frac{300 \cdot 10^{-3}}{2} + \left(0.015 \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{2} + 3 \cdot 10^{-3} \right) \cdot \left(\sqrt{(6.324 \cdot 10^3)^2 + (0.713 \cdot 10^3)^2} \right) = 127.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний момент на валу:

$$M_{\text{екв2}} = \sqrt{(M_{\text{кр2}})^2 + (M_{\text{зг2}})^2}$$

Максимальний згинальний момент:

$$M_{\text{зг2}} = M_{\text{в2}}$$

$$M_{\text{екв2}} = \sqrt{(M_{\text{кр2}})^2 + (M_{\text{зг2}})^2} = \sqrt{104.23^2 + 127.3^2} = 164.5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Діаметри підшипників у другому наближенні:

$$d_{\text{в2}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{екв2}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 164.5}{\pi \cdot 100 \cdot 10^6}} = 0.0256 \text{ м}$$

Зміни діаметру не перевищують 10%. Розрахунки припиняємо.

З ряду нормальних лінійних розмірів (1 ряд R_a , мм) обираємо найближчий, згідно методики [29].

1 ряд R_a , мм	10;10,5;11;11,5;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;24;25;26;28;30;32;34;36;38;40;42;45;48;50;53;56;60;63;67;71;75;80;85;90;95;100;105;110;120;125;130;140;150;160;170;180;190;200
------------------------	---

$$d_{\text{в}} = 26 \text{ мм}$$

Додатково проводимо розрахунок для перевірки діаметра валу холостої опори.

Схему навантаження холостої опори зображено на рис. 3.7.

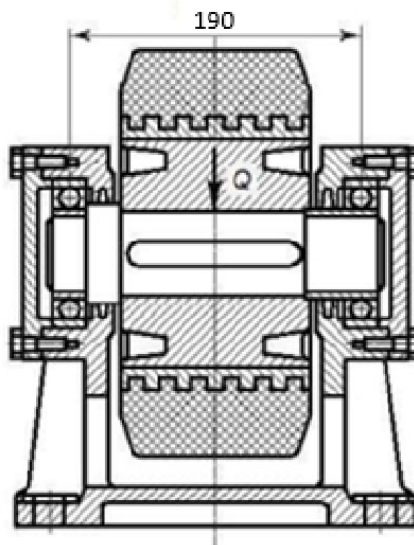


Рисунок 3.7 – Схема ролика непривідної секції роликової опори

$$d_x = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{зг_x}}{\pi \cdot \sigma_d \cdot 10^6}}$$

В цьому виразі:

$$M_{зг_x} = L_x \cdot \frac{P_2}{4}$$

$L_x = 190$ мм, відстань між опорами валу

Таким чином:

$$M_{зг_x} = L_x \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P_{22}}{4} = 190 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1.03 \cdot 10^3}{4} = 49.07 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_x = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{зг_x}}{\pi \cdot \sigma_d \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 49.07}{\pi \cdot 100 \cdot 10^6}} = 0.0171 \text{ м}$$

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Потрібний, з умов міцності, діаметр валу холостої опори менший, ніж для приводної.

Тому для подальших розрахунків приймаємо діаметр валу:

$$d_b = 26 \text{ мм}$$

Для гарантії нормальної роботи роликового обертача (виключення пробуксовування виробу при роботі) потрібно перевіряти запас зчеплення між поверхнями ролика та виробу. Коеф. зчеплення приймається для роликів з гумовим покриттям: $\varphi = 0.3 \dots 0.4$. Прийmemo: $\varphi = 0.35$

$$K_{зч} = \frac{Q_{12}}{T_{12}} \cdot \varphi = \frac{6.324 \cdot 10^3}{0.713 \cdot 10^3} \cdot 0.35 = 3.1 \geq 3$$

Зачеплення забезпечено.

Визначимо відстань між роликами рис.3.3:

$$L = 2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left(\frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + R\right) = 2 \cdot \sin\left(\frac{64}{2}\right) \cdot \left(\frac{300 \cdot 10^{-3}}{2} + 0.7\right) = 0.901 \text{ м}$$

Потужність приводного двигуна визначаємо, виходячи з величини максимального крутного моменту:

$$N_{дв} = \frac{M_{кр} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{\eta_{пр}}$$

$$\eta_{пр} = 0.4$$

Найбільший крутний момент, який треба подолати приводному механізму дорівнюватиме сумі вантажного моменту і моментів сил тертя у підшипниках шпинделя приводних та холостих роликпопор:

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
M_{кр} &= T_{12} \cdot \frac{D_p \cdot 10^{-3}}{2} + \left(f \cdot \frac{d_B}{2} + \mu \right) \cdot 10^{-3} \\
&\quad \cdot \left(\sqrt{(Q_{12})^2 + (T_{12})^2} + \sqrt{(Q_{22})^2 + (T_{22})^2} \right) = \\
&= 0.713 \cdot 10^3 \cdot \frac{300 \cdot 10^{-3}}{2} + \left(0.015 \cdot \frac{26}{2} + 3 \right) \cdot 10^{-3} \times \\
&\times \left(\sqrt{(6.324 \cdot 10^3)^2 + (0.713 \cdot 10^3)^2} + \sqrt{(4.956 \cdot 10^3)^2 + (0.141 \cdot 10^3)^2} \right) = \\
&= 143.2 \text{ Н} \cdot \text{м} \\
N_{дв} &= \frac{143.2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0.16}{0.4} = 360 \text{ Вт}
\end{aligned}$$

Двигун роликового обертача серії HGZ–5 має потужність 750 Вт, що цілком задовольняє наші розрахунки.

3.3 Опис роботи зварювальної установки

Виконання шва №2

Зварювання повздовжнього шву обичайки зі сталі P235GH виконується на установці LINEARWELD XL INEX 2100 [20] із застосуванням режиму MIG. Обичайка встановлюється у затискну пневматичну систему клавішного типу, яка забезпечує точне базування та усунення дипланації кромки, що гарантує стабільний зазор по всій довжині шва в межах допуску. Зварювання проводиться плавким електродом у середовищі захисного газу (Ar + CO₂) з використанням дроту діаметром 2 мм. Зварювальна головка переміщується вздовж стику з постійною швидкістю, формуючи рівномірний шов. Так як установка та підібране навісне спорядження дозволяє виконувати зварювання за один прохід товщиною металу до 15 мм, а наш матеріал товщиною 6 мм, виконуємо зварювання за один прохід. За формування зовнішнього валика відповідає валок по середині якого знаходиться мідна підкладка до якого клавіши притискають торці

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Виконання шва №5

Перед початком роботи перевіряється та, за потреби, регулюється механізм переміщення зварювальної головки. Контролюється стан напрямних і ходових роликів, усуваються люфти та перекоси. Ролики налаштовуються так, щоб забезпечити стабільний рух головки по коловій траєкторії.

Після встановлення зварювальної установки на опорну плиту та її закріплення на позиціонуючому пристрої – центраторі CWO-3662 [28] – виконується підготовка обладнання до роботи.

Далі проводиться налаштування кулачкового механізму підйому та опускання пальника. Установку орієнтують так, щоб напрямна рейка була паралельна поверхні резервуара, після чого тримач пальника встановлюють перпендикулярно до напрямної. Електрод позиціонується у верхній точці стику люка, кулачок встановлюється у вертикальне положення та фіксується.

Після налаштування виконується пробний запуск на холостому ході для перевірки роботи механізму.

Окремо узгоджують роботу зварювального обертача [22] та самої установки так, щоб флюс не висипався із зони зварювання. Для цього підбирають таке положення, при якому кут нахилу не перевищує приблизно $\pm 20^\circ$. При цьому установка може трохи зміщуватися відносно осі, тому її додатково фіксують до кран-балки, щоб зберегти стабільне положення під час роботи.

Налаштовується синхронізація руху зварювального обертача та установки для утримання флюсу в зоні зварювання. Кут відхилення не перевищує $\pm 20^\circ$, при цьому установка додатково фіксується до кран-балки.

Після механічного налаштування виконується підготовка зварювальної системи: підключається кабель маси, встановлюється зварювальний дріт і засипається флюс, перевіряється система його збору.

Далі задаються режими зварювання: швидкість подачі дроту, напруга дуги та швидкість обертання установки. Параметри узгоджуються між собою відповідно до розрахунків, наведених у розділі 1.10.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після цього зварювальну головку встановлюють у початкове положення, пальник розміщують у стику, а зону зварювання покривають флюсом.

Запуск здійснюється переведенням установки в автоматичний режим після задання напрямку та швидкості обертання. Одночасно вмикається подача дроту, подається напруга і починається обертання навколо люка.

У процесі зварювання установка здійснює безперервний круговий рух, формуючи шов по всьому периметру люка. Кулачковий механізм забезпечує необхідне положення пальника, а зварювання під флюсом гарантує стабільність процесу. Роликова опора синхронно обертає резервуар разом із установкою.

Після завершення зварювання установка вимикається, зупиняється подача дроту та обертання. Шов очищається від шлаку і проводиться візуальний контроль.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПЛАНУ ДІЛЯНКИ ЦЕХУ

4.1 Визначення типу виробництва за номенклатурою продукції

В залежності від числа виробів, маси та повторюваності визначається тип виробництва. В залежності від типу виробництва визначається організація виробничих ділянок та підрозділів. Згідно завдання розробляємо виробництво 50 резервуарів масою 1022 кг. Орієнтуючись на таблицю 1 стор.9 згідно методики [30] очевидно, що наше виробництво відноситься до дрібносерійного виробництва. Частина таблиці наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Залежність типу виробництва від випуску продукції і її маси

Маса одного комплекту зварних вузлів, кг	Річний випуск по виробництвам							
	одиничне, дрібносерійне		Серійне		крупносерійне		масове (понад)	
	Тис. т	Тис. шт	Тис. т	Тис. шт	Тис. т	Тис. шт	Тис. т	Тис. шт
від 1000 до 5000	1	від 0,2 до 1,0	від 1,0 до 17,5	від 0,2 до 17,5	від 17,5 до 125	від 3.5 до 125	125	25

Для дрібно серійного виробництва характерно нестійка номенклатура виробів, що випускається, використання універсального устаткування та використання універсальних методів для транспортування чи налагодження верстатів. Для таких виробництв характерно технологічний принцип формування цеху – з переважним об'єднанням операцій. Для виготовлення 50 резервуарів має бути сформований складально-зварювальний цех на території якого будуть виконуватися усі процеси.

У даному типі виробництва значна увага приділяється гнучкості виробничого процесу, оскільки можливе періодичне коригування технології виготовлення та зміна окремих конструктивних елементів виробу. При цьому обладнання повинно забезпечувати можливість виконання різних операцій без

значної переналадки. Для транспортування заготовок та вузлів між робочими місцями можуть використовуватись мостові крани, візки або інші універсальні транспортні засоби. Також для дрібносерійного виробництва характерне поєднання ручних та механізованих операцій, що дозволяє забезпечити необхідну якість виготовлення резервуарів при відносно невеликому обсязі випуску продукції.

4.2 Визначення типу та кількості обладнання

Для формування виробництва в дипломній роботі вже обрано необхідне обладнання виходячи з необхідності автоматизації зварних процесів для виконання зварних швів, транспортування тощо. Додаткове обладнання обирається за технічними характеристиками, що відповідають необхідним вимогам, надійності та простоті обслуговування та потребам. Обране обладнання зводимо у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Перелік основного технологічного обладнання

Назва	Кількість, шт	Використання
Навантажувач	1	Транспортування матеріалу у цех
Кран–балка	1	Транспортування по цеху матеріалів, заготовок та деталей
Кран–колона	2	Подача обладнання та підтримка для обладнання та деталей
Підйомник	1	Підйом оператора до місця зварювання чи контролю

Продовження таблиці 4.2

Назва	Кількість, шт	Використання
Самоцентруючий роликовий обертач	3	Виставлення та обертання обичайок та резервуару
Дробоструминна камера	1	Очищення металу
Листоправильний верстат	1	Правлення листового матеріалу
Плазморізальний верстат	1	Різання заготовок
Гільотина	1	Відрізання листового прокату у розмір
Стрічкопильний верстат	1	Різання заготовок
Трьохроликовий гідравлічний верстат	1	Формування бокових днищ
Тривалковий листозгинальний верстат	1	Формування обичайок
Автоматична зварювальна установка для повздовжніх швів	1	Зварювання повздовжнього шву обичайки
Зварювальний тракторець для зварювання під флюсом	1	Зварювання обичайок між собою з середини.
Газовий різак	1	Вирізання отвору під люк
Зварювальний апарат	2	Прихватки люка при складанні, зварювання каркасу та каркасу з обичайками
Зварювальний апарат CW-18	1	Зварювання люка з резервуаром
КШМ	3	Зачистка кромки, зварних швів та підготовка кромки до зварювання

4.3 Визначення чисельності персоналу

Так як виготовлення резервуарів відноситься до дрібносерійного виробництва чисельність персоналу будемо визначати відповідно до необхідної мінімальної кількості робітників, що можуть забезпечити виконання технологічного процесу. Також згідно методики [30] врахуємо потребу у працівниках інших не робочих категоріях.

Зведемо у таблицю 4.3 данні про персонал закріплений за обладнанням.

Таблиця 4.3 – Кількість робітників, що працюють на верстатах

Робоче місце	Кількість робітників
Навантажувач	1
Листоправильний верстат та гільйотина	2
Плазморізальний верстат	1
Трьохроликовий гідравлічний верстат	1
Тривалковий листозгинальний верстат	1
Автоматична зварювальна установка для повздовжніх швів	1
Зварювальний апарат CW-18	1
Разом	8

Для керування підйомником, кран балкою та кран-колоною слюсарі та зварювальники мають пройти додаткове навчання та отримати допуск до робіт. Поєднання слюсарями частково позицій, які вимагають додаткового навчання зменшить необхідність у збільшенні штату та дозволить збільшити робітникам зарплату.

Для забезпечення робіт потрібні робочі спеціальності, що виконують основний технологічний процес та зведемо таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Робочі спеціальності основні

Спеціальність	Кількість робітників
Слюсаря збірники	8
Зварювальники	3
Разом	11

Для забезпечення роботи Дрібно серійного виробництва також знадобляться інші категорії робітників. Згідно методики [30] визначаємо необхідну кількість та зводимо у таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Робочі спеціальності керуючий склад

Категорії працюючих	Кількість робітників
Інженерно–технічні робітники	9
Службовці	2
Молодший обслуговуючий персонал	2
Працівник ВТК	1
Разом	14

Тобто для забезпечення робіт нам необхідно 31 працівник

4.4 Розробка складально–зварювального цеху

Компонування виробничих та допоміжних приміщень будівлі має відповідати типу виробництва та організації роботи цеху згідно зі схемою виробничого потоку. Відповідно до методики [30] проєктування цехів, найбільш ефективне потокове розташування обладнання застосовується переважно для серійного та масового виробництва, оскільки воно забезпечує безперервний і раціональний рух виробів між робочими місцями. Оскільки розраховане виробництво належить до дрібносерійного типу, проєктування

цеху повинно враховувати можливість переналагодження обладнання та адаптації виробничих ділянок під виготовлення іншої продукції.

Для виробництва резервуарів найбільш доцільними є поздовжній, змішаний або петльовий напрямки виробничого потоку. Вибір конкретного варіанта залежить від площі приміщення, способу транспортування виробів, розташування обладнання та організації складальних операцій. При проєктуванні даного складально-зварювального цеху обрано змішаний напрямок виробництва зображено схему на рис 4.1, оскільки він дозволяє поєднати достатню гнучкість виробничого процесу із раціональним переміщенням заготовок і вузлів між робочими місцями.

Додатково при розробці цеху необхідно врахувати розташування зон складування металопрокату, ділянок підготовки кромek, складальних постів та місць виконання зварювання. Важливим фактором є забезпечення безпечного транспортування великогабаритних елементів резервуара між операціями. Також у цеху мають бути передбачені проходи для персоналу, місця встановлення вантажопідіймального обладнання та достатній простір для виконання монтажних і складальних робіт. Це дозволяє забезпечити більш зручну організацію виробництва та покращити умови праці робітників.

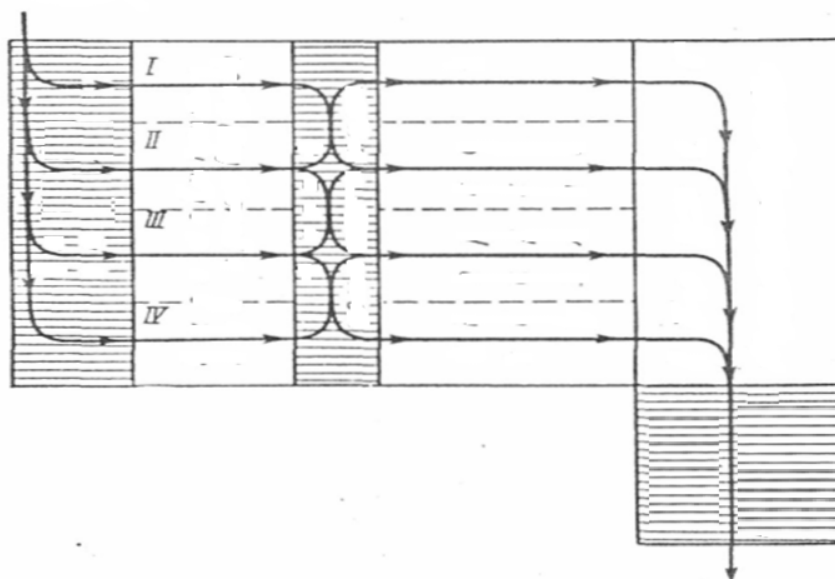


Рисунок 4.1 – Схема потоку змішаного виробництва

Для оцінки площі виробництва скористаємося таблицею 6 методики [30]
та зведемо данні у таблицю 4.6

Таблиця 4.6 – Оцінка площі виробництва

Назва обладнання	Площа, що займає обладнання, м ²	Виробнича площа, м ²
Кран–колона	1	10
Дробоструминна камера	30	60
Гільотина	4	50
Самоцентруючий роликовий обертач	12,5	70
Плазморізальний верстат	14	80
Стрічкопильний верстат	7	50
Трьохроликовий гідравлічний верстат	4	30
Тривалковий листозгинальний верстат	4	30
Автоматична зварювальна установка для повздовжніх швів	12,5	70
Складальні кондуктори	4	30
Місце для зберігання обладнання, що використовується по місцю роботи	20	20
Разом	—	500

За попередньою оцінкою для виробництва маємо мати 500 м²
виробничих площ.

4.5 Розробка площі складу металу, заготовок, виробів

Запас матеріалів на складі цеху залежить від декількох факторів. На це впливає тип виробництва, умови постачання, транспортування та зберігання матеріалів. Також важливо враховувати, наскільки доступними є матеріали та чи мають вони нестандартні розміри або характеристики. Основним показником є темп виробництва, тому що від нього залежить, скільки матеріалів потрібно для роботи. Темп виробництва визначається масою комплекту продукції та швидкістю її виготовлення, згідно методики [30].

Визначаємо кількість запасу матеріалу:

$$Q = H_x \cdot q$$

де H_x – норма запасу зберігання металу, год;

q – темп виробництва, т/год.

Темп виробництва визначимо за формулою:

$$q = 0.001 \cdot m \cdot v$$

де m – маса одного комплекту зварного виробу (резервуару), кг;

v – швидкість виробництва, що визначається кількістю виробів, виготовлених за годину.

Швидкість виробництва визначаємо за формулою:

$$v = N/\Phi$$

де N – річний випуск продукції, шт;

Φ – річний фонд робочого часу (2000 годин).

$$v = \frac{50}{2000} = 0.025 \text{ шт/год}$$

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q = 0.001 \cdot 1022 \cdot 0.025 = 0.02555 \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

Маючи темп виробництва можемо розрахувати необхідні норми запасу матеріалу для виробництва. Орієнтуючись на таблицю 11 методики [30] складемо відповідну таблицю 4.7 для дрібносерійного виробництва.

Таблиця 4.7 – Норми запасу для дрібносерійного виробництва

Вироб– ництво	Склад металу		Проміжний склад деталей		Склад зварених виробів	
	Норми запасу, змін	Запас матеріалу, тонн	Норми запасу, змін	Запас матеріалу, тонн	Норми запасу, змін	Запас матеріалу, тонн
Дрібно– серійне вироб– ництво	від 8 до 10	від 1,635 до 2,044	від 4 до 6	від 0,818 до 1,226	від 4 до 6	від 0,818 до 1,226

Враховуючи реальні габарити та вагу листового прокату, напівфабрикатів та готових виробів реальна потреба буде значно більша. Визначмо мінімальні запаси виходячи з габаритів і маси та зведемо у таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Мінімальні запаси, габарити та маси елементів резервуару

Матеріал	Габарити, м×м×м	Маса, т	Площа, м ²	Розташування	Сумарна площа, м ²
Лист 6 мм	6×1.5×0.006	0.424	9	Склад металу	18.36
Лист 8 мм	6×1.5×0.008	0.565	9		
Профіль	6×0.06×0.06	0.032	0.36		

Продовження таблиці 4.8

Матеріал	Габарити, м×м×м	Маса, т	Площа, м ²	Розташування	Сумарна площа, м ²
Обичайка	1.5×1.4×1.4	0.311	1.96	Проміжний склад деталей	4.48
Каркас	1.8×1.2×0.06	0.019	2,16		
Люк	0.6×0.6×0.11	0.010	0.36		
Резервуар	4.5×1.45×1,4	1,02	6.3	Склад зварених виробів	6.3
Разом					29,14

Проведений аналіз необхідних площ для складів не враховує потребу в додатковій площі для проїздів та проходів. Для визначення цієї площі додамо 50% від загальної обчисленої площі складу

$$F_c = 29.14 \cdot 1.5 = 43.71 \approx 44 \text{ м}^2$$

Розрахована площа складів визначена для мінімального навантаження, та не враховує реальні потреби та запис для виробництва, але для циклічного виконання робіт без збоїв та порушень роботи є оптимальною та ефективно.

Розрахунок не враховує реальні логістичні процеси та має бути скорегованим під конкретне виробництво.

При проектуванні цеху та розміщенні матеріалу, обладнання, зон для проміжного складування, складально-зварювальних ділянок і проходів та проїздів було визначено більш реальні потреби виробництва у площах на склади. Розміри нанесені на кресленні.

4.6 Технічні та функціональні вимоги до планування цеху

Виробничі промислові будівлі проектуються згідно норм та стандартів, відповідно мають певні розміри та планування. Основними характеристиками таких будівель є розташування колон та їхня висота в залежності від організованого виробництва. Згідно таблиці 7 методики [30] обираємо одноповерхову будівлю яка задовольняє наші вимоги, а саме:

- наявність кран–балки вантажопідйомністю до 5 т;
- розташування колон не ближче 6 м для транспортування матеріалів та готових виробів, розміщення обладнання;
- висота більше 5 м для встановлення обертової колони.

Та зводимо данні у таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Розміри прольотів в складально–зварювального цеха [30]

Крок колон, м	12
Ширина прольоту, м	18
Висота до низу перекриття (в одноповерховій будівлі), м	8,4
Висота до відмітки основи рельсу підкранового шляху, м	6,15
Вантажопідйомність напольного транспорту, кН	—
Вантажопідйомність електричних кранів, кН	100

При розміщенні та проектуванні цеху потрібно врахувати не лише габарити обладнання, матеріалів та виробів, але й врахувати мінімальні допустиму ширину проходів та проїздів, відстані до стін колон тощо, має бути від 1 м, але залежить від конкретного призначення. Якщо ж в цеху використовується напольний транспорт то проїзди мають бути від 2.5 м до 3 м в залежності від габаритів транспорту та його використання.

Додатково при плануванні складально–зварювального цеху необхідно врахувати можливість безпечного переміщення великогабаритних деталей та вузлів резервуара між робочими постами. Для цього обладнання та робочі

місця розташовують таким чином, щоб забезпечити зручний доступ до виробів і мінімізувати перехрещення транспортних потоків. Також важливо передбачити місця для тимчасового складування заготовок, готових вузлів та допоміжних матеріалів. Раціональне планування виробничої площі дозволяє покращити організацію праці, зменшити час на транспортування деталей та забезпечити більш безпечні умови роботи персоналу.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗДІЛУ

У технологічному розділі було розроблено процес виготовлення резервуара для зберігання технічної води зі сталі P235GH. Проведено аналіз конструкції виробу, визначено послідовність виготовлення елементів резервуара та підібрано необхідне обладнання для виконання заготівельних, складальних, зварювальних операцій та метод контролю якості виготовлення.

Виходячи з заданої кількості виробів визначено тип виробництва як дрібносерійний, що вказує на необхідність забезпечити достатню гнучкість технологічного процесу та можливість переналагодження обладнання під виготовлення іншої продукції. Для організації виробництва розроблено структуру складально-зварювального цеху з урахуванням вимог до транспортування великогабаритних виробів, розміщення обладнання та забезпечення безпечних умов праці.

Для виготовлення резервуара обрано механізоване зварювання в захисних газах MIG (131) та автоматичне зварювання під флюсом SAW (121), що забезпечують високу продуктивність, стабільність процесу та необхідну якість зварних з'єднань. Виконано обґрунтований вибір зварювальних матеріалів відповідно до властивостей основного металу та умов експлуатації конструкції. Для зварювання поздовжнього шву обичайки використано процес MIG із застосуванням дроту ДСТУ EN ISO 14341 – A: G 35 2 M21 3Si1 та газової суміші M21, а зварювання люка з резервуаром кільцевим швом – автоматичне зварювання під флюсом із використанням комбінації дроту та флюсу згідно ДСТУ ISO 14171 – S 35 3 AB S2.

Розроблений технологічний процес включає підготовку листового прокату, плазмове різання, вальцювання обичайок і днищ, складання резервуара, виконання поздовжніх та кільцевих швів, монтаж внутрішніх елементів жорсткості, встановлення люка та проведення контрольних операцій. Для забезпечення геометричної точності конструкції передбачено використання роликів обертачів, ланцюгових затискачів та спеціалізованих

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						81
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристроїв для центрування елементів. А також підібрано комплекси та установки для автоматизації зварювальних процесів.

Особливу увагу приділено контролю якості виготовлення. Передбачено проведення візуально-вимірального та капілярного контролю зварних швів, а також перевірку герметичності резервуара шляхом заповнення водою. Запропоновані технологічні рішення дозволяють забезпечити необхідну міцність, герметичність та довговічність конструкції при експлуатації в атмосферних умовах.

Виконано розрахунок площі виробництва та необхідних складських територій для забезпечення повного циклу виробництва резервуарів. Висунуті вимоги до проекту цеху.

У результаті виконання технологічного розділу розроблено повний маршрут виготовлення резервуара, підібрано основне обладнання, зварювальні матеріали та методи контролю якості, що забезпечують відповідність виробу вимогам нормативної документації та умовам безпечної експлуатації.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 СТАРТАП ПРОЄКТ

5.1 Енергетичний розділ

Завданням енергетичного розділу проекту є розрахунок кількості електроенергії [31], необхідної для забезпечення роботи цеху, а також витрат палива, газів та інших енергетичних затрат.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності при запланованому режимі роботи:

$$\mathcal{E} = M\Phi_0\eta_{\text{зв}}K_1K_2,$$

$$\mathcal{E} = 249.85 \cdot 1800 \cdot 0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.7 = 84998.9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для зручності зведемо данні про вартість та потужність обладнання у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняльні характеристики обладнання

Обладнання	Вартість, грн	Потужність, кВт
AG 230–24D КШМ	14 700	2.4
Гільйотина Cormak 12×3200	1 170 008	18.5
Формувач днищ Bermet Makina BM FM 8	2 200 000	11
Вальцювальний верстат BENDMAK CY3R– HHS 190–20/8.0	957 957	3
Стрічкова пила по металу JET HBS– 1321VS 414471T	549 190.	4.15

Продовження таблиці 5.1

Обладнання	Вартість, грн	Потужність, кВт
Самоцентрувальний зварювальний обертач серії HGZ-5	268981	0.75
Welding Dragon MIG- 200 S4 PRO	16 990	7.1
Дробоструминна KASO-7	2 075 745	23.7
Зварювальний комплекс для повздовжніх швів Schnelldorfer LINEARWELD XLS INEX 2100	4 100 000	35
Зварювальний апарат CW-18 з круговим зварюванням	2 100 000	30
Листопрямильна машина Bendmak BPSM 25/35	8 000 000	100
Плазморізальний верстат СК-1325-Р	337 000	10.5
Всього	21 790 571	246.1

де $M = 249.85$ – встановлена потужність обладнання, кВт;

$\Phi_0 = 1800$ – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{зв} = 0.9$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для електродвигунів – 0,3; для генераторів високочастотного нагріву – 0,8);

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

Витрати енергії піднімально–транспортного обладнання визначають виходячи з його потужності.

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії для санітарно–технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення виконують на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку: площа приміщення, необхідна освітлюваність і режим роботи освітлювальних пристроїв.

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою:

$$Q = \frac{S \cdot q \cdot \tau \cdot f}{1000}$$
$$Q = \frac{864 \cdot 12 \cdot 2500 \cdot 0.8}{1000} = 20736 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 20.736 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де $S = 864$ – освітлювальна площа, м^2 ;

$q = 12$ – поверхнева густина теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$\tau = 2500$ – число годин горіння на рік;

$f = 0.8$ – коефіцієнт одночасного горіння.

Величину q зазвичай приймають: для виробничих приміщень – $11 \dots 15 \text{ Вт}/\text{м}^2$, для побутових і службових приміщень – $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Залежно від тривалості освітлювального періоду значення τ приймають рівним: для двозмінної роботи – 2500 год, для тризмінної роботи – 4700 год.

Коефіцієнт, який враховує одночасність горіння ламп, приймають: для

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

виробничих прогонів – 0,8; для побутових та службових приміщень – 0,7; для підвалів – 0,9.

Результати розрахунків витрат електроенергії зводять в табл. 5.2 та 5.3.

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування споживача струму	Кількість споживачів	Потужність, кВт	Фонд робочого часу на рік, год	Коефіцієнт завантаженості	Коефіцієнт одночасності	Коефіцієнт використання потужності	Річні витрати електроенергії, кВт·год
1	2	3	4	5	6	7	8
AG 230–24D КШМ	1	2.4	1800	0.9	0.3	0.7	816.48
Гільйотина Cormak 12×3200	1	18.5					6293.7
Формувач днищ Bermet Makina BM FM 8	1	11					3742.2
Гідравлічний вальцювальний верстат BENDMAK	1	3					1020.6
Стрічкова пила по металу JET HBS–1321VS 414471T	1	4.15					1411.83

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Обертач серії HGZ–5	6	0.75					1530.9
Welding Dragon MIG–200 S4 PRO	1	7.1					2415.42
Дробоструминна KASO–7	1	23.7					8062.74
Зварювальний комплекс Schnelldorfer LINEARWELD XLS INEX 2100	1	35					11907
Зварювальний апарат CW–18	1	30					10206
Листопрямильна машина Bendmak BPSM 25/35	1	100					34020
Плазморізальний верстат СК– 1325–Р	1	10.5					3572.1
Усього витрат, кВт·год							84998.9

Таблиця 5.3 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м ²	Поверхнева щільність теплового потoku, Вт/м ²	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
LED світильник 36 штук	864	12	2500	0.8	20.736
Усього витрат, кВт·год					20.736

5.2 Розрахунок чисельності виробничих робітників

Чисельність працівників, зайнятих на нормованих роботах ($\text{Ч}_{\text{р.н}}^{\text{пл}}$), розраховують за формулою:

$$\text{Ч}_{\text{р.н}}^{\text{пл}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot m_i}{T_{\text{р.ч}} \cdot K_{\text{в.н}}} = \frac{41.7 \cdot 50}{1672 \cdot 1.2} = 1.04$$

де n – кількість найменувань продукції;

t_i – планова трудомісткість одиниці i -го виду продукції, нормо-годин;

$$t_i = \frac{261 \text{ роб. день} \cdot 8 \text{ год}}{50 \text{ шт}} = 41.7 \text{ нормо – год}$$

де $m_i = 50$ – кількість продукції i -го виду, одиниць;

$T_{\text{р.ч}} = 1672$ – розрахунковий ефективний час роботи одного робітника, год. (табл. 5.3)

$K_{\text{в.н}}$ – очікуваний коефіцієнт виконання норми (1,0 – 1,5).

Чисельність основних робітників, зайнятих на ненормованих роботах ($\text{Ч}_{\text{ос}}^{\text{пл}}$) (контроль технологічного процесу, керування апаратами, машинами та іншим устаткуванням), розраховують за нормами обслуговування, а саме:

$$\text{Ч}_{\text{ос}}^{\text{пл}} = \frac{m_0 \cdot \text{П}_{\text{зм}} \cdot \text{К}_{\text{п}}}{\text{Н}_{\text{об}}} = \frac{7 \cdot 1 \cdot 1.12}{1} = 7.84 \approx 8 \text{ роб.}$$

де $m_0 = 7$ шт – кількість обслуговуваних об’єктів;

$\text{П}_{\text{зм}}$ – кількість робочих змін протягом доби (1 зміна);

$\text{К}_{\text{п}} = 1.12$ – коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову;

$\text{Н}_{\text{об}}$ – норма обслуговування (кількість одиниць обладнання, що обслуговує один працівник). Один працівник обслуговує своє обладнання

Таблиця 5.4 – Баланс робочого часу середньооблікового працівника

Показники	Планові значення
Кількість календарних днів	365
Вихідні та святкові дні	104
Час на планово–попереджувальний ремонт, днів	10
Номінальний фонд робочого часу, днів	246
Невиходи на роботу, днів	26
з них:	
Відпустка	20
Захворювання	4
дозволені законом	1
з дозволу адміністрації	0,5
Прогули	0,5
цілодобові простої	0
Страйки	0
Явочний робочий час, днів	220

Продовження таблиці 5.4

Показники	Планові значення
Середня тривалість робочого дня, год	7,9
Внутрішньозмінні втрати робочого часу та простої, год	0,3
Робочі години	7,6
Ефективний фонд робочого часу за рік, год	1672

Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову розраховується за формулою:

$$K_{\pi} = \frac{100}{(100 - k)} = \frac{100}{(100 - 10.6)} = 1.12$$

де k – плановий відсоток невиходів на роботу (за даними таблиці 5.4).

$$k = \frac{26}{246} \cdot 100 = 10.6$$

Чисельність допоміжних працівників ($\text{Ч}_{\text{д}}^{\text{пл}}$), для яких неможливо встановити норму обслуговування та розрахувати трудомісткість робіт, визначають за кількістю робочих місць за формулою:

$$\text{Ч}_{\text{д}}^{\text{пл}} = \text{П}_{\text{р.м}} \cdot \text{П}_{\text{зм}} \cdot K_{\pi} = 3 \cdot 1 \cdot 1,12 = 3,36 \approx 4 \text{ роб.}$$

де $\text{П}_{\text{р.м}} = 3$ – кількість робочих місць (визначається за планом цеху).

Чисельність управлінського персоналу встановлюють, виходячи з організаційної структури управління цехом (дільницею) на аналогічному підприємстві та зводимо у табл. 5.5

Таблиця 5.5 – Чисельність основних і допоміжних робітників цеху

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Явочна чисельність по змінах			Загалом на добу	Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову	Облікова чисельність
		1	2	3			
Основні робітники							
Зварювальник	5	3	0	0	3	1,12	4
Слюсар	5	5	0	0	5	1,12	6
Оператор верстата	4	7	0	0	7	1,12	8
Разом		15	0	0	15		18
Допоміжні працівники							
Наладчик	5	1	0	0	1	1,12	2
Черговий слюсар– електрик	4	1	0	0	1	1,12	2
Вантажник	4	1	0	0	1	1,12	2
Разом		3	0	0	3		6
Усього робітників		18	0	0	18		24

5.3 Визначення фондів заробітної плати

Тарифна сітка встановлює відповідні співвідношення в оплаті праці працівників різної кваліфікації. Вона є, власне, переліком тарифних розрядів і відповідних коефіцієнтів.

Установлені в Україні параметри тарифної сітки наведено в таблиці. 5.6. А оклади управлінського та обслуговуючого персоналу зведемо у таблицю 5.7.

Таблиця 5.6 – Типова тарифна сітка робітників різногалузевих підприємств та організацій

Показник	Тарифні розряди							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Тарифні коефіцієнти	1,0	1,088	1,204	1,350	1,531	1,800	1,892	2,0
Зростання тарифних коефіцієнтів:								
абсолютне		0,088	0,116	0,146	0,181	0,269	0,092	0,108
відносне		8,8	10,7	12,1	13,4	1,7,6	5,1	5,7
Тариф за год	52	56,58	62,61	70,2	79,61	93,6	—	—

Важливим елементом тарифної системи є тарифна ставка. Її абсолютну величину визначають згідно зі встановленим державою мінімальним розміром заробітної плати. Згідно державного бюджету України на 2026 рік мінімальна заробітна плата становить: у місячному розмірі – 8647 грн, у погодинному розмірі – 52 грн.

Таблиця 5.7 – Розрахунок фонду заробітної плати управлінського та обслуговуючого персоналу

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний посадовий оклад, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
Керівники			
Начальник цеху	1	60 000	720 000
Майстер	3	30 000	1 080 000
Разом			1 800 000

Продовження таблиці 5.7

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний посадовий оклад, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
Спеціалісти			
Інженер–технолог	1	45 000	540 000
Інженер охорони праці ³	1	40 000	480 000
Разом			1 020 000
Службовці та молодший обслуговуючий персонал (МОП)			
Комірник	1	35 000	420 000
Прибиральниця	1	20 000	240 000
Разом			660 000
Усього по цеху (дільниці)			3 480 000

Зведемо розраховані дані у таблицю 5.8

Таблиця 5.8 – Річний фонд заробітної плати

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Обліковий склад, осіб	Кількість годин роботи за рік		Основна заробітна плата, грн. (3×6)
				Одного робітника	Усіх	
1	2	3	4	5	6	7
Основні (технологічні) робітники						
Зварювальник	5	79,61	4	1672	6 688	532 431,68
Слюсар	5	79,61	6	1672	10 032	798 647,52
Оператор верстата	4	70,2	8	1672	13 376	938 995,2
Разом						2 270 074,4
Допоміжні (обслуговуючі) робітники						
Наладчик	5	79,61	2	1672	3344	266 215,84
Черговий слюсар– електрик	4	70,2	2	1672	3344	234 748,8
Вантажник	4	70,2	2	1672	3344	234 748,8
Разом						735 713,44
Усього по цеху (виробничій дільниці)						3 005 787,84

Продовження таблиці 5.8

Професія, спеціальність	Розрахунок додаткової заробітної плати, грн					Загальний фонд заробітної плати, грн. (7+12)
	Надбавки та доплати				Разом (8+9+10+11)	
	Премії (40%)	За роботу в особливих умовах (18%)	Оплата відпусток (12%)	Інші доплати та надбавки (10%)		
1	8	9	10	11	12	13
Основні (технологічні) робітники						
Зварювальник	212 972,67	95 837,7	63 891,8	53243,17	425945,34	958 377,02
Слюсар	319 459,01	143 756,6	95 837,70	79864,75	638918,01	1 457 565,53
Оператор верстата	375 598,08	169 019,1	112679,42	93899,52	751196,2	1 690 191,36
Разом					1816059,51	4 106 133,91
Допоміжні (обслуговуючі) робітники						
Наладчик	106 486,3	47 918,85	31945,9	26621,58	212 972,7	479 188,51
Черговий слюсар– електрик	93 899,52	42 254,78	28169,86	23474,88	187 799,0	422 547,84
Вантажник	93 899,52	42 254,78	28169,86	23474,88	187 799,0	422 547,84
Разом					588 570,8	1 324 284,2
Усього по цеху (виробничій дільниці)						5 430 418,1

5.4 Розрахунок продуктивності праці

Ефективність роботи трудового колективу, розраховують як відношення річного обсягу виробництва до облікового складу всіх працівників цеху, називається продуктивність праці

Продуктивність праці:

$$П = \frac{G}{\sum Ч} = \frac{51\,100}{50} = 1022 \text{ кг/роб}$$

де $П$ – це річний обсяг продукції, виготовленої з розрахунку на одного працівника цеху

$G = 51\,100$ – обсяг продукції, виготовленої цехом (дільницею) за рік, кг;

$\sum Ч = 50$ – чисельність працівників усіх категорій;

Для оцінки ефективності використання трудових ресурсів виробничої дільниці було визначено показник продуктивності праці. Даний показник характеризує обсяг продукції, який припадає на одного працівника за рік, та дозволяє оцінити рівень організації виробництва, ступінь механізації й автоматизації технологічних процесів, а також ефективність використання робочої сили.

За результатами розрахунків продуктивність праці становить 1022 кг/роб. Це означає, що в середньому один працівник цеху забезпечує виготовлення 1022 кг готової продукції на рік. Отримане значення свідчить про достатньо ефективне використання трудових ресурсів підприємства та підтверджує доцільність застосування обраного технологічного обладнання і рівня механізації виробничих операцій при виготовленні резервуарів.

5.5 Розрахунок капітальний вкладень

Капітальні вкладення у проєктований об'єкт складаються із капіталовкладень у основні засоби та оборотних нормованих засобів. Зведемо данні у таблицю 5.9

Таблиця 5.9 – Розрахунок капітальних вкладень в обладнання

Найменування устаткування	Кількість, одиниць	Вартість за одиницю, тис. грн	Загальна вартість, тис. грн	Витрати на транспортування та монтаж, тис. грн	Усього, тис. грн
1	2	3	4	5	6
Основне технологічне устаткування					
AG 230–24D КШМ	4	14.7	58.8	0	58.8
Гільйотина Cormak 12×3200	1	1 170	1 170	120	1290
Формувач днищ Bermet Makina BM FM 8	1	2 200	2200	220	2420
Гідравлічний вальцювальний верстат BENDMAK CY3R–HNS 190–20/8.0	1	958	958	100	1058
Стрічкова пила по металу JET HBS–1321VS 414471T	1	549.2	549.2	55	604.2
Самоцентрувальний зварювальний обертач серії HGZ–5	3	269	807	120	927

Продовження таблиці 5.9

1	2	3	4	5	6
Дробоструминна KASO–7	1	2 076	2076	210	2286
Зварювальний комплекс для повздовжніх швів Schnelldorfer LINEARWELD XLS INEX 2100	1	4 100	4100	600	4700
Зварювальний апарат CW–18 з круговим зварюванням	1	2 100	2100	210	2310
Плазморізальний верстат СК–1325–Р	1	337	337	40	377
Листопрямильна машина Bendmak BPSM 25/35	1	8 000	8000	1000	9000
Разом основне технологічне устаткування					25 050
Допоміжне та підйомно–транспортне устаткування					
JLG Power Towers NANO підйомник	1	160	160	16	176
Кран–колони	2	480	960	100	1 060
Кран балка	1	589	589	120	709
Рольгани	11	43,6	479,6	48,4	528
Разом допоміжне та підйомно–транспортне устаткування					2 473
Загалом по цеху (виробничій дільниці)					27 523

Обсяг капіталовкладень у виробничі будівні та споруди визначаємо у таблиці 5.10. Було визначено, що виробничі приміщення мають об'єм 7257,6 м³ та побутові приміщення 432м³

Таблиця 5.10 – Усереднені ринкові ціни на елементи будівельно–монтажних робіт

Елементи будівельно–монтажних робіт	Вартість, грн/м ³	Загальна вартість, тис.грн
1	2	3
1. Виробничі будівлі		
1. Одноповерхові	3000	21 772,8
2. Водопостачання виробничих приміщень	30	217,7
3. Каналізація виробничих приміщень	30	217,7
4. Електропроводка виробничих приміщень	50	362,9
5. Вентиляція виробничих приміщень	75	544,3
Разом виробничі приміщення	–	23 115,4
6. Побутові приміщення	4000	1 728
7. Водопостачання побутових приміщень	40	17,3
8. Каналізація побутових приміщень	90	38,9
9. Електропроводка побутових приміщень	60	25,9
10. Вентиляція побутових приміщень	80	34,6
11. Зовнішній благоустрій	50	384,5
Разом побутові приміщення	–	2 229,2
12. Невраховані витрати	500	3 845
Разом		29189,6

Безперервну виробничу діяльність цеху (дільниці) забезпечують оборотні засоби, мінімальна необхідна величина яких має назву нормативу оборотних засобів.

Середній поточний запас (Z_m) визначається за формулою:

$$Z_m = M_d \cdot \frac{T_{\text{пост}}}{2} = 66\,190,5 \cdot \frac{20}{2} = 661\,905 \text{ грн}$$

де M_d – середньодобове споживання сировини та матеріалів, грн;

$$M_d = \frac{23828575}{360} = 66\,190,5 \text{ грн}$$

$T_{\text{пост}}$ – інтервал між поставками матеріалів у днях (приймається в межах 15–30 днів).

Визначимо M_d розраховавши потреби у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Сировина та матеріали

Матеріал	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн	Кількість на річну програму	Всього, грн
Лист 6x1500x6000	шт	112 950	150	16 942 500
Лист 8x1500x6000	шт	148 000	25	3 700 000
Профіль 60x60x6000	шт	1 560	50	78 000
Зварні матеріали	—	—	15%	3 108 075
Разом				23 828 575

Загальний річний норматив оборотних коштів ($H_{\text{заг}}$) по об'єкту, що проектується, складе:

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

$$H_{\text{заг}} = 1,5 \cdot 3_{\text{м}} = 1,5 \cdot 661905 = 992857,5 \text{ грн}$$

Після цього розраховують загальні капітальні вкладення в об'єкт, що проектується та зводимо у табл. 5.12.

Таблиця 5.12 – Розрахунок загальних капітальних вкладень

Елементи капіталовкладень	Сума	
	тис. грн.	%
1	2	3
1. Будівлі:		
1.1. Виробничі	23 115,4	42,92
1.2. Побутові	2 229,2	4,14
2. Устаткування		
2.1. Основне технологічне	25 050	46,51
2.2. Допоміжне та підйомно–транспортне	2473	4,59
3. Норматив оборотних засобів	992,9	1,84
Всього капіталовкладень у виробничі засоби	53860,5	100%

5.6 Визначення планової собівартості одиниці продукції

Для визначення планової собівартості продукції на підприємствах складають планові та фактичні калькуляції.

Повну собівартість одиниці продукції ($C_{\text{п}}$) розраховують як відношення повної собівартості річної програми випуску продукції ($C_{\text{п}}^{\text{річ}}$) до річного обсягу (програми) випуску продукції цехом (дільницею):

$$C_{\Pi} = \frac{C_{\Pi}^{\text{річ}}}{G} = \frac{38\,629\,920,3}{50} = 772\,598.41 \text{ грн}$$

де G – річний обсяг (програма) випуску продукції – розрахунок зведено у таблицю 5.13.

Таблиця 5.13 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва продукції

Найменування статей витрат	Витрати на річну програму	Примітки
1. Сировина та матеріали (табл.5.11)	23 828 575	
2. Паливо та енергія на технологічні цілі (85 019,6 кВт·год)	595 137.2	
3. Основна заробітна плата технологічних робітників	2 270 074.4	
4. Додаткова заробітна плата технологічний робітників	1 816 059.51	
5. Єдиний соціальний внесок	903 349.46	
6. Утримання та експлуатація устаткування	2 837 593	
7. Загальновиробничі витрати	2383578.12	
8. Загальногосподарські витрати	1362044.64	
9. Витрати на підготовку та освоєння виробництва	794526.04	
Виробнича собівартість річної програми	36 790 373.4	
10. Позавиробничі витрати	1 839 546.9	
Повна собівартість річної програми	38 629 920.3	

5.7 Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення

Трудомісткість продукції визначається:

$$t = \frac{\chi_{\text{ос}} \cdot \Phi_{\text{еф}}^{\text{пл}}}{G} = \frac{18 \cdot 1672}{50} = 601.92 \text{ нормо – год}$$

де $\chi_{\text{ос}}$ – загальна чисельність основних (технологічних) робітників, осіб;

$\Phi_{\text{еф}}^{\text{пл}}$ – плановий ефективний фонд робочого часу одного працівника за рік, год.;

G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

Капіталомісткість (фондомісткість) продукції:

$$K_G = \frac{K_{\text{заг}}}{G} = \frac{53860.5}{50} = 1\,077.21 \text{ тис. грн/шт}$$

де $K_{\text{заг}}$ – загальні капітальні витрати

Період окупності капітальних витрат:

$$П_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{ГП_{\text{р}}} = \frac{53860.5}{7722.47} = 6.97 < П_{\text{ок}}^{\text{н}} = 7 \text{ років}$$

де $ГП_{\text{р}}$ – річна сума грошового потоку, грн;

$П_{\text{ок}}^{\text{н}}$ – нормативний період окупності, років.

Грошовий потік за рік:

$$\begin{aligned} ГП_{\text{р}} &= 0,82 \cdot (\text{Ц} - \text{C}_{\text{п}}) \cdot G + \sum A = \\ &= 0,82 \cdot (785 - 772.6) \cdot 50 + (29189.6 \cdot 0.2 + 27\,523 \cdot 0.05) = \\ &= 7722.47 \text{ тис. грн} \end{aligned}$$

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

де 0,82 – коефіцієнт, який враховує частку чистого прибутку у валовому прибутку;

C – ринкова ціна одиниці продукції, тис. грн;

C_{π} – повна собівартість одиниці продукції, тис. грн;

ΣA – загальна річна сума амортизаційних відрахувань, тис. грн.

Для оцінки проведемо порівняння з підприємством–аналогом та зведемо основні показники у таблицю 5.14.

Таблиця 5.14 – Порівняльні техніко–економічні показники спроектованого об’єкта

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення по варіантам	
		Базовий (підприємство–аналог)	Спроектований
1	2	3	4
1. Річний плановий обсяг виробництва продукції (G)	шт	100	50
2. Загальна площа цеху (дільниці)	м ²	1080	864
3. Виробнича площа цеху (дільниці)	м ²	356	284
4. Капіталомісткість продукції (K_G)	$\frac{\text{тис. грн}}{\text{шт}}$	1200	1 077,21
5. Загальний річний фонд заробітної плати	грн	8 824 140	5 430 418,1
6. Середньомісячна заробітна плата одного працівника	грн	18 855	18 855,6

Продовження таблиці 5.14

1	2	3	4
7. Загальна чисельність у тому числі:			
основний (технологічний) персонал	осіб	30	18
допоміжний (технологічний) персонал		9	6
управлінський та обслуговуючий персонал		13	8
8. Річний виробіток на одного працівника (продуктивність праці)	$\frac{\text{т}}{\text{особу}}$	1,65	1,022
9. Технологічна трудомісткість продукції (t)	$\frac{\text{нормо} - \text{годин}}{\text{шт}}$	652,08	601,92
10. Цехова собівартість одиниці продукції	$\frac{\text{грн}}{\text{шт}}$	800	772,6
11. Період окупності (P _{ок})	років	7	7

ВИСНОВОК ДО СТАРТАП-ПРОЄКТУ

За результатами техніко-економічного аналізу встановлено, що розроблений проєкт цеху з виготовлення резервуара для технічної води зі сталі Р235GH є технічно та економічно доцільним. Проведено порівняння з дрібносерійним виробництвом в якому застосовується більше ручної праці.

Порівняння зі підприємством-аналогом показало, що запропоноване виробництво забезпечує більш ефективне використання виробничих ресурсів. Загальна площа ділянки скорочується, що свідчить про раціональніше розміщення обладнання та оптимізацію виробничого процесу.

Загальна чисельність персоналу скорочується порівняно з аналогічним підприємством за рахунок застосування сучасного зварювального обладнання, механізації допоміжних операцій, вдосконаленню організації виробництв та автоматизації процесів зварювання.

Технологічна трудомісткість виготовлення одного резервуара зменшується, що підтверджує підвищення ефективності виробничого процесу. Цехова собівартість одиниці продукції знижується, що забезпечує додатковий економічний ефект і підвищує конкурентоспроможність виробу на ринку.

Незважаючи на менший річний обсяг виробництва порівняно з підприємством-аналогом, розроблене виробництво характеризується раціональною структурою витрат, нижчою потребою у виробничих площах та персоналі, меншими капітальними вкладенням на одиницю продукції. Виробництво має запас в потужності для виробництва більшої кількості резервуарів.

Реалізація розробленого проєкту забезпечує зниження капіталомісткості, трудомісткості та собівартості виготовлення резервуарів, підвищення ефективності використання виробничих ресурсів і створює передумови для стабільної роботи підприємства в умовах сучасного ринку.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розробка технологічного процесу складання та зварювання виробу «Резервуар» стосується використання зварювального обладнання, вантажо–транспортного устаткування, пристроїв складання та допоміжного інструменту, що може створювати потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Під час виконання складально–зварювальних робіт працівники можуть піддаватися впливу електричного струму, підвищеної температури, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, зварювальних аерозолів і газів, шуму, вібрації, а також ризику отримання механічних травм під час переміщення та монтажу елементів конструкції.

Особливістю технологічного процесу складання та зварювання резервуара є виконання робіт із використанням зварювальних установок, комплексів та операцій зі збирання великогабаритних деталей, вузлів, що потребують забезпечення безпечних умов праці та дотримання вимог охорони праці. Недотримання встановлених норм і правил може призвести до виникнення професійних захворювань і аварійних ситуацій.

Метою даного розділу є аналіз умов праці під час розробки технологічного процесу складання та зварювання резервуара, виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів та розробка заходів щодо забезпечення безпечних умов праці. Завданнями розділу є оцінка потенційних ризиків виробничого середовища, визначення засобів захисту працівників та розробка організаційних і технічних заходів для зниження рівня виробничої безпеки.

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Технологічний процес складання та зварювання виробу «Резервуар» супроводжується виникненням шкідливих і небезпечних виробничих факторів, таких як інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання яке розповсюджується від зварювальної дуги, бризки які розлітаються від зварювальної ванни, через мірне нагрівання металу, зварювальні аерозолі які дуже небезпечні для людини, виробничий шум, тощо. Всі ці фактори негативно впливають на здоров'я працівників та створювати ризик виробничого травматизму.

Виготовлення зварного резервуару супроводжується деякими небезпечними чинниками які впливають на робітників зумовлених специфікою високотемпературного зварювання в обмеженому просторі розглянуто відповідно до [32, 33], та згідно з ДСН 3.3.6.042–99, ДСН 3.3.6.037–99, ДСТУ EN ISO 11611:2015 [34, 35, 36]. Головною хімічною загрозою є зварювальні аерозолі та гази, які інтенсивно накопичуються всередині та навколо виробу. Згідно з таблицею 2.1 методики [32] аерозоль оксиду заліза (4 клас безпеки) має гранично допустиму концентрацію 6 мг/м^3 , токсичні оксиди марганцю (2 клас) – до 20 % речовини ГДК 0.2 мг/м^3 , а канцерогенні сполуки хрому (1 клас) – ГДК 0.01 мг/м^3 .

Також повітря робочої зони забруднюється небезпечним чадним газом. Під час зварювальних процесів він може накопичуватись в недостатньо вентильованих приміщеннях в значних концентраціях. Згідно з санітарними нормами ГДК СО становить 20 мг/м^3 [34], для контролю в небезпечних зонах встановлюємо датчики контролю чадного газу.

Серед фізичних факторів виділяють шум, що виникає під час роботи джерел живлення, зачищення швів КІШМ та іншого шумного обладнання яке використовується в цеху. Згідно з ДСН 3.3.6.037–99 [35], гранично допустимий рівень шуму становить 80 дБА, якщо ж дане значення перевищено то слід використовувати відповідні засоби захисту слуху.

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

Світлове випромінювання дуги загрожує виникненням кон'юнктивітів, сухості середовища очей, катаракти. У робочих спостерігаються опіки шкіри, тому за ДСТУ EN 169:2017 [37] потік інфрачервоного тепла обмежено рівнем 350 Вт/м².

Надлишкове виділення тепла погіршує мікроклімат, параметри якого для робіт середньої важкості за ДСН 3.3.6.042–99 [34] мають становити 18–27 °С. За сукупністю чинників технологічний процес відповідає класифікації 3.1 класу шкідливості згідно з гігієнічною класифікацією праці, що вимагає безперебійної вентиляції та використання засобів індивідуального захисту.

6.2 Заходи зниження шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Для зниження рівнів шкідливих і небезпечних виробничих факторів під час виготовлення резервуару застосовують комплекс технічних та організаційних рішень. Організація, облаштування та оснащення робочих місць для зварювання мають відповідати вимогам НПАОП 28.5–1.02–07 [38].

Робоче місце зварника щодо розташування робочої поверхні, органів управління та контролю повинно відповідати вимогам ДСТУ 2456–94 [39].

Виробничі приміщення повинні бути обладнані загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5–67:2013 [40] а ефективне видалення зварювального аерозолі та газів забезпечується встановленням місцевих відсмоктувачів безпосередньо у зоні зварювання.

Для захисту від ураження електричним струмом та запобігання електротравм електротехнічні вироби з точки зору безпеки повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00–1.21–98 [41] та ДНАОП 0.00–1.32–01 [42]

Захист забезпечується за рахунок:

- захисного заземлення обладнання;
- використання справних кабелів та ізоляції;
- періодичного контролю опору ізоляції;

– застосування діелектричних засобів захисту під час технічного обслуговування обладнання.

Усередині металевого резервуару джерела живлення дуги обов'язково оснащують обмежувачами холостого ходу до безпечних 12 В, а все електрообладнання та саму конструкцію надійно заземлюють. А зварювальник забезпечується респіратором, так як вентиляція в резервуарі буде здійснюватися штучним шляхом.

Зменшення шуму й вібрації від КШМ досягається використанням інструменту з віброгасильними ручками та організацією ізольованих ділянок для зачищення швів. Щоб захистити оточуючих від оптичного випромінювання дуги, зварювальні пости огорожують негорючими ширмами чи екранами відповідно до вимог НПАОП 0.00–1.71–16 [43]. Організаційні заходи включають оптимізацію режимів праці з регламентованими перервами, що зменшує статичне навантаження на опорно–руховий апарат і зорову втому.

Якщо технічними засобами не вдається досягти нормативних ГДК та ГДР, зварники забезпечуються засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) за ДСТУ EN ISO 11611:2015 [36]. До них належать спецодяг із брезенту чи шкіри для захисту від бризок металу. Для захисту рук необхідно застосовувати рукавиці згідно з ДСТУ EN 420–2017 [44]

Під час зварювання відкритою дугою для захисту очей та обличчя електрозварника від випромінювання дуги, бризок розплавленого металу та іскор слід застосовувати щитки згідно з ДСТУ EN 175–2001 [45] зі світлофільтрами за ДСТУ EN 169–2017 [37].

6.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Переміщення листів, профілю, обичайок та інших великогабаритних елементів здійснюється за допомогою вантажопідіймального обладнання та підйомників. Стропування вантажів виконують навчені працівники із

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

застосуванням справних вантажозахоплювальних пристроїв. Перебування людей під піднятим вантажем не допускається.

Для очищення поверхні деталей використовується дробеструминна камера закритого типу. Така конструкція запобігає поширенню пилу в робочу зону та зменшує вплив абразивних частинок на працівників. Обслуговуючий персонал забезпечується засобами захисту органів дихання, слуху та зору.

Під час роботи на листоправильній машині та тривалковому листозгинальному верстаті основну небезпеку становить захоплення одягу або частин тіла обертовими валками. Для запобігання травмуванню обладнання оснащується захисними огороженнями та пристроями аварійної зупинки. Завантаження великогабаритних листів здійснюється із застосуванням вантажопідіймальних механізмів.

Під час виконання заготівельних операцій особливу увагу приділяють безпечній роботі на гільйотинних ножицях, плазморізальному та стрічкопильному верстатах. Дані види обладнання оснащуються захисними огороженнями рухомих елементів, блокуваннями та кнопками аварійної зупинки. Подача заготовок виконується із застосуванням допоміжних пристроїв, що виключають потрапляння рук працівника в небезпечну зону різання.

Під час плазмового різання додатково виникають інтенсивне світлове випромінювання, шум та аерозолі металів. Для їх зниження робочі місця обладнують місцевими витяжними вентиляціями, а персонал використовує захисні окуляри або щитки та засоби захисту органів слуху.

Під час складання та прихоплення елементів резервуару значна увага приділяється безпеці виконання слюсарних робіт. Для запобігання падінню деталей використовуються складальні стенди, упори, фіксатори та спеціальна оснастка. При виконанні прихоплень ручним дуговим зварюванням дотримуються вимог електробезпеки та захисту від випромінювання зварювальної дуги.

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

Для виконання кільцевих швів застосовуються роликові обертачі та установка для колового зварювання CW-18 в режимі SAW. Механізація процесу дозволяє зменшити фізичне навантаження на зварника, забезпечити стійке положення виробу та підвищити безпеку виконання робіт. Автоматичне зварювання під шаром флюсу (SAW) забезпечує локалізацію зварювальної дуги під шаром гранульованого флюсу, що знижує інтенсивність ультрафіолетового випромінювання, розбризкування металу та виділення зварювального аерозолі в робочу зону.

Для зварювання повздовжніх швів обрано автоматизований процес MIG-зварювання в середовищі захисного газу. У порівнянні з ручним дуговим зварюванням дана технологія забезпечує вищу продуктивність, меншу тривалість перебування працівника під дією шкідливих факторів та стабільнішу якість зварних з'єднань. Застосування автоматизованого обладнання LINEARWELD XL INEX 2100 дозволяє зменшити фізичне навантаження на зварника та скоротити його перебування безпосередньо біля зони зварювання.

Для видалення зварювального аерозолі передбачена місцева витяжна вентиляція та загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція цеху. Витяжні пристрої розташовуються безпосередньо біля місця утворення диму, що забезпечує зниження концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Зварювання всередині резервуару належить до робіт підвищеної небезпеки, оскільки виконується в обмеженому просторі. Для виконання таких робіт застосовується механізоване зварювання, що дозволяє зменшити час перебування працівника всередині виробу. Роботи виконуються за нарядом-допуском під постійним наглядом відповідальної особи. Зовні резервуару повинен перебувати працівник для контролю стану зварника та забезпечення аварійної евакуації у разі необхідності. Перед початком робіт усередині резервуару проводять перевірку повітряного середовища та забезпечують примусову вентиляцію робочої зони.

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

Для захисту від оптичного випромінювання використовуються зварювальні маски зі світлофільтрами відповідно до вимог ДСТУ EN 169:2017 [37]. При силі зварювального струму 160 А рекомендується застосування світлофільтра зі ступенем затемнення 11–12 [37]. Для захисту інших працівників зона зварювання огорожується спеціальними захисними екранами.

Стан умов праці контролюється шляхом періодичних вимірювань рівня шуму, освітленості, концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони та перевірки справності вентиляційного обладнання.

Для забезпечення безпеки планування виробничої ділянки передбачає достатню ширину проходів, вільний доступ до евакуаційних виходів, окремі місця для зберігання матеріалів та розміщення засобів пожежогасіння. Робоче місце організовується відповідно до вимог ергономіки та безпечного виконання робіт.

Для зменшення негативного впливу виробництва на навколишнє середовище передбачаються такі заходи:

- очищення повітря, що видаляється системою вентиляції;
- недопущення потрапляння мастил та технологічних рідин у систему водовідведення;
- збирання та передача металобрухту на повторну переробку;
- збирання залишків зварювального дроту, бризок металу та інших відходів у спеціальні контейнери;
- своєчасне вивезення виробничих відходів ліцензованими організаціями.

Перевагою прийнятої технології є широке використання механізованого та автоматизованого зварювання замість ручних процесів. Це дозволяє знизити вплив шкідливих виробничих факторів на працівників, зменшити рівень фізичного навантаження, скоротити час контакту зі зварювальними аерозолями та підвищити загальний рівень безпеки виробництва.

6.4 Розрахунок інженерного рішення (вентиляції)

Виконуємо розрахунок місцевої вентиляції для зварювального поста. Для вибору необхідного обладнання основним критерієм є визначити необхідний витяжний повітрообмін. Швидкість всмоктування повітря з огороженням зони розраховуємо за формулою [32]:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 = 3600 \cdot 0.008 \cdot 10 = 288 \text{ м}^3/\text{год}$$

де L_m – швидкість всмоктування повітря, $\text{м}^3/\text{год}$;

$F_0 = 0.008$ – площа отвору витяжного пристрою, м^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря, $\text{м}/\text{с}$.

$$V_0 = 8 \cdot V_x \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^2 = 8 \cdot 0.2 \cdot \left(\frac{0.25}{0.1}\right)^2 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

де $V_x = 0.2 \text{ м}/\text{с}$ – швидкість руху забрудненого потоку повітря [32];

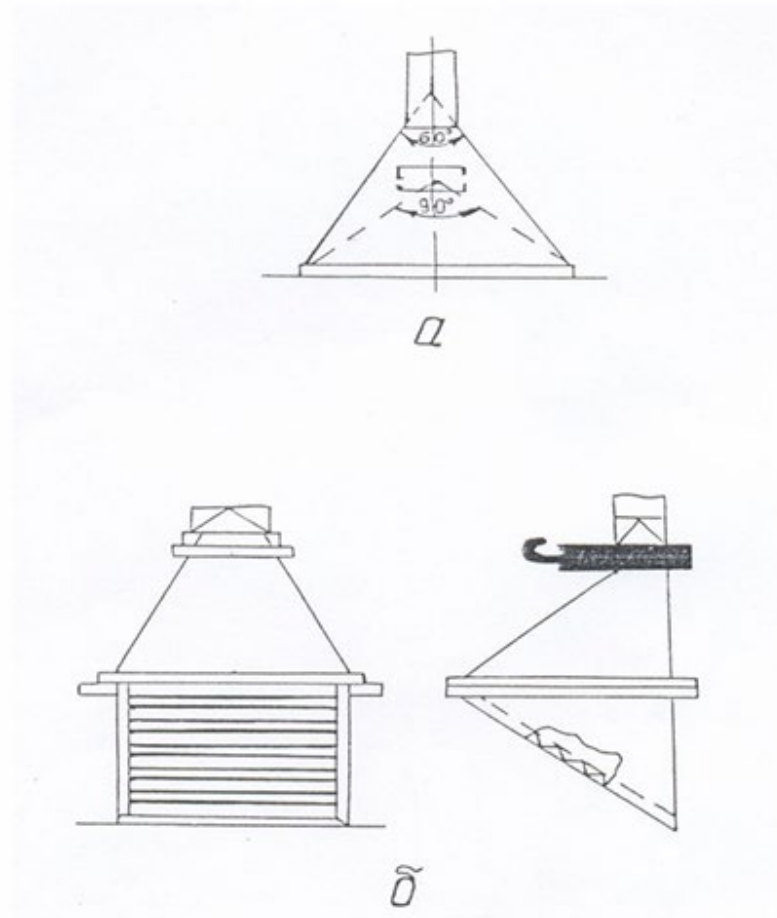
$x = 0.25 \text{ м}$ – відстань від зони горіння дуги до отвору;

$d = 0.1 \text{ м}$ – діаметр отвору витяжного пристрою.

Отримане значення свідчить, що для забезпечення нормативного рівня очищення повітря в робочій зоні зварника необхідно організувати місцеву витяжну вентиляцію з продуктивністю не менше $288 \text{ м}^3/\text{год}$. Такий повітрообмін дозволяє ефективно вилучати зварювальні аерозолі, оксиди азоту та озон безпосередньо в зоні їх утворення, зменшуючи їх розповсюдження в робочому приміщенні та зону дихання оператора.

Враховуючи, що зварювальні роботи виконуються на зварювальному столі з можливістю переміщення виробів у межах робочої зони, найбільш доцільним є застосування місцевої точкової витяжної вентиляції, розташованої над столом зварника. Схема показана на рис. 6.1. Така схема

організації вентиляції забезпечує стабільне захоплення забрудненого повітря незалежно від положення зони зварювання в межах столу.



а – зонт; б – панель рівномірного відсмоктування

Рисунок 6.1 – Основні конструкції місцевої витяжної вентиляції

Конструктивно рекомендується використання витяжного пристрою у вигляді регульованого зонта або шарнірно-поворотного відсмоктувача, що дозволяє оперативно змінювати положення приймального отвору відповідно до поточної робочої позиції. Це підвищує ефективність локального вилучення домішок та забезпечує дотримання гігієнічних вимог до повітря робочої зони згідно з чинними нормативними документами.

6.5 Пожежна безпека

Під час виготовлення зварного резервуару існує ризик виникнення пожеж чи вибухів, зумовлених використанням горючих матеріалів та термічних процесів. Відповідно до ДБН В.1.1–7:2016 [46] наш цех відноситься до класифікації В, тому потребує необхідні засоби захисту. Основну небезпеку становлять операції зварювання так як воно являє собою джерело іскор з температурою до 1500 °С та застосування легкозаймистих рідин. Аналіз речовин показує, що зварювальний дріт і флюси є негорючими, проте розчинники й ґрунтовки мають температуру спалаху до 28 °С, що загрожує спалахом у разі контакту з дугою, несправною проводкою або статичним зарядом.

Для профілактики пожеж передбачено очищення робочих місць від відходів, контроль ізоляції зварювальних кабелів, видалення постів зварювання від легкозаймистих рідин щонайменше на 5 метрів та заземлення устаткування. Первинне пожежогасіння організовано згідно з вимогами згідно ДСТУ EN 3–7:2004 [47], рекомендовано на кожні 100 м² площі розраховано по два порошкові вогнегасники типу ВП–5, один вуглекислотний ВВ–3 для електромереж та пожежний щит типу ЩП–В з азбестовим полотном.

Важливим елементом забезпечення пожежної безпеки є проведення первинних, повторних та позапланових інструктажів для працівників зварювальної дільниці з відпрацюванням дій у разі виникнення пожежі або аварійної ситуації. Працівники повинні знати місця розташування засобів пожежогасіння, шляхи евакуації та порядок повідомлення пожежно-рятувальних служб.

Для підвищення рівня протипожежного захисту виробниче приміщення повинно бути забезпечене доступом до внутрішнього або зовнішнього протипожежного водопостачання, що дозволяє оперативно локалізувати займання до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів. Сукупність

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116

наведених організаційних і технічних заходів забезпечує необхідний рівень пожежної безпеки під час виготовлення зварних резервуарів.

Також на зварювальній дільниці присутні балони з захисними газами, тому вентилі газових балонів, редуктори, пальники і різакі слід обережати від потрапляння на них мастила. Згідно методички [48] сказано, що під час експлуатації балонів забороняється витратити газ, що в них залишається, до тиску менше 0,05 МПа, а у разі відбору ацетилену з балонів з розчиненим ацетиленом – не менше величин, наведених у таблиці 6.1 [48].

Таблиця 6.1 – Вимоги експлуатації ацетиленових балонів

Температура повітря, °С	нижче –5	від –5 до +5	від +5 до +15	від +15 до +25	від +25 до +35 і вище
Залишковий тиск, МПа	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3

Якщо ж вже сталося небезпечна ситуація, то слід оголошувати евакуацію робітників. Евакуація персоналу здійснюється згідно з ДСТУ ISO 23601:2019 [49] через два вільні виходи, обладнані світловими табло з автономним живленням. Будівлю цеху оснащено автоматичною пожежною сигналізацією за ДБН В.2.5–56:2014 [50] з димотепловими сповіщувачами.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3 ОХОРОНИ ПРАЦІ

У процесі розроблення технології виготовлення сталевих резервуарів було виконано аналіз умов праці та визначено основні шкідливі й небезпечні виробничі фактори, що виникають у цеху. До них належать електробезпека, пожежна безпека, зварювальне випромінювання та аерозолі і гази, шум, ризики пов'язані з травмуванням та роботою на висоті і у обмеженому просторі.

На основі проведеного аналізу запропоновано комплекс інженерних рішень, спрямованих на зниження впливу зазначених факторів. Передбачено використання місцевої та загальної вентиляції, застосування механізованого та автоматизованого зварювання (MIG та SAW), що зменшує тривалість контакту працівників із небезпечними зонами, а також використання закритих ізольованих технологічних процесів, таких як дробеструминна обробка, встановлення датчиків для контролю газів.

Для забезпечення безпеки виробничого обладнання передбачено застосування захисних огорожень, блокувальних пристроїв, аварійної зупинки та засобів механізації переміщення заготовок на листоправильному верстаті, гільйотині, вальцювальному верстаті тощо.

Приділено увагу організації робіт у резервуарі, де встановлено вимоги щодо примусової вентиляції, контролю повітряного середовища та постійного нагляду за працівником, використанню безпечного живлення обладнання.

Частина ризиків компенсується застосуванням засобів індивідуального захисту, зварювальних масок зі світлофільтрами, спецодягу, рукавиць, засобів захисту органів слуху та дихання. Вибір світлофільтрів здійснено згідно до інтенсивності зварювальних процесів та вимог ДСТУ EN 169:2017[37].

Запропоновані інженерні, організаційні та санітарно-технічні рішення забезпечують зниження рівня професійних ризиків, підвищують безпеку технологічного процесу виготовлення резервуара.

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118

ВИСНОВКИ

У межах дипломного проекту було розроблено технологію виготовлення резервуара діаметром 1,4 м та довжиною 4,5 м, яка враховує як технічні вимоги до конструкції, так і умови її дрібносерійного виробництва. Робота охопила всі ключові аспекти: від вибору матеріалів і обґрунтування методів зварювання до організації виробничого процесу та забезпечення безпеки праці.

Конструкція резервуара проаналізована з урахуванням геометричних особливостей, експлуатаційних навантажень та вимог до герметичності, міцності й довговічності. Визначено доцільність використання сталі P235GH (EN 10028-2) 1.0345, яка забезпечує необхідний рівень зварюваності та надійності конструкції. Зварювальні режими підібрано та обґрунтовано відповідно до нормативних вимог, для основних з'єднань застосовано процеси MIG та SAW, що дозволяє забезпечити стабільну якість швів і повторюваність результатів у серійному виробництві. Увагу приділено кільцевому шву виконання для якого використано автоматичне зварювання під флюсом із застосуванням установки CW-18 Circle Welder та системи центрування, що забезпечує точність складання та рівномірність формування з'єднань. Та повздовжньому шву обичайки з автоматичним зварюванням за допомогою установки LINEARWELD XLS INEX 2100.

Питання безпеки праці розглянуто як невід'ємну частину технологічного процесу. Проаналізовано реальні виробничі умови, в яких працюють зварювальники та оператори, а також визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, включаючи зварювальне випромінювання, шкідливі гази й аерозолі, електробезпеку, шум, ризики травмування та роботу в обмежених просторах. Запропоновано комплекс практичних рішень щодо вентиляції, локального відсмоктування, автоматизації та механізації процесів, а також впровадження систем контролю повітряного середовища. Усі заходи підібрано

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

з урахуванням нормативних вимог, що формує безпечне виробниче середовище без зниження продуктивності.

Розділ економічного обґрунтування підтверджує доцільність запропонованої технології. В умовах серійного виробництва досягнуто зменшення трудомісткості виготовлення виробу, скорочення виробничих площ та оптимізацію чисельності персоналу за рахунок механізації та автоматизації зварювальних процесів. Це забезпечує зниження собівартості продукції та підвищення ефективності використання виробничих ресурсів. Запропонована організація виробництва характеризується більш раціональною структурою витрат і створює запас виробничої потужності для можливого збільшення обсягів випуску.

					<i>ЗВ-21.08.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						120
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сталь P235GH – 1.0345 URL: <https://arma-prof.com.ua/products/stal-p235gh-1-0345/> (дата звернення: 24.05.2026). – Назва з екрана.
2. МАРОЧНИК СТАЛИ И СПЛАВОВ URL: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php (дата звернення: 24.05.2026). – Назва з екрана.
3. ISO/TR 15608:2019. Welding – Guidelines for a metallic materials grouping system. Geneva: International Organization for Standardization, 2019.
4. Технологія та устаткування зварювання плавленням : метод. вказівки до курсової роботи з дисципліни для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» / Бойко В. П., Котик В. Т., Корінець І. П. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 58с. URL: <https://studfile.net/preview/3748068/> (дата звернення: 24.05.2026). – Назва з екрана.
5. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, ТІГ зварювання та променеве зварювання сталей. Чинний від 2015-07-01. – Вид. офіц. – Київ: ДП УкрНДНЦ, 2014. – 13 с.
6. ДСТУ EN ISO 9692-2:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 2. Дугове зварювання сталей під флюсом. Чинний від 2015-07-01. – Вид. офіц. – Київ: ДП УкрНДНЦ, 2014. – 8 с.
7. ДСТУ EN ISO 14341:2022. Витратні матеріали для зварювання. Дротяні електроди та зварні наплавки для дугового зварювання нелегованих та дрібнозернистих сталей в захисному газі. Класифікація (EN ISO 14341:2020, IDT; ISO 14341:2020, IDT). Чинний від 2023-08-01. – Вид. офіц. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 24 с.

					<i>ЗВ-2108.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

8. ДСТУ EN ISO 14175:2014 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання. Чинний від 2016-01-01. – Вид. офіц. – Київ: ДП УкрНДНЦ, 2014. – 9 с.

9. ДСТУ EN ISO 14171:2015 Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні та порошкові й комбінації «дріт електродний флюс» для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація. Чинний від 2016-01-01. Вид. офіц. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2015.- 20 с.

10. ДСТУ EN ISO 14174:2015 Зварювальні матеріали. Флюси для дугового зварювання під флюсом. Класифікація.. Чинний від 2016-01-01. – Вид. офіц. – Київ: ДП УкрНДНЦ, 2015. – 15 с

11. Коринець І. Ф. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Технологія та обладнання зварювання плавленням» для студентів спеціальності «Обладнання та технологія зварювального виробництва» всіх форм навчання : навч. посіб. – Київ : КПІ, 1988. –76 с.

12. Камера абразивоструйного очищення. Гідропневмоабразивне обладнання, загальне від "TWEKO". URL: https://techserviceweko.in.ua/ua/p1536263312-kamera-abrazivostrujnoy-ochistki.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=sp&utm_campaign=Free (дата звернення: 08.06.2026). – Назва з екрана

13. Листоправильная машина Bendmak BPSM 25/35 Робоча довжина 2500 мм. Товщина металу 35 мм. Prom.ua. URL: <https://prom.ua/ua/p1183680546-listopravilnaya-mashina-bendmak.html> (дата звернення: 08.06.2026). – Назва з екрана

14. ДСТУ 8540:2015. Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент. (Проект, перша редакція). Національний стандарт України, 2015. 15 с. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu_8540-2015.pdf (дата звернення: 24.05.2026). – Назва з екрана.

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

15. Гідравлічна гільйотина 12x3200 Cormak. Верстати ЧПК компанії "Станмастер". URL: https://stanmaster.com.ua/ua/p1174984976-gidravlicheskaya-gilotina-12x3200.html?source=merchant_center&srsId=AfmBOoq3X78vFvS40KxJnKAhV-Pox_kTfLoxz_mTjsrefM6HG_dJ4CB6yXI (дата звернення: 08.06.2026). – Назва з екрана

16. Cheap 4x8ft CNC Plasma Metal Plate Cutting Machine. CATEKCNC. URL: https://www.catekcnc.com/products/plasma-cutting-machine/plasma-cutter.html?gad_source=1&gad_campaignid=23867481062&gbraid=0AAAAA9wKX47U8DUivQ4taU8cbxo3Gm1B3&gclid=CjwKCAjwidXQBhAZEiwA4egw6BL_imgRKONPFcJ4uZcoz3XQNOH397VO5HFnlzHZOWa8H4FpQR4kxoCyYYQAvD_BwE (дата звернення: 08.06.2026). – Назва з екрана

17. Кран-балка опорна 5 т URL: <https://triumf-v.com.ua/uk/kran-balki/kran-balka-3t-opornaya.html> (дата звернення: 24.03.2026). – Назва з екрана.

18. Фланцева машину Bermet Makina BM FM 8. HYDROLIDER - гідравлічне обладнання, промислове та будівельне, спецтехніка. URL: <https://hydrolider.com.ua/ua/p1349385156-flantsevaya-mashina-bermet.html> (дата звернення: 08.06.2026). – Назва з екрана

19. Гідравлічний вальцювальний верстат BENDMAK CY3R-HHS 190-20/8.0 – Liag Maschinen. URL: <https://liag.com.ua/product/gidravlichnyj-valczyuvalnyj-verstat-bendmak-cy3r-hhs-190-20-8-0/> (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана

20. Зварювальний верстат для повздовжніх швів Schnelldorfer LINEARWELD XLS INEX 2100 – Liag Maschinen. URL: <https://liag.com.ua/product/zvaryuvalnyj-verstat-dlya-povzdovzhnih-shviv-schnelldorfer-linearweld-xls-inex-2100/> (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана

21. AG 230-24D Кутошліфувальна машина URL: https://www.hilti.ua/c/CLS_POWER_TOOLS_7125/CLS_GRINDERS_SANDER

S_7125/r6118333?itemCode=2148676&salespackquantity=1&activeTab=preconfigured-kits-tabs – Назва з екрану(дата звернення: 24.05.2026) – Назва з екрана

22. Самоцентрувальний зварювальний обертач серії HGZ-5 макс. навантаження 5 тонн URL: <https://prom.ua/ua/p525121946-samotsentriruyuschijsya-svarochnyj-vraschatel.html> (дата звернення: 26.05.2026). – Назва з екрана

23. Double Chain Clamp | External Clamp | *Sawyer Mfg. Company*. URL: <https://sawyermfg.com/equipment/double-chain-clamp/> (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана

24. JET Стрічкова пила по металу JET HBS-1321VS 414471T. Інтернет магазин instrumenti.com.ua. URL: https://instrumenti.com.ua/verstaty/derevoobrabotka/strichkovi-pylky/lentochnaia-pila-po-metallu-jet-hbs-1321vs-414471t.html?gclid=Cj0KCQjwj47OBhCmARIsAF5wUEGZyPbZz0eBwgEPp1S254DQklw_c2diXzTZ4mq0dmlsHgRDzNozod4aApgQEALw_wcB (дата звернення: 25.05.2026). – Назва з екрана

25. JLG Power Towers NANO | Vertical lift Rental | 4.5 m Vertical lift for rent. *Manlift – Corporate*. URL: <https://www.manliftgroup.com/en/rental/aerial-work-platforms/vertical-lifts/low-level-access-4-5m-manual-jlg-power-towers-nano/> (дата звернення: 24.05.2026). – Назва з екрана.

26. CW-18 | Circle Welder | Bug-O Systems. *Bug-O Systems*. URL: <https://bugo.com/cw-18/> (дата звернення: 24.05.2026). – Назва з екрана.

27. Напівавтомат зварювальний Welding Dragon MIG-200 S4 PRO / Зварювальний інвертор для MIG/MAG, MMA, TIG. *Інтернет-магазин "Welding Dragon"*. URL: <https://weldingdragon.ua/ua/p2741072931-poluavtomat-svarochnyj-welding.html> (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

28. INSTRUCTIONS AND PARTS MANUAL CW-18 CIRCLE WELDER.2024.41 стор.URL: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://bugo.com/wp-](https://bugo.com/wp-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/)

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

content/uploads/bsk-pdf-manager/2024/12/CW-18_IPM_12_24.pdf (дата звернення: 24.05.2026). – Назва з екрана.

29. Виробництво зварних конструкцій – 3. Засоби механізації зварювального виробництва : метод. вказівки до практ. занять з кредитного модулю навчальної дисципліни «Виробництво зварних конструкцій», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / В. В. Лисак. Київ : «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. 110 с.

30. Гаєвський В. О. Технологічне проєктування виробничих площ : електронні метод. вказівки до практич. занять, домаш. контрол. та самост. роботи з кредит. модулю для студ. спец. 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / В. О. Гаєвський. Київ, 2017. 37 с.

31. Розробка стартап проєкту: методичні рекомендації до написання економічної частини дипломної роботи : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра денної форми навчання за ОПП спеціальності галузі знань / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Глущенко Я. І. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 18 с.

32. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін. Київ : Основа, 2019. 472 с.

33. Основи охорони праці : підручник. / К. Н. Ткачук та ін. 2-ге вид. Київ : Основа, 2006. 448 с

34. ДСН 3.3.6.042–99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999–12–01]. Вид. офіц. Київ : МОЗ, 1999. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=14283 (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

35. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Чинний від 1999–12–01]. Вид. офіц. Київ : МОЗ, 1999. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48147 (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		125

36. ДСТУ EN ISO 11611:2015. Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів. [Чинний від 2017-10-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71626 (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

37. ДСТУ EN 169:2017. Засоби захисту очей. Світлофільтри

38. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47119 (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

39. ДСТУ 2456–94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. Київ : Держстандарт України, 1995. 18 с.

40. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154 (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

41. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (рос). БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644 (дата звернення: 10.06.2026). – Назва з екрана.

42. ДНАОП 0.00–1.32–01. Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок. Київ : Мінпраці України, 2001. 72 с.

43. НПАОП 0.00-1.71-13 Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58767 (дата звернення: 10.06.2026). – Назва з екрана.

44. ДСТУ EN 420:2001. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги до рукавиць. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 14 с.

					ЗВ-2108.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		126

45. ДСТУ EN 175:1997. Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювання. Київ : Держстандарт України, 1997. 11 с.

46. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68456 (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

47. ДСТУ EN 3–7:2004. Вогнегасники переносні. Ч. 7. Характеристики, вимоги до експлуатаційної придатності та методи випробувань. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2005. 36 с.

48. Розділ з охорони праці в дипломних роботах: Рекомендації до виконання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» (Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій) / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. Г. Левченко. – Електронні текстові дані (1 файл: 98 Кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 29 с. – Назва з екрана.

49. ДСТУ ISO 23601:2019 Ідентифікація безпечності. Знаки на планах евакуації (ISO 23601:2009, IDT). БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83262 (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

50. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. Зі Зміною № 1. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59526 (дата звернення: 09.06.2026). – Назва з екрана.

ДОДАТКИ

					ЗВ-21.08.00.000 ПЗ	Арк.
						128
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]