

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

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання
імені Є.О. Патона**

Кафедра зварювального виробництва

«На правах рукопису»
УДК 621.791

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

(підпис) Віктор КВАСНИЦЬКИЙ
«___» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»
на тему:
«Технологія складання та зварювання П – подібного рамного риштування»**

Виконав:

студент II курсу, групи НЗ-41мп
Антоненков Артемій Олексійович

Керівник:

Доцент, к. т. н., ст. викл.
Перепічай Андрій Олександрович

Консультант з охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

Зав.каф., д.т.н., професор,
Левченко Олег Григорович

Консультант з розроблення стартап-проєкту:

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

Рецензент:

Доцент, к. т. н.,
Лук'яненко Іван Віталійович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 року

**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 – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Антоненкову Артемію Олексійовичу

1. Тема дисертації «Технологія складання та зварювання П – подібного рамного
риштування»

науковий керівник Перепічай Андрій Олександрович, к.т.н., ст. викл.,
затверджені наказом по університету від «03 » 11 2025 р. № 4748-с.

2. Термін подання студентом дисертації 15 грудня 2025 р.

3. Об'єкт дослідження - технологічний процес складання та зварювання П –
подібного рамного риштування.

4. Вихідні дані: креслення загального виду П – подібного рамного риштування;
матеріал зварного виробу – S23JR; умови виготовлення – цехові; температура
експлуатації – від -30 °С до +50 °С; тип виробництва – серійне; кількість
виготовлення – 2000 одиниць на рік.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Виконати конструктивно-технологічний аналіз зварного виробу; охарактеризувати призначення, технічні вимоги, структуру виробу та умови експлуатації; надати характеристику зварних з'єднань і основного матеріалу; врахувати умови виготовлення і обґрунтовано призначити спосіб зварювання плавленням; виконати вибір розкриття крайок зварних з'єднань; розрахувати параметри режиму зварювання; обґрунтувати вибір зварювальних матеріалів; вибрати зварювальне устаткування загального призначення. 2. Розробити технологічний процес виготовлення зварного виробу на основі визначення вихідних даних для проєктування технологічних процесів виготовлення зварного виробу: визначити тип зварної конструкції; порівняти базовий із запропонованим власним варіантами розчленування зварної конструкції на складальні одиниці та деталі; розробити технологічні процеси виготовлення заготовок і деталей зварного виробу; визначити базовий і власний варіанти складально-зварювальних технологічних процесів виготовлення зварного виробу; обґрунтувати вибір раціонального варіанту технологічного процесу виготовлення зварного виробу; виконати оформлення документації робочого технологічного процесу складання-зварювання заданого виробу; призначити спосіб контролю якості зварних з'єднань. 3. Розробити засоби технологічного спорядження складально-зварювальних технологічних процесів виготовлення зварного виробу на основі вихідних даних для розроблення засобів технологічного спорядження; адаптувати конструкцію складально-зварювального оснащення; розробити і вибрати конструкцію засобів механізації та автоматизації; виконати компонування зварювальної установки. 4. Розробити і спланувати виробничу дільницю складання-зварювання: визначення вихідних даних для розроблення і планування дільниці; розробити раціональний варіант розміщення засобів технологічного спорядження; спроектувати план виробничої дільниці. Сформулювати загальні висновки до технологічного розділу проєкту. 5. Виконати розробку стартап-проєкту для впровадження розробленої технології складання-зварювання виробу. 6. Проаналізувати небезпечні фактори і розробити заходи з охорони праці на виробництві.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

1. Креслення П – подібного рамного риштування, вид загальний (A1x1);
2. Схема технологічного процесу виготовлення П – подібного рамного риштування (A1x1);
3. Схема базування для складання під зварювання П – подібного рамного риштування (A1x1);
4. Креслення установки для зварювання П – подібного рамного риштування (A1x1);
5. Пристосування та оснастка для зварювання П – подібного рамного риштування (A1x1);
6. Технологічна послідовність складання-зварювання П – подібного рамного риштування (3D плакат) (A1x1);
7. Креслення плану дільниці цеху для виготовлення П – подібного рамного риштування (A1x1).

7. Орієнтовний перелік публікацій: не передбачено індивідуальним планом навчання.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проєкту	Нараєвський С.В., к.е.н., доц.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г., зав. каф.		

9. Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Систематизація і обробка матеріалів для включення до пояснювальної записки.	05 листопада 2025 р.	
2	Розробка проєктної частини	20 листопада 2025 р.	
3	Збір додаткових матеріалів, детальна розробка і обґрунтування проєктних рішень	26 листопада 2025 р.	
4	Оформлення графічного матеріалу	01 грудня 2025 р.	
5	Літературна обробка і остаточне оформлення пояснювальної записки	05 грудня 2025 р.	

Студент _____

Артемій АНТОНЕНКОВ

Науковий керівник _____

Андрій ПЕРЕПЧАЙ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 96 сторінок, 21 рисуноків, 34 таблиць, 69 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, БУДІВЕЛЬНЕ РИШТУВАННЯ, ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ, КАНТУВАЧ, ЛАЗЕРНЕ РІЗАННЯ, МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, РОБОТИЗОВАНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єктом розроблення є технологічний процес виготовлення П-подібного рамного риштування в умовах серійного виробництва. Ціль роботи полягає у створенні автоматизованої технології та спеціалізованого оснащення для забезпечення стабільної якості з'єднань і високої продуктивності. Методи дослідження охоплюють конструктивно-технологічний аналіз, розрахунково-аналітичне визначення режимів зварювання, САД-проектування складально-зварювального оснащення та техніко-економічне обґрунтування стартап-проекту.

Наукова новизна та практичні результати полягають у впровадженні інтегрованої лінії лазерного розкрою труб і роботизованого MAG-зварювання з використанням спеціально розробленого кантувача на базі швидких затискачів. Завдяки використанню РТК FANUC ARC Mate 100iD забезпечено точність розмірів рами до $\pm 0,5$ мм, 100% повторюваність якості швів та продуктивність до 240 виробів за зміну. Оптимізовані режими зварювання сталі S235JR дозволили мінімізувати термічні деформації конструкції.

Сфера застосування результатів — підприємства з виготовлення будівельних металоконструкцій. Впровадження автоматизації знижує собівартість продукції та підвищує безпеку висотних робіт завдяки гарантованій міцності елементів. Розрахункова рентабельність стартап-проекту «СІВА-1» становить від 25 % до 30 %. Технологія є технічно здійсненою та економічно доцільною, а подальший розвиток об'єкта рекомендовано у напрямку впровадження систем адаптивного керування.

ABSTRACT

Master's thesis: 96 pages, 21 figures, 34 tables, 69 sources of reference.

ARC WELDING, AUTOMATION, LASER CUTTING, MASTER'S THESIS, OCCUPATIONAL SAFETY, POSITIONER, ROBOTIC WELDING SYSTEM, SCAFFOLDING, TECHNOLOGICAL PROCESS.

The object of this study is the technological process for manufacturing P-shaped frame scaffolding in mass production. The goal of the work is to develop an automated technology and specialized equipment to ensure stable joint quality and high productivity. Research methods include constructive-technological analysis, analytical determination of welding modes, CAD design of assembly-welding equipment, and technical-economic substantiation of the startup project.

The scientific novelty and practical results lie in the implementation of an integrated line for laser tube cutting and robotic MAG welding (process 135) using a specially designed positioner based on toggle clamps. The application of the FANUC ARC Mate 100iD robotic system ensures a frame dimensional accuracy of ± 0.5 mm, 100% quality repeatability, and a productivity of up to 240 items per shift. Optimized welding modes for S235JR steel have minimized the thermal deformations of the structure.

The scope of the results covers enterprises manufacturing building metal structures. The implementation of automation reduces production costs and enhances the safety of high-altitude work due to the guaranteed strength of the elements. The estimated profitability of the "SIVA-1" startup project is 25–30%. The technology is technically feasible and economically expedient, with further development recommended in the direction of implementing adaptive control systems.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	9
ВСТУП.....	11
1 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ	13
1.1 Конструктивно-технологічний аналіз зварного виробу	13
1.1.1 Характеристики основного металу	14
1.1.2 Характеристики зварних з'єднань	17
1.1.3 Умови виготовлення	19
1.2 Вибір способу зварювання	20
1.3 Вибір розкриття крайок зварних з'єднань	22
1.4 Вибір режиму зварювання.....	23
1.5 Вибір зварних матеріалів.....	24
1.5.1 Вибір захистного газу	25
1.5.2 Вибір зварювального дроту	27
1.6 Вибір зварювального устаткування.....	28
2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ	33
2.1 Визначення вихідних даних для проектування технологічних процесів виготовлення зварного виробу	33
2.1.1 Технічні умови на зварний виріб	34
2.2 Визначення типу зварної конструкції	34
2.3 Розчленування зварної конструкції виробу на складальні одиниці та деталі	35
2.4 Розроблення технологічних процесів виготовлення заготовок і деталей зварного виробу	35

					<i>НЗ-4 1мп.01.00.000 ПЗ</i>		
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Антоненко А. О.			<i>Технологія складання і зварювання П-подібного рамного риштування</i>	Лит.	Арк.
Перевір.		Перепічай А. О.				6	93
						КПІ ім. І. Сікарського	
Н. контр.		Лисак В.В.				НН ІМЗ ім. Е.О.Патона	
Затверд.		Квасницький В.В.					

2.5	Розроблення технологічного процесу складання-зварювання конструкції виробу	36
2.5.1	Розроблення складу, послідовності та змісту складально-зварювальних та інших операцій.....	36
2.5.2	Засоби технологічного спорядження.....	37
2.5.3	Призначення кадрового забезпечення виконання технологічного процесу	37
2.5.4	Технічне нормування операцій технологічного процесу складання-зварювання зварного виробу	38
2.6	Контроль якості зварних з'єднань.....	40
2.6.1	Обґрунтування призначення способу контролю	40
3	РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СПОРЯДЖЕННЯ СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ.....	42
3.1	Обґрунтування необхідності розробки складально-зварювального оснащення	42
3.2	Проектування складально-зварювального оснащення.....	44
3.2.1	Технічне завдання на проектування складально-зварювального оснащення	45
3.2.2	Вибір технологічних баз та розробка схеми базування.....	48
3.3	Конструктивні елементи складально-зварювального оснащення.....	49
3.4	Виконання перевірочних розрахунків засобів технологічного спорядження	52
4	СКЛАДАННЯ ПЛАНУВАНЬ ВИРОБНИЧИХ ДІЛЬНИЦЬ І МАРШРУТІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВИРОБІВ	55
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
5.1	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)	58
5.1.1	Фізичні фактори	60
5.1.2	Випромінювання	61

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1.3	Шум та вібрація.....	62
5.1.4	Електронбезпека	62
5.1.5	Хімічні фактори.....	63
5.2	Інженерні рішення для забезпечення безпеки обладнання.....	64
5.2.1	Огородження та блокування.....	65
5.2.2	Вентиляція	66
5.2.3	Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	67
5.2.4	Електробезпека	71
5.3	Розрахунок інженерного рішення	71
5.4	Безпека в надзвичайних ситуаціях	73
5.4.1	Пожежна безпека	73
5.4.2	Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	74
5.4.3	Надзвичайні ситуації.....	74
6	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	77
6.1	Опис ідеї проекту	77
6.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	78
6.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	79
6.4	Розроблення ринкової стратегії проекту	84
6.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	86
	Висновки	88
	ВИСНОВКИ.....	89
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	90
	ДОДАТКИ	96

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

Ar – аргон;

CO₂ – вуглекислий газ;

B2B (Business-to-Business) – модель комерційної взаємодії «бізнес для бізнесу»;

ISO (International Organization for Standardization) – Міжнародна організація зі стандартизації;

MAG (Metal Active Gas) – дугове зварювання плавким електродом в активних газах (процес 135);

SWOT – аналіз сильних і слабких сторін, можливостей та загроз;

VT (Visual Testing) – візуальний та вимірювальний контроль (згідно з ISO 17637);

ГДК – гранично допустима концентрація;

ДБН – державні будівельні норми;

ДСН – державні санітарні норми;

ДСТУ – державний стандарт України;

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;

ІЧ – інфрачервоне (випромінювання);

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці;

НС – надзвичайна ситуація;

ПДВ – податок на додану вартість;

ПУЕ – правила улаштування електроустановок;

РТК – роботизований технологічний комплекс;

УФ – ультрафіолетове (випромінювання);

ЧПК – числове програмне керування;

ШНВФ – шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одиниці вимірювання:

дБА – децибел акустичний (рівень шуму);

Дж – джоуль (енергія удару);

кгс/м² – кілограм-сила на квадратний метр (навантаження);

л/хв – літрів за хвилину (витрата газу);

мкм – мікрометр (товщина покриття);

см/хв – сантиметрів за хвилину (швидкість зварювання).

Умовні позначення фізичних величин та параметрів:

F_n – площа поперечного перерізу наплавленого металу, см²;

HCS – коефіцієнт схильності металу до утворення гарячих тріщин;

K – катет зварного шва, мм;

$L_{шв}$ – сумарна довжина зварних швів на виробі, мм;

$M_{др}$ – норма витрати зварювального дроту на виріб, кг;

M_n – маса наплавленого металу, г;

n – кількість окремих зварних швів (або кількість деталей), шт;

q_r – питома витрата захисного газу, л/хв;

$Q_{заг}$ – загальна норма витрати захисного газу на виріб, л;

$t_{осн}$ – основний (технологічний) час зварювання, хв;

$t_{дод}$ – додатковий час (продувка газу, підготовчі операції), хв;

$T_{заг}$ – загальний час циклу або витрати ресурсу, хв;

$V_{зв}$ – швидкість переміщення зварювального пальника, м/хв (см/хв);

ρ – густина металу (сталі), г/см³;

μ – коефіцієнт технологічних втрат зварювальних матеріалів;

ψ_n – коефіцієнт форми проплавлення зварного шва.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	10

ВСТУП

Сучасне будівельне виробництво, особливо у сегменті швидкісного відновлення та реконструкції, є високотехнологічною, ресурсоемною і динамічною галуззю, що має стратегічне значення для економіки країни. Критична потреба у масовому та оперативному відновленні значної кількості пошкоджених об'єктів інфраструктури, житлового та промислового фонду робить рамне будівельне риштування незамінним елементом. Воно забезпечує оперативний та безпечний доступ до верхніх ярусів споруд, створюючи надійну робочу платформу для виконання різних видів робіт². Якість і надійність таких конструкцій безпосередньо залежать від точності виготовлення та ефективності зварних з'єднань, які мають бути стійкими до високих навантажень і мінімізувати ризик виробничого травматизму.

Зварювання є економічно найдоцільнішим та високопродуктивним процесом у машинобудуванні та металообробці. Для серійного виробництва П-подібного рамного риштування використання зварювання значно спрощує, здешевлює та прискорює процес. З огляду на необхідність масового виготовлення виробів, найбільш актуальним стає впровадження автоматизованого дугового зварювання.

Ця технологія дозволяє максимізувати продуктивність та забезпечити стабільну якість швів, що критично важливо для відповідальних конструкцій. Пропонований технологічний процес базується на використанні двох зварювальних роботів, розташованих по обидва боки від риштування, яке надійно фіксується на зварювальному столі. Такий підхід забезпечує високошвидкісне та точне зварювання трубчастих елементів, мінімізуючи деформації.

Метою даної магістерської роботи є набуття необхідних інженерних навичок та використання набутих знань для розробки комплексної технології автоматизованого виготовлення П-подібного рамного риштування в умовах серійного виробництва. Робота передбачає відповідність технічним умовам та

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання передових досягнень зварювальної інженерії, з мінімальними витратами ресурсів.

У ході дослідження буде проведено всебічний конструктивно-технологічний аналіз виробу, розроблено оптимальні режими автоматизованого зварювання та спроектовано виробничі ділянки.

Кінцевим результатом проведеної роботи є проєкт технології автоматизованого виробництва зварного П-подібного рамного риштування.

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

1.1 Конструктивно-технологічний аналіз зварного виробу

П-подібне рамне риштування (надалі зварний виріб) є ключовою металевою конструкцією для тимчасового доступу у будівельній сфері. Воно слугує як стійка робоча платформа, що забезпечує оперативний доступ персоналу та матеріалів до верхніх ярусів будівельних споруд для виконання монтажних, оздоблювальних чи відновлювальних робіт. Дана система є незамінною в умовах активного відновлення інфраструктури та житлового фонду, що вимагає швидкого розгортання конструкцій для висотних операцій.

Зварний виріб являє собою просторовий трубчастий каркас П-подібної форми, посилений ребрами жорсткості для забезпечення загальної стійкості конструкції. Додатково в конструкції передбачені спеціальні замкові механізми для кріплення хрестовин та бортовані стопорні елементи для точного вертикального позиціонування наступних ярусів риштування.

Загальний вигляд конструкції представлено на рис. 1.1.

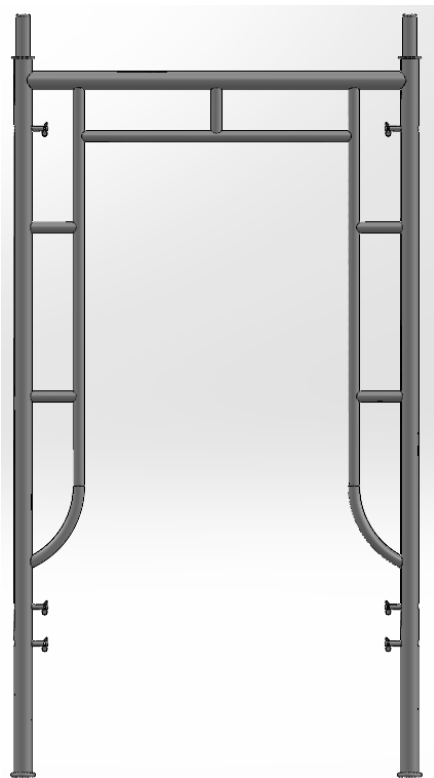


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд конструкції

					Арк. 13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Матеріалом для виробництва конструкції обрано сталь S235JR згідно з EN 10025-2. Виріб складається з трубчастих елементів різного діаметру та товщини стінки.

Зварна конструкція складається з наступних ключових елементів:

1. Колона - Труба діаметром 42,4 мм, товщина 2 мм, Довжина 1700 мм, Вага - 3.4 кг. Кількість – 2 шт;
2. Ригель колони - Труба діаметром 42,4 мм, товщина 2 мм, Довжина 896 мм, Вага - 1.7 кг. Кількість – 1 шт;
3. Укос ребра жорсткості - Труба діаметром 26,9 мм, товщина 1,6 мм, Довжина 108 мм, Вага - 0.101 кг. Кількість – 5 шт;
4. Поперечина ребер жорсткості - Труба діаметром 26,9 мм, товщина 1,6 мм, Довжина 114 мм, Вага - 0.624 кг. Кількість – 1 шт;
5. Основа ребра жорсткості - Труба діаметром 26,9 мм, товщина 1,6 мм, Довжина 108 мм, Вага 1.152 кг. Кількість – 2 шт;
6. Фіксатор - Труба діаметром 1,2 мм, Довжина 80 мм, Вага - 0.065 кг. Кількість – 2 шт;
7. П'ята – Кільце діаметром 58 мм, товщина 10 мм, Вага - 0.005 кг. Кількість – 2 шт.

Конструкція риштування призначена для експлуатації в умовах будівельних майданчиків, що передбачає вплив різноманітних атмосферних чинників, включно з перепадами температур, підвищеною вологістю та впливом опадів. Оскільки виріб використовується для зовнішніх фасадних робіт та внутрішніх оздоблювальних процесів, він повинен демонструвати високу статичну стійкість та захищеність у важких виробничих умовах.

1.1.1 Характеристики основного металу

Основним матеріалом, що застосовується для виробництва конструкції П-подібного рамного риштування, є поширений конструкційний матеріал сталь

					Арк. 14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

S235JR (марка 1.0038). Ця сталь виготовляється відповідно до стандарту EN 10025-2. Елементи конструкції виробляються з труб з товщиною стінки 1,6 мм та 2 мм.

Хімічний склад сталі S235JR класифікує її як низьковуглецеву сталь звичайної якості. Це підтверджується низьким вмістом вуглецю (менше 0,24%). Відсутність значної кількості легуючих елементів (таких як Al, Ti та інші, що мають високу хімічну активність) позитивно впливає на зварюваність.

Детальний хімічний склад сталі S235JR наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі S235JR

Марка сталі	Вміст хімічних елементів, %				
	C	Mn	Si	P	S
				не більше	
Сталь S235JR	від 0,14 до 0,22	від 0,40 до 0,65	від 0,12 до 0,30	0,04	0,2

Зварюваність даної сталі оцінюється розрахунковим методом згідно з [37].

1.1.1.1 Схильність до утворення гарячих тріщин

Тріщини утворюються при:

$$T_{\text{кристалізації}} = T_{\text{ліквідус}} \dots T_{\text{солідус}}, \quad (1.1)$$

Під час формування легкоплавкої евтектики FeS ($T_{\text{пл. FeS}} < T_{\text{пл. сталі}}$) з'являються тонкі рідкі прошарки (рис. 1.3), що можуть спричинити виникнення гарячих тріщин.

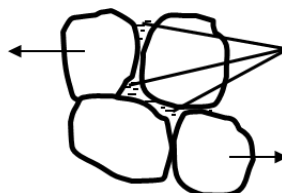


Рисунок 1.2 – Рідкі прошарки при утворенні легкоплавкої евтектики FeS

Щоб уникнути цього явища, у сталь додають марганець (Mn), який реагує із сіркою (S) та утворює більш тугоплавкий сульфід:



Унаслідок цього рідкі прошарки не формуються.

Для низьковуглецевих сталей із підвищеним вмістом вуглецю (понад 0,20 %) при виконанні кутових або корневих швів, особливо за наявності збільшеного зазору, може спостерігатися утворення гарячих тріщин (рис. 1.4). Це пояснюється вузькою та глибокою формою проплавлення, що характеризується коефіцієнтом форми:

$$\psi_{\pi} = \frac{e}{h} = 0.8 \dots 1.2 \quad (1.3)$$



Рисунок 1.3 – Утворення гарячих тріщин

Щоб запобігти їх появі, необхідно, щоб коефіцієнт форми проплавлення мав значення:

$$\psi_{\pi} \geq 1.3 \quad (1.4)$$

Оцінюємо схильність металу шва до виникнення гарячих тріщин у разі найгіршого поєднання легуючих елементів та домішок за формулою:

$$HCS = C \cdot \frac{S + P + 0.04 \cdot Si + 0.01 \cdot Ni}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V}, \quad (1.5)$$

$$HCS = 0.14 \cdot \frac{0.05 + 0.04 + 0.01 \cdot 0.3}{3 \cdot 0.4 + 0.3} = 0.00093 \quad (1.6)$$

Оскільки $HCS = 0.00093 \leq 0.004$, то метал не має схильності до утворення гарячих тріщин.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					16

1.1.1.2 Схильність до утворення холодних тріщин

Далі перевіряємо, наскільки основний метал спроможний утворювати холодні тріщини при максимально можливому вмісті легуючих домішок та елементів. Для цього використовуємо формулу:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} = 0.22 + \frac{0.65}{6} = 0.328, \quad (1.7)$$

Отже, при вмісті у сталі S235JR легуючих елементів і домішок на верхній межі значення $C_{\text{екв}} = 0.328$, що не перевищує допустимого діапазону від 0.40 до 0.45. У цьому випадку утворення холодних тріщин малоймовірне.

Разом із тим, у виробничих умовах необхідно контролювати хімічний склад сталі для відповідності сертифікаційним даним.

Загалом сталь S235JR можна віднести до добре зварюваних матеріалів, які містять невелику кількість легуючих домішок.

У довіднику [4] наведено механічні характеристики сталі S235JR для труб товщиною 1,6 мм і 2 мм (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Механічні властивості вуглецевих якісних конструкційних сталей.

Марка сталі	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ² (не менше)	Відносне подовження δ_5 , %	Ударна в'язкість a_n , кГм/см ²
Сталь S235JR	334	225	24	—

1.1.2 Характеристики зварних з'єднань

Конструкція П-подібного рамного риштування містить зварні з'єднання, які є критично важливими для забезпечення просторової жорсткості та стійкості виробу при експлуатації під статичними та динамічними навантаженнями. Всі з'єднання у конструкції класифікуються як відповідальні.

					Арк. 17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Усі зварні з'єднання, які формують каркас риштування, належать до одного типу – таврове з'єднання. Цей тип є типовим для зварних конструкцій, зібраних із трубчастих профілів, де елементи з'єднуються під кутом. Кожен зварний шов має криволінійну форму.

Зварювальні роботи виконуються на матеріалах, товщина стінки яких варіюється від 1,6 мм до 2 мм. Згідно з вимогами стандарту ISO 9692, при товщині металу, що зварюється, менше або дорівнює 2 мм, підготовка кромки не вимагається. Тавровий шов виконується без скосу крайок. Ключовим геометричним параметром, що визначає міцність та площу зварного шва, є його катет.

Загальна протяжність зварних швів у виробі становить $L_{\text{шв}} = 215,28$ мм. Всі шви та їх характеристики детально перераховані у таблиці 1.3. Всі зварні зони мають необмежений доступ, що є сприятливим фактором для застосування автоматизованого процесу зварювання.

Таблиця 1.3 – Зварні шви виробу

№ шва	Тип з'єднань	Товщина металу, мм	Протяжність, мм	Кількість швів	Тип шва	Доступність
1	ДСТУ EN ISO 4063:2022 - 135 / ДСТУ EN ISO 5817:2016 - C / ISO 6947 - PB;	2	28,72	2	К	БО
2	ДСТУ EN ISO 4063:2022 - 135 / ДСТУ EN ISO 5817:2016 - C / ISO 6947 - PB;	1,6	63	7	К	БО
3	ДСТУ EN ISO 4063:2022 - 135 / ДСТУ EN ISO 5817:2016 - C / ISO 6947 - PB;	від 1,6 до 2	78,2	9	К	БО
4	ДСТУ EN ISO 4063:2022 - 135 / ДСТУ EN ISO 5817:2016 - C / ISO 6947 - PB;	2	45,36	12	К	БО

Примітка: К - криволінійний; БО - без обмежень.

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Криволінійна форма швів при значній кількості з'єднань підтверджує раціональність вибору автоматизованого дугового зварювання плавким електродом в активному газі (MAG 135). Використання роботів дозволяє точно виконувати криволінійні траєкторії та забезпечувати стабільне формування зварного валика.

Оскільки всі шви доступні для зварювання без обмежень, їхнє виконання може здійснюватися в оптимальному нижньому положенні, що підвищує продуктивність та якість.

1.1.3 Умови виготовлення

Зварний виріб виготовляється серійно в заводських умовах. Планований обсяг виробництва становить значну кількість одиниць на рік, що обумовлено високим попитом на відновлювальні роботи.

Серійний характер виробництва та наявність у конструкції великої кількості однотипних коротких швів робить економічно та технічно доцільним впровадження автоматизації процесу. Зварювання виконується із застосуванням двох промислових роботів, розташованих по обидва боки від зварювального столу, що дозволяє мінімізувати час циклу та забезпечити стабільну якість з'єднань.

Габаритні розміри основної рами конструкції становлять (ВхШ) 1700 мм х 980 мм. Вага готового виробу становить близько 8,5 кг. Такі масогабаритні показники вимагають використання спеціалізованого складально-зварювального оснащення (кондукторів) для точного базування та фіксації трубчастих елементів на робочому столі перед початком роботизованого зварювання. Для міжопераційного транспортування партій виробів доцільне використання візків або легких підйомних механізмів.

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Вибір способу зварювання

У попередніх розділах було здійснено конструктивно-технологічний аналіз виробу та підготовлено вихідну інформацію для даного етапу розроблення технології зварювання і визначення методів зварювання плавленням.

Встановлено, що матеріали виробу належать до категорії вуглецевих сталей стандартної якості, які характеризуються хорошою зварюваністю. Для даної категорії сталей, згідно з рекомендаціями [5], пропонуються типові методи зварювання, наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Типові способи зварювання

Е	УП	ІП	Ф	Ш	Г	ІН	П	ЕП	Л
++	++	(+)	++	++	++	(+)	+	–	–

Примітка: "++" – рекомендується переважно; "+" – рекомендується; "–" не рекомендується.

Для обраного матеріалу із запропонованих методів придатні всі, окрім електронно-променевого (ЕП) та лазерного (Л), оскільки вони є недоцільними для даного матеріалу та характеризуються високою вартістю. Найбільша перевага надається таким методам: ручне дугове зварювання (Е), механізоване та автоматизоване в CO_2 (УП), автоматичне під флюсом (Ф), електрошлакове (Ш), газове (Г). Саме вони залишаються для подальшого розгляду.

Оскільки обрана сталь не містить легувальних елементів Al, Ti та інших елементів з підвищеною хімічною активністю, з подальшого розгляду виключаємо методи дугового зварювання плавким (ІП) і неплавким (ІН) електродами в дорогих інертних середовищах. Сталь не належить до категорії тугоплавких матеріалів, тому відсутня необхідність застосування методів зварювання з дорогим устаткуванням і високою концентрацією енергії: плазмового (П), електронно-променевого (ЕП) і лазерного (Л).

Таким чином, для подальшого розгляду залишаються методи ручного дугового зварювання (Е), у вуглекислому газі (УП), під флюсом (Ф), електрошлакове (Ш) і газове (Г).

Другим фактором є товщина матеріалу – у наших деталях присутній метал товщиною від 1.6 мм до 2 мм. Проаналізуємо рекомендації щодо діапазонів товщин металу, що зварюються типовими методами зварювання (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Вибір способу зварювання по товщині металу

Кількість проходів	Діапазон товщин металу, що зварюються типовими способами зварювання, мм									
	Плавкий електрод					Неплавкий електрод				
	Е	УП	ІП	Ф	Ш	Г	ІН	П	ЕП	Л
один	від 1 до 4	від 0,8 до 8	від 0,8 до 8	від 2 до 20	від 16 до 500	від 0,2 до 8	від 0,5 до 4	від 0,1 до 12	від 0,01 до 300	від 0,001 до 3
два	6	14	12	40	–	15	6	20	–	–
багато	175	120	120	160	–	–	20	–	–	–

Для даних товщин доцільно застосовувати такі методи зварювання: механізоване та автоматизоване в CO₂ (УП), автоматичне під флюсом (Ф), ці методи забезпечують високу якість шва та є більш продуктивними порівняно з ручним зварюванням покритим електродом (Е). Всі інші методи для таких товщин не застосовуються. Результати аналізу наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати аналізування способів зварювання

Е	УП	ІП	Ф	Ш	Г	ІН	П	ЕП	Л
+	++	-	++	-	-	-	-	–	–

Наступним фактором є просторове положення зварювання. Конструкція зварюється в нижньому положенні, що виключає електрошлакове (Ш) зварювання, яке виконується тільки вертикально.

Оскільки шви доступні, невеликої довжини, а обсяг виробництва значний, виключаємо ручне дугове зварювання (Е) як найменш продуктивний метод, що не задовольняє вимоги. Залишаються два методи: автоматизоване в CO_2 (УП) та автоматичне під флюсом (Ф).

Шви мають криволінійну форму, тому зварювання під флюсом неможливе через зміну просторового положення. Вертикальне положення унеможливило застосування зварювання під флюсом. Тому доцільним є зварювання в CO_2 (УП).

Враховуючи вимоги до якості та відповідальність конструкції, остаточне рішення: 135 – зварювання у вуглекислому газі плавким електродом (УП).

1.3 Вибір розкриття крайок зварних з'єднань

У результаті проведеного конструктивно-технологічного аналізу виробу визначено, що його складові частини з'єднуються шляхом механізованого зварювання в захисному газовому середовищі за процесом 135 MAG відповідно до вимог ДСТУ ISO 4063 [36] у середовищі вуглекислого газу з киснем плавким електродом тавровим з'єднанням (рис. 1.5).

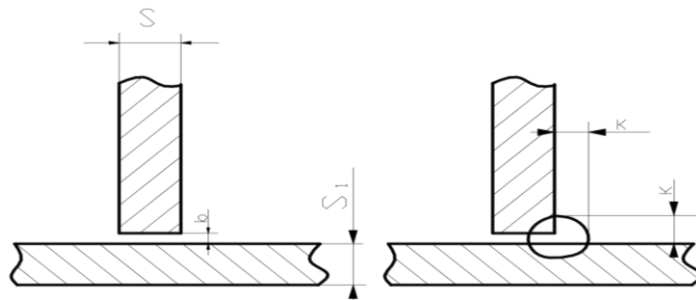


Рисунок 1.4 – Тавровий шов

Відповідно до ISO 9692 [2], при товщині ≤ 2 мм підготовка кромки не потрібна.

					Арк.
					22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

1.4 Вибір режиму зварювання

Вибір оптимальних параметрів режиму зварювання є визначальним етапом проектування технологічного процесу, оскільки від нього безпосередньо залежать стабільність горіння дуги, формування шва, глибина проплавлення та відсутність дефектів [36]. Враховуючи, що конструкція риштування виготовляється з низьковуглецевої сталі S235JR з товщиною стінок труб 1,6 мм та 2,0 мм, головним завданням при виборі режиму є забезпечення якісного провару кореня шва без пропалів основного металу та мінімізація розбризкування, що є критичним для автоматизованого процесу [1].

Зварювання виконується механізованим способом в активних газах (MAG, метод 135) на постійному струмі зворотної полярності (плюс на електроді) [2]. Такий рід струму забезпечує стабільне горіння дуги, менше тепловкладення у виріб порівняно з прямою полярністю та достатню глибину проплавлення [3]. Враховуючи малу товщину металу, процес зварювання реалізується в режимі коротких замикань дугового проміжку. Цей режим характеризується періодичними переходами крапель електродного металу у ванну при безпосередньому контакті, що дозволяє точно дозувати тепловкладення та запобігати деформаціям тонкостінних трубчастих елементів [4].

Як присаджувальний матеріал обрано зварювальний дріт суцільного перерізу марки G3Si1 (аналог Св-08Г2С) діаметром 0,8 мм [37]. Вибір діаметра 0,8 мм є оптимальним для товщин 1,6–2,0 мм, оскільки це забезпечує високу густину струму при порівняно невеликих його значеннях, що сприяє стабільному запалюванню дуги роботом [5]. Для захисту зони зварювання використовується газова суміш на основі аргону (82% Ar + 18% CO₂), яка відповідає групі M21 згідно з ISO 14175 [8]. Використання суміші замість чистого вуглекислого газу дозволяє значно знизити розбризкування металу, покращити формування шва та зменшити необхідність у частому очищенні сопла пальника робота [6].

Розрахункові параметри режиму зварювання для таврових з'єднань трубчастих елементів риштування наведено в таблиці 1.7.

					Арк. 23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 1.7 – Режими автоматизованого зварювання елементів
риштування

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Сила струму Ізв, А	Напруга дуги U_d , В	Швидкість подачі дроту, м/хв	Швидкість зварювання, м/год	Витрата газу, л/хв
1,6	0,8	90 - 100	17,5 - 18,5	6 - 7	30 - 36	10 - 12
2	0,8	100 - 120	18 - 19,5	7 - 8,5	30 - 36	10 - 12

Важливим параметром для роботизованого зварювання є виліт електрода, який встановлюється в межах 10–12 мм. Збільшення вильоту призводить до зростання опору та попереднього підігріву дроту, що знижує стабільність процесу, тоді як занадто малий виліт ускладнює спостереження та захист ванни [7].

Швидкість зварювання, яка становить близько 30 м/год – 36 м/год (0,5 м/хв – 0,6 м/хв), забезпечує необхідну продуктивність серійного виробництва та формування катета шва відповідно до конструкторської документації. Кут нахилу пальника робота програмується таким чином, щоб ділити кут таврового з'єднання навпіл (45°), що гарантує рівномірне сплавлення обох трубчастих деталей [8].

1.5 Вибір зварних матеріалів

Вибір зварювальних матеріалів є одним з найважливіших етапів розробки технологічного процесу, оскільки вони повинні забезпечити отримання зварного з'єднання, яке за своїми механічними властивостями та хімічним складом буде рівноцінним основному металу конструкції, а також гарантувати високу продуктивність автоматизованого процесу. При механізованому зварюванні в

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

активних газах (MAG) якість шва значною мірою залежить від правильного поєднання електродного дроту та захисного газу, які в сукупності визначають характер переносу електродного металу, стабільність горіння дуги та металургійні процеси у зварювальній ванні [9].

Враховуючи, що конструкція риштування виготовляється зі сталі S235JR, яка належить до класу низьковуглецевих конструкційних сталей, зварювальні матеріали підбираються з урахуванням необхідності розкислення ванни та забезпечення стійкості проти утворення пор і тріщин. Для реалізації процесу з використанням роботизованого комплексу додатковою вимогою є мінімальне розбризкування металу, що досягається раціональним вибором складу захисної газової суміші [4].

1.5.1 Вибір захисного газу

Для забезпечення надійного захисту зварювальної ванни від окислення та азотування, а також для стабільного горіння дуги і формування якісного шва, важливо правильно підібрати склад захисного газу. В промисловості для зварювання вуглецевих сталей використовуються як чистий вуглекислий газ, так і різноманітні суміші на основі аргону. Вибір конкретного типу газу залежить від способу зварювання, вимог до якості шва, продуктивності процесу та економічних факторів.

Вуглекислий газ (CO_2) згідно з ДСТУ 4817:2007 є найбільш доступним і дешевим захисним середовищем. Він забезпечує глибоке проплавлення, але характеризується значним розбризкуванням електродного металу, грубим формуванням шва та підвищеним окисленням легуючих елементів.

Суміші газів на основі аргону ($\text{Ar}+\text{CO}_2$) згідно з ДСТУ ISO 14175 забезпечують кращу стабільність дуги, дрібнокрапельний перенос металу, менше розбризкування та краще формування шва. Залежно від вмісту CO_2 , змінюються характеристики процесу:

					Арк. 25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- суміші з низьким вмістом CO_2 (від 2 % до 5%) використовуються для зварювання нержавіючих сталей в імпульсному режимі;
- суміші з середнім вмістом CO_2 (від 8 % до 20 %) є універсальними для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей, забезпечуючи оптимальне співвідношення проплавлення та розбризкування;
- суміші з високим вмістом CO_2 (> 20 %) наближаються за характеристиками до чистого вуглекислого газу, але зберігають стабільність дуги.

Враховуючи вимоги до автоматизованого процесу зварювання (стабільність дуги, відсутність бризок для безперервної роботи робота), а також необхідність якісного формування шва на тонкостінних елементах риштування (1,6-2,0 мм), найкращим варіантом є використання газової суміші M21 (82% Ar + 18% CO_2). Ця суміш забезпечує оптимальний баланс між технологічними властивостями та вартістю, дозволяючи реалізувати високопродуктивний процес зварювання з мінімальними витратами на післязварювальну обробку [9].

Порівняльна характеристика захисних газів наведена в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Порівняльна характеристика захисних газів для зварювання сталі

Тип газу	Склад, %	Переваги	Недоліки
CO_2 (ДСТУ 4817)	100% CO_2	Низька вартість, глибоке проплавлення, стійкість до протягів	Значне розбризкування, грубе формування шва, необхідність частого очищення пальника
M21 (ДСТУ ISO 14175)	82% Ar + 18% CO_2	Стабільна дуга, мале розбризкування, гладкий шов, висока швидкість зварювання	Вища вартість порівняно з CO_2
M20 (ДСТУ ISO 14175)	92% Ar + 8% CO_2	Мінімальне розбризкування, підходить для тонкого металу	Менша глибина проплавлення, вища вартість

1.5.2 Вибір зварювального дроту

Правильний вибір зварювального дроту є критичним для забезпечення механічних властивостей зварного з'єднання, рівноцінних основному металу, а також для стабільності процесу зварювання. Дріт повинен містити необхідну кількість розкислювачів (марганцю та кремнію) для нейтралізації впливу кисню, що може потрапити в зону зварювання, та запобігання утворенню пор.

Згідно з ДСТУ EN ISO 14341, для зварювання нелегованих сталей типу S235JR використовуються дроти суцільного перерізу класів G2Si1, G3Si1 та G4Si1. Вони відрізняються вмістом марганцю та кремнію.

- G2Si1 (аналог Св-08ГС): містить помірну кількість розкислювачів. Використовується для зварювання у сумішах з низьким окиснювальним потенціалом або для сталей з низьким вмістом домішок;

- G3Si1 (аналог Св-08Г2С): найбільш поширений тип дроту з підвищеним вмістом Mn та Si. Забезпечує надійне розкислення навіть при зварюванні по поверхнях з незначною іржею або окалиною, гарантує високу міцність та ударну в'язкість металу шва;

- G4Si1: дріт з високим вмістом розкислювачів. Використовується для зварювання на високих струмах або для сталей з підвищеним вмістом вуглецю.

Порівняння хімічного складу дротів наведено в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Хімічний склад зварювального дроту G3Si1 (ДСТУ EN ISO 14341), %

C	Mn	Si	P, не більше	S, не більше	Cr, Ni, Cu (кожен)
0,06 – 0,14	1,30 – 1,60	0,70 – 1,00	0,025	0,025	0,15

1.6 Вибір зварювального устаткування

Вибір зварювального устаткування є ключовим етапом проектування роботизованого технологічного комплексу, оскільки технічні характеристики обладнання безпосередньо впливають на стабільність процесу, якість зварних з'єднань та загальну продуктивність лінії. Для обґрунтованого вибору джерела живлення та маніпулятора необхідно проаналізувати ряд технічних та виробничих факторів, які визначають умови експлуатації та вимоги до технологічного процесу. Вихідними даними для формування критеріїв вибору є: спосіб зварювання (MAG), матеріал конструкції (низьковуглецева сталь), тип виробництва (серійне, автоматизоване) та режими роботи. На основі аналізу умов виготовлення П-подібного риштування сформовано перелік основних критеріїв, яким повинно відповідати зварювальне обладнання (табл. 1.10).

Таблиця 1.10 – Критерії вибору джерела зварювального струму

№	Найменування	Рівень	Джерело зварювального струму
1	метеорологічні умови	закритий цех	категорія УЗ за кліматичним виконанням
2	первинне джерело енергії	електрична мережа	інверторний випрямляч
3	безпека ураження струмом	не підвищена	без заниження напруги холостого ходу
4	тип виробництва	серійне (автоматизоване)	спеціалізоване (для роботизованих комплексів)
5	габарити, маса і транспортабельність виробу	транспортабельний (в межах цеху)	стаціонарне

Продовження таблиці 1.10

№	Найменування	Рівень	Джерело зварювального струму
6	завантаження обладнання (характер робіт)	висока (безперервний цикл роботизованого зварювання)	ПН = 100%
7	кількість постів і їх зосередженість	роботизована комірка	однопостове (інтегроване з роботом)
8	спосіб зварювання	механізований в активних газах плавким електродом (MAG)	жорстка зовнішня характеристика (CV) / Імпульсна
9	група основного металу	низьковуглецева сталь S235JR	постійний струм (DC)
10	режим зварювання	необхідний струм 100–120 А	номінальний струм джерела 400–500 А (для забезпечення ПН=100%)

Для реалізації розробленого технологічного процесу автоматизованого зварювання П-подібного рамного риштування обрано роботизований технологічний комплекс. Вибір компонентів комплексу базується на необхідності забезпечення стабільного виконання криволінійних швів на трубчастих елементах, високої точності позиціонування пальника та повної синхронізації роботи маніпулятора зі зварювальним джерелом [7]. Ринок сучасної промислової робототехніки пропонує широку номенклатуру рішень, серед яких було проведено порівняльний аналіз моделей провідних виробників FANUC, Yaskawa та ABB. При виборі робота-маніпулятора основними критеріями слугували робоча зона, вантажопідйомність, точність повторюваності та конструктивні особливості. Порівняльна характеристика робіт наведена в таблиці 1.11.

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.11 – Порівняльна характеристика промислових роботів

Виробник	Модель	Радіус дії, мм	Вантажопідйомність, кг	Точність, мм	Особливості
FANUC	ARC Mate 100iD	1636	12	$\pm 0,02$	Порожниста рука для кабелів, висока динаміка
Yaskawa	Motoman AR1440	1440	12	$\pm 0,02$	Висока швидкість осей, надійність
ABB	IRB 1600ID	1500	4	$\pm 0,02$	Інтегрований шланговий пакет, компактність

На основі аналізу технічних характеристик, найкращим варіантом для виконання поставленого завдання визначено промисловий робот FANUC ARC Mate 100iD.



Рисунок 1.5 – Промисловий робот FANUC ARC Mate 100iD

					Арк.
					30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Його ключовою перевагою є спеціалізована порожниста конструкція руки, яка дозволяє розмістити кабель-пакет пальника всередині маніпулятора, що виключає зачіплення кабелів за елементи оснастки при зварюванні складної просторової конструкції. Радіус дії 1636 мм та точність повторюваності 0,02 мм повністю задовольняють вимоги до зварювання рами габаритами 1700x980 мм [21].

Наступним етапом став вибір джерела зварювального струму. Важливими параметрами є можливість цифрової інтеграції з роботом, наявність спеціальних програм для зварювання тонкого металу (від 1,6 мм до 2,0 мм) без розбризкування та висока швидкість реакції на зміни дугового проміжку. Порівняльна характеристика джерел живлення наведена в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Порівняльна характеристика зварювальних джерел

Виробник	Модель	Діапазон струму, А	Інтерфейс	Технології
Lincoln Electric	Power Wave R450	5–450	ArcLink	Waveform Control, RapidArc
Fronius	TPS 400i	3–400	SpeedNet	LSC, PMC
ESAB	Aristo Mig 4004i	16–400	CAN-bus	QSet, SuperPulse

Для роботи в парі з роботом FANUC найбільш раціональним вибором є джерело Lincoln Electric Power Wave R450.



Рисунок 1.6 – Джерело Lincoln Electric Power Wave R450

Цей апарат має повну цифрову інтеграцію з контролером робота через протокол ArcLink, що забезпечує найшвидшу передачу даних (до 100 Мбіт/с) та дозволяє керувати параметрами дуги в реальному часі. Технологія RapidArc дозволяє виконувати зварювання на високих швидкостях з мінімальним тепловкладенням, що є критичним для тонкостінних труб риштування [22]. Комплектація роботизованого поста також включає блок подачі дроту AutoDrive 4R100. Цей механізм розроблений спеціально для роботів FANUC і монтується безпосередньо на руку маніпулятора. Сервопривідна система забезпечує стабільну подачу дроту діаметром 0,8 мм з високою динамікою розгону та гальмування, що необхідно для якісного запалювання дуги та зварювання кратера [23].

Як робочий орган використовується зварювальний пальник Abicor Binzel ABIROB A360 з повітряним охолодженням.



Рисунок 1.7 – Зварювальний пальник Abicor Binzel ABIROB A360

Враховуючи режими зварювання (струм 90–120 А), повітряного охолодження достатньо для тривалої роботи. Пальник оснащений датчиком зіткнення CAT2, який захищає обладнання від пошкоджень у випадку помилок позиціонування [24]. Для забезпечення стабільної роботи в автоматичному режимі комплекс оснащується станцією очищення пальника BRS-CC, яка в автоматичному циклі видаляє бризки з сопла та розпилює антипригарну рідину, що гарантує стабільність газового захисту [25]. Газозабезпечення здійснюється через балонний редуктор з ротаметром, що забезпечує точне дозування захисної суміші M21 [39].

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ

Проектування технологічних процесів виготовлення зварної конструкції П-подібного рамного риштування спрямоване на створення раціональної послідовності виробничих операцій, яка гарантує випуск продукції необхідної якості в умовах серійного виробництва. Враховуючи значну потребу у відновленні пошкоджених промислових та житлових об'єктів, технологічний процес орієнтований на використання високопродуктивних методів, що забезпечує оперативне постачання надійного обладнання на будівельні майданчики. Основу розробленої технології складає застосування механізованого зварювання плавким електродом у захисному газовому середовищі (процес 135 MAG), що є обґрунтованим вибором для з'єднання трубчастих елементів даної конструкції.

2.1 Визначення вихідних даних для проектування технологічних процесів виготовлення зварного виробу

Для проектування раціонального технологічного процесу виготовлення П-подібного рамного риштування прийнято наступні вихідні дані: річна програма випуску складає 2000 одиниць, що відповідає серійному виробництву; режим роботи підприємства - однозмінний (8 годин), 5 днів на тиждень; конструкторська документація на виріб, що визначає геометрію, розміри та матеріал (сталь S235JR). На основі аналізу програми випуску визначено доцільність використання автоматизованого обладнання на ключових операціях (лазерна різка, роботизоване зварювання) для мінімізації впливу людського фактора та забезпечення стабільної якості.

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.1 Технічні умови на зварний виріб

Ці технічні умови поширюються на риштування будівельні рамні приставні, що виготовляються зі сталевих труб і призначені для проведення оздоблювальних та ремонтних робіт. Виріб повинен відповідати вимогам технічних умов та конструкторської документації. Основні параметри: габаритні розміри рами (висота - 1700 ± 2 мм; ширина - 980 ± 2 мм); несуча здатність не менше 200 кгс/м²; матеріал несучих елементів - сталь S235JR згідно з ДСТУ EN 10025-2; маса однієї рами не повинна перевищувати 9,5 кг. Вимоги до виготовлення передбачають, що трубні заготовки не повинні мати дефектів, різка труб та пробивання отворів виконуються лазерним способом, гнуття труб - холодним способом на верстатах з ЧПК. Зварні з'єднання виконуються механізованим способом (процес 135). Для захисту від корозії поверхні елементів підлягають фарбуванню порошковими полімерними фарбами (товщина покриття від 60 мкм до 80 мкм).

2.2 Визначення типу зварної конструкції

Згідно з технологічною класифікацією, П-подібне рамне риштування відноситься до класу гратчастих просторових тонкостінних конструкцій будівельного призначення. Характерними ознаками даного типу є використання трубчастих профілів круглого перерізу як основних несучих елементів, наявність вузлових з'єднань та вимоги до високої точності геометричних розмірів для забезпечення збирання риштувань на об'єкті. Конструкція є технологічною: вона має симетричну будову та відкритий профіль, що забезпечує вільний доступ зварювального інструменту до всіх швів [40].

					Арк. 34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

2.3 Розчленування зварної конструкції виробу на складальні одиниці та деталі

Зварна конструкція П-подібного рамного риштування є цілісним виробом, який виготовляється в один етап складання-зварювання, тому розчленування на проміжні вузли не є доцільним. Базовими деталями конструкції є: дві вертикальні стійки (колони) з труби діаметром 42,4 мм; горизонтальна поперечина (ригель) з труби діаметром 42,4 мм; елементи жорсткості (укоси та розкоси) з труби діаметром 26,9 мм; з'єднувальні елементи (фіксатори). Схема технологічного процесу передбачає повне виготовлення рами за одну установку в кондукторі.

2.4 Розроблення технологічних процесів виготовлення заготовок і деталей зварного виробу

2.4.1 Підготовчі процеси

2.4.1.1 Замовлення та приймання металу

Замовлення металопрокату здійснюється партіями. При прийманні проводиться вхідний контроль: перевірка сертифікатів якості на відповідність сталі S235JR, візуальний огляд на відсутність корозії та механічних пошкоджень, контроль діаметра та товщини стінки.

2.4.1.2 Очищення поверхні

Для забезпечення стабільності процесу роботизованого зварювання поверхня труб має бути чистою. Труби проходять через установку механічної очистки щітками для видалення консерваційного мастила та забруднень [10].

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.2 Заготівельні та оброблювальні процеси

2.4.2.1 Розкроювання труб

Для забезпечення максимальної продуктивності та точності (зазор у стику не більше 0,5–1,0 мм) обрано технологію лазерної різки труб.

Використовується установка лазерної різки, яка дозволяє виконувати складні криволінійні різки (сідловини) для ідеального спряження труб та одночасно прорізати технологічні отвори без деформації труби [11].

2.4.2.2 Гнуття елементів

Нижні елементи жорсткості мають радіусний вигин. Операція виконується на автоматичному трубозгинальному верстаті з ЧПК дорнового типу. Використання дорна запобігає сплюснюванню труби в місці згину та гофруванню внутрішньої стінки.

2.5 Розроблення технологічного процесу складання-зварювання конструкції виробу

Процес виготовлення П-подібного рамного риштування базується на принципах поточно-серійного виробництва, де кожен етап спрямований на забезпечення максимальної геометричної точності та надійності зварних з'єднань. Основою технологічного циклу є інтеграція сучасних методів механічної обробки заготовок та автоматизованого зварювання.

2.5.1 Розроблення складу, послідовності та змісту складально-зварювальних та інших операцій

Технологічний процес організовано на стаціонарному роботизованому зварювальному посту. Операції виконуються в такій послідовності:

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Завантаження: оператор вручну укладає трубчасті заготовки у ложементи кондуктора, жорстко закріпленого на нерухомому зварювальному столі;
2. Фіксація: оператор закриває ручні механічні затискачі, забезпечуючи надійну фіксацію геометрії;
3. Запуск: оператор виходить із робочої зони та запускає програму;
4. Зварювання: два промислові роботи одночасно виконують зварювання всіх стиків;
5. Перевертання: після зварювання однієї сторони, оператор перевертає деталь у кантувачі.
6. Розвантаження: оператор відкриває затискачі, виймає раму та проводить візуальний огляд. Далі виріб передається на дільницю порошкового фарбування (підготовка поверхні, напилення фарби, полімеризація в печі).

2.5.2 Засоби технологічного спорядження

Використовується стаціонарний зварювальний кондуктор, встановлений на монтажному столі. Оснащення включає жорсткі базові поверхні та ручні шарнірно-важільні притискачі, які забезпечують швидку фіксацію деталей. Зварювальний комплекс складається з двох роботів FANUC ARC Mate 100iD та джерел живлення Lincoln Electric Power Wave R450 [7].

2.5.3 Призначення кадрового забезпечення виконання технологічного процесу

Обслуговування комплексу здійснює оператор роботизованої установки (завантаження/розвантаження, контроль). Налагодження та корекцію програм виконує інженер-налагоджувальник РТК.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					37

2.5.4 Технічне нормування операцій технологічного процесу складання-зварювання зварного виробу

2.5.4.1 Розрахунок норм витрат зварювальних матеріалів

Норма витрат дроту розраховується на основі маси наплавленого металу з коефіцієнтом втрат 1,05. Витрата газу визначається за часом горіння дуги та продувки.

2.5.4.2 Розрахунок норм витрат зварювального дроту

Норма витрати зварювального дроту ($M_{др}$) визначається масою наплавленого металу (M_H) з урахуванням коефіцієнта технологічних втрат (μ) на розбризкування, угар та недогарки.

Вихідні дані:

- сумарна довжина швів на виробі ($L_{шв}$): 215,28 мм = 0,215 м.
- катет шва (K): 2,5 мм (для товщини 2 мм з урахуванням підсилення).
- густина сталі (ρ): 7,85 г/см³.
- коефіцієнт втрат для MAG зварювання (μ): 1,08 (втрати 8% згідно з[12]).

Методика розрахунку:

Площа поперечного перерізу наплавленого металу (F_H) для кутового шва визначається за формулою:

$$F_H = \frac{K^2}{2} = \frac{2,5^2}{2} = 3,125 \text{ мм}^2 = 0,03125 \text{ см}^2, \quad (2.1)$$

Маса наплавленого металу (M_H) на один виріб:

$$M_H = F_H \cdot L_{шв} \cdot \rho = 0,03125 \cdot 21,53 \cdot 7,85 \approx 5,28 \text{ г} = 0,0053 \text{ кг}, \quad (2.2)$$

Норма витрати зварювального дроту ($M_{др}$):

$$M_{др} = M_H \cdot \mu = 5,28 \cdot 1,08 \approx 5,7 \text{ г} = 0,0057 \text{ кг}, \quad (2.3)$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	38

Результат: Норма витрати зварювального дроту на одну раму становить 0,0057 кг.

2.5.4.3 Розрахунок норм витрат захисного газу

Витрата захисного газу ($Q_{\text{заг}}$) визначається добутком питомої витрати газу на час роботи газового клапана, який включає основний час зварювання та час на попередню і післязварювальну продувку.

Вихідні дані:

- витрата газу ($q_{\text{г}}$): 12 л/хв.
- швидкість зварювання ($V_{\text{зв}}$): 60 см/хв = 0,6 м/хв.
- кількість окремих швів (n): 30 шт.
- час продувки на один шов ($t_{\text{пр}}$): 0,7 с.

Методика розрахунку:

1. Основний час зварювання ($t_{\text{осн}}$):

$$t_{\text{осн}} = \frac{L_{\text{шв}}}{V_{\text{зв}}} = \frac{0,215}{0,6} \approx 0,358 \text{ хв}, \quad (2.4)$$

2. Додатковий час на продувку ($t_{\text{дод}}$):

$$t_{\text{дод}} = \frac{n \cdot t_{\text{пр}}}{60} = \frac{30 \cdot 0,7}{60} = 0,35 \text{ хв}, \quad (2.5)$$

3. Загальний час витрати газу ($T_{\text{заг}}$):

$$T_{\text{заг}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{дод}} = 0,358 + 0,35 = 0,708 \text{ хв}, \quad (2.6)$$

4. Норма витрати газу ($Q_{\text{заг}}$):

$$Q_{\text{заг}} = q_{\text{г}} \cdot T_{\text{заг}} = 12 \cdot 0,708 \approx 8,5 \text{ л}, \quad (2.7)$$

Результат: норма витрати захисної газової суміші на одну раму становить 8,5 л.

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.4.4 Розрахунок норм витрат часу

Час циклу виготовлення однієї рами складається з суми часу роботи оператора та часу роботи роботів (процеси не перекриваються). Загальний цикл складає близько від 100 сек. до 120 сек. Продуктивність ділянки становить до 240 виробів за зміну, що при однозмінній роботі забезпечує річну програму 10000 одиниць із значним запасом потужності.

2.6 Контроль якості зварних з'єднань

Основним методом контролю якості зварних з'єднань обрано візуально-оптичний контроль (VT). Цей метод є оперативним та достатнім для виявлення зовнішніх дефектів (тріщин, підрізів, пор) в умовах масового виробництва. Контроль здійснюється згідно з ДСТУ EN ISO 17637. Геометричні параметри швів перевіряються універсальними шаблонами [13].

2.6.1 Обґрунтування призначення способу контролю

Вибір методів та обсягу контролю якості зварних з'єднань здійснюється на основі аналізу класу відповідальності конструкції, умов її експлуатації, типу зварних з'єднань та техніко-економічної доцільності. П-подібне рамне риштування є відповідальною несучою конструкцією, руйнування якої може призвести до травмування персоналу. Проте, враховуючи серійний характер виробництва (10 000 одиниць на рік), малу товщину стінок труб (від 1,6 мм до 2,0 мм) та використання високостабільного роботизованого зварювання, застосування трудомістких методів дефектоскопії (ультразвукової або радіографічної) для 100% виробів є економічно необґрунтованим.

Основним методом неруйнівного контролю для даного виробу обрано візуально-оптичний контроль (VT)[41]. Цей метод дозволяє виявити переважну більшість дефектів, характерних для дугового зварювання в захисних газах, а

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

саме: поверхневі тріщини, підрізи, напливи, пропали, незаварені кратери, пори, що виходять на поверхню, а також відхилення геометричних розмірів шва [1]. Згідно з вимогами стандарту ДСТУ EN ISO 17637, візуальному контролю підлягають 100% зварних з'єднань. Контроль виконується неозброєним оком та за допомогою лупи 2х–5х при освітленості не менше 350 люкс.

Для перевірки відповідності геометричних параметрів зварних швів (катета кутового шва, ширини та висоти підсилення) вимогам конструкторської документації застосовується вимірювальний контроль за допомогою універсальних шаблонів зварювальника (типу УШС-3 або WG1). Критерії оцінки якості швів встановлюються відповідно до ДСТУ EN ISO 5817 для рівня якості С (середній), що є достатнім для будівельних металоконструкцій загального призначення [42].

Для підтвердження відсутності внутрішніх дефектів (непроварів, внутрішніх пор) та забезпечення необхідної міцності з'єднання, візуальний контроль доповнюється періодичними механічними випробуваннями та металографічними дослідженнями на зразках-свідках або на виробах, відібраних з партії (наприклад, 0,5% від партії), згідно з затвердженими технічними умовами. Такий комплексний підхід гарантує надійність продукції при збереженні високого темпу виробництва [13].

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СПОРЯДЖЕННЯ СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ

Для забезпечення високої експлуатаційної надійності рамних риштувань необхідно гарантувати стабільну якість кожного зварного з'єднання. Це досягається шляхом застосування спеціалізованого технологічного спорядження, розробка якого описана в даному розділі. Проектування складально-зварювального пристосування виконано з урахуванням специфіки конструкції (використання труб різного діаметру та гнутих елементів) та спрямоване на створення безпечних умов праці оператора, зниження трудомісткості процесів та досягнення максимальної точності складання виробу під зварювання

3.1 Обґрунтування необхідності розробки складально-зварювального оснащення

Виготовлення П-подібного рамного риштування вимагає суворого дотримання просторової геометрії та стабільної якості зварних з'єднань, оскільки цей виріб є частиною висотної модульної системи. Будь-які відхилення від проектних розмірів можуть призвести до неможливості безпечного монтажу на будівельному майданчику. У зв'язку з цим, розробка спеціалізованого складально-зварювального кондуктора стає критичною потребою для забезпечення надійності та продуктивності виробництва.

Першочерговим фактором, що зумовлює використання жорсткого оснащення, є забезпечення геометричної точності та взаємозамінності елементів. Оскільки рами з'єднуються за принципом «труба в трубу», дотримання паралельності вертикальних стійок діаметром 42 мм та точна фіксація міжосьової відстані в 969 мм є обов'язковими умовами. Тільки використання

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кондуктора з точно виставленими упорами дозволяє уникнути похибок, які виникають при ручній розмітці.

Особливого значення розробка оснащення набуває в контексті впровадження роботизованого зварювального комплексу. На відміну від зварника, який може коригувати рух пальника в реальному часі, робот працює за строго заданою програмою. Це висуває підвищені вимоги до точності позиціонування кожного стику. Оснащення повинно гарантувати, що кожна деталь у кожному новому циклі буде розташована в ідентичному місці з мінімальним допуском, інакше зміщення стику навіть на кілька міліметрів призведе до несправу та виходу виробу в брак.

Важливим аспектом є також компенсація температурних деформацій, які неминуче виникають під час інтенсивного дугового зварювання в середовищі захисних газів. Локальний нагрів металу створює внутрішні напруження, які намагаються змінити кути конструкції або спричинити її жолоблення. Жорстка фіксація елементів у кондукторі за допомогою притискних механізмів дозволяє утримувати проектну форму виробу як під час безпосереднього накладання швів, так і в процесі охолодження конструкції.

Крім технічних параметрів, розробка спеціалізованого спорядження має високу економічну та ергономічну доцільність. Використання швидкодіючих затискачів значно скорочує допоміжний час на встановлення та зняття деталей, що є ключовим для серійного виробництва. Разом з тим, правильно спроектоване оснащення забезпечує зручний доступ до всіх вузлів (від №1 до №5), позбавляючи оператора необхідності вручну маніпулювати габаритною конструкцією вагою понад 15 кг, що значно покращує умови праці та відповідає вимогам безпеки.

Завершуючи обґрунтування, можна стверджувати, що створення спеціалізованого складально-зварювального кондуктора є фундаментом для автоматизації процесів. Це дозволяє не лише стабілізувати якісні показники продукції, а й забезпечити високу експлуатаційну надійність рамних риштувань, що безпосередньо впливає на безпеку проведення будівельних робіт на висоті.

					Арк. 43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

3.2 Проектування складально-зварювального оснащення

Процес безпосереднього проектування складально-зварювального оснащення є ключовим етапом, на якому теоретичні вимоги до точності та продуктивності втілюються у конкретні інженерні рішення. На цій стадії розробки основна увага зосереджується на створенні такої конструкції пристосування, яка б гармонійно поєднувала жорсткість базування заготовок із максимальною просторовою відкритістю зон зварювання. Це особливо важливо для забезпечення безперешкодного доступу зварювального маніпулятора до всіх вузлів П-подібної рами, що дозволяє реалізувати закладений алгоритм роботизованого зварювання без ризику зіткнення пальника з елементами кондуктора.

Розробка конструкції базується на комплексному підході до вибору опорних елементів, затискних механізмів та силового каркаса самого пристосування. У процесі проектування враховуються специфічні геометричні особливості виробу, зокрема поєднання основних стійок діаметром 42 мм із допоміжними перемичками діаметром 27 мм та наявність гнутих елементів жорсткості. Кожна точка контакту оснащення з деталями рами розраховується таким чином, щоб забезпечити однозначність положення заготовки у просторі та надійно протидіяти зусиллям, що виникають внаслідок зварювальних напружень. Окрім суто технічних параметрів, етап проектування охоплює питання експлуатаційної витривалості та зручності обслуговування, що гарантує збереження точності оснащення протягом усього життєвого циклу серійного випуску продукції.

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.1 Технічне завдання на проектування складально-зварювального оснащення

Технічне завдання на проектування складально-зварювального пристосування для виготовлення виробу «П-подібне рамне риштування»

Найменування складально-зварювального пристрою – кондуктор складально-зварювальний універсальний (стаціонарний).

Призначення пристрою – базування, фіксація та послідовне зварювання елементів П-подібної рами (стійок, перемичок, підсилювачів та вузлів кріплення).

Технічні вимоги до розроблюваного пристрою.

Дане пристосування повинно відповідати наступним вимогам:

- надійна фіксація та закріплення заготовок за допомогою механічних затискачів;
- вільний доступ до місць зварювання (вузли №1–№5);
- граничні відхилення розмірів не повинні перевищувати 2 мм;
- забезпечення міцності та жорсткості конструктивних елементів для зменшення деформацій зварного виробу після зварювання;
- вільне вивільнення звареного виробу з пристрою;
- технологічність та ремонтпридатність;
- пристрій займає близько 2,5 м² площі та має орієнтовні габарити 2100 мм х 1100 мм х 1200 мм, встановлюється на посту виготовлення рамних риштувань і має продуктивність близько 5–6 одиниць на годину;
- пристрій не потребує підключення додаткових енергоносіїв – всі операції із затискання та фіксації виконуються за рахунок м'язової сили оператора;

					Арк. 45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

– конструктивне рішення пристосування передбачає напівавтоматичний цикл роботи: оператор здійснює ручне завантаження та механічну фіксацію заготовок, після чого подає сигнал на запуск автоматичної програми роботизованого зварювального комплексу;

– заготовки закладаються до пристрою і виймаються вручну;

– режим роботи – циклічний;

– зварювальне та допоміжне устаткування – зварювальний напівавтомат для зварювання в середовищі захисних газів (MAG), балон із сумішшю Ar + CO₂, редуктор з ротаметром; устаткування для опоряджувальних робіт (післязварювального оброблення) – шліфмашина кутова;

– складально-зварювальний пристрій є спеціальним обладнанням, має можливість налагодження упорів, але не має можливості переналагодження під інші завдання;

– пристрій повинен відповідати вимогам техніки безпеки та ергономічним вимогам.

– пристрій повинен відповідати діючим вимогам техніки безпеки та ергономічним нормам для роботизованих зон.

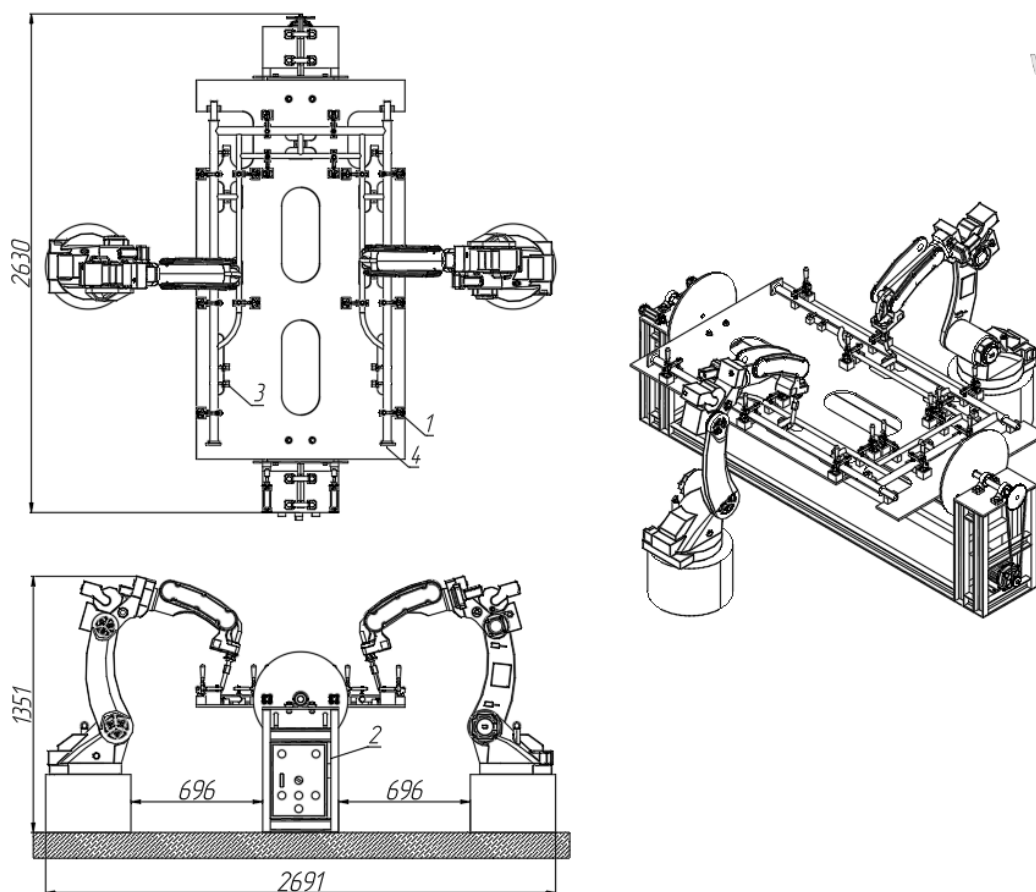
Технологічний процес складання та зварювання П-подібної рами в пристрої:

Технологічний процес складання та зварювання складальної одиниці в пристрої:

1. Встановити і затиснути дві основні вертикальні стійки (Ø42 мм, поз.1);
2. Встановити і затиснути верхню горизонтальну перемичку (Ø42 мм, поз.2);
3. Встановити і затиснути внутрішній підсилювальний контур (цільна труба Ø27 мм з гнутими ділянками, поз.3);
4. Встановити і затиснути внутрішні розпірки (Ø27 мм, поз.4);
5. Встановити і затиснути «прапорці» (вузол №4, поз.5);

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Встановити і затиснути нижні опорні п'яти (вузол №5, поз.6);
7. Провести візуальний контроль правильності встановлення всіх елементів та подати сигнал на запуск зварювального робота.
8. Виконати автоматичне зварювання вузлів №1, №2, №3, №4 та №5 згідно з програмою на лицьовій стороні виробу;
9. Після завершення зварювання першої сторони, перевернути поворотну раму кондуктора на 180°;
10. Виконати автоматичне зварювання вузлів №1, №2, №3, №4 та №5 згідно з програмою на зворотній стороні виробу;
11. Після завершення зварювання та розфіксації механічних затискачів вийняти готову раму з кондуктора.



- 1 - затискач шарнірно-ричажний; 2 - блок керування обертанням;
3 - підпорка; 4 – упор.

Рисунок 3.1 – Складально-зварювальне пристосування для виготовлення П-подібного рамного риштування

					Арк.
					47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

3.2.2 Вибір технологічних баз та розробка схеми базування

П-подібне рамне риштування

Базовий елемент – поз.1 «вертикальні стійки» (2 шт.). Головна технологічна база базового елемента, яка позбавляє деталі зварного виробу найбільшої кількості ступенів свободи – циліндрична поверхня труб та їхні нижні торці, що спираються на упори кондуктора. Це забезпечує точне дотримання міжосьової відстані стійок (969 мм) та їхню паралельність. Решта елементів встановлюються і закріплюються в складально-зварювальному пристрої відносно базового елемента.

Верхня перемичка.

Базовий елемент – поз.2 «верхня горизонтальна перемичка». Головна технологічна база базового елемента, яка позбавляє деталь зварного виробу найбільшої кількості ступенів свободи – торцеві поверхні труби, що стикуються з вертикальними стійками. Елемент встановлюється в кондуктор відносно верхніх зрізів стійок (поз.1), що забезпечує прямокутність каркаса рами.

Внутрішній підсилювальний контур.

Базовий елемент – поз.3 «внутрішній підсилювальний контур» (цільна гнута труба). Головна технологічна база базового елемента, яка позбавляє деталь зварного виробу найбільшої кількості ступенів свободи – зовнішня твірна поверхня вигнутих ділянок та прямих сегментів труби. Елемент встановлюється в спеціальні ложементи пристрою і базується відносно внутрішніх поверхонь вертикальних стійок та верхньої перемички.

Вузли кріплення та опори.

Базовий елемент – поз.5 «прапорці» та поз.6 «нижні опорні пластини». Головна технологічна база цих елементів – площини контакту з основними стійками та отвори під фіксатори. Елементи встановлюються у спеціальні гнізда-упори кондуктора, які жорстко зафіксовані відносно осей вертикальних стійок (поз.1), що гарантує точне висотне розташування замків для навішування діагоналей.

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивна реалізація опорних точок здійснюється у вигляді ложементів (V-подібних опор) та торцевих упорів.

Закріплення заготовок в пристосуванні забезпечується механічними шарнірно-важільними притискачами.

3.3 Конструктивні елементи складально-зварювального оснащення

Конструкція складально-зварювального пристрою, згідно з розробленим кресленням, являє собою спеціалізований двохстійковий кантувач із поворотною плитою-платформою. До основних конструктивних елементів оснащення належать несучі блоки (опорні стійки та робоча плита), привідний механізм, установчі елементи (упори та фіксатори) та механічні затискні пристрої.

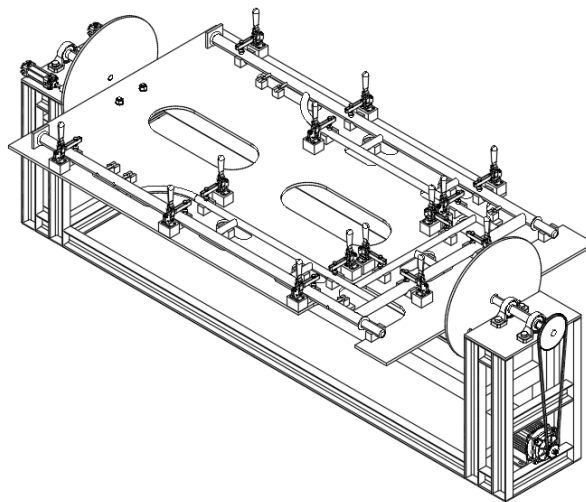


Рисунок 3.2 – Двохстійковий кантувач із поворотною плитою-платформою

Несучі елементи пристрою спроектовані для забезпечення високої жорсткості та сприйняття ваги як самої оснастки, так і виробу «П-подібна рама» під час обертання та зварювання. Опорні стійки мають коробчасту зварну конструкцію, виготовлену з листового металу товщиною 10 мм, що гарантує стійкість пристрою та поглинання вібрацій. Робоча плита-платформа довжиною 2000 мм та шириною 880 мм є основним тримачем усіх складальних вузлів. Вона має систему технологічних вікон та пазів (наприклад, центральні вікна розміром

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	49

500 мм х 200 мм), які призначені для зменшення власної маси конструкції та забезпечення доступу зварювального маніпулятора до швів із внутрішньої сторони рами. Розрахунок несучих елементів базується на принципах опору матеріалів, враховуючи крутний момент від приводу та термічні напруження, що виникають у зварному виробі.

Установочні елементи інтегровані безпосередньо у поверхню робочої плити. Вони реалізовані у вигляді жорстких упорів та ложементів, що фіксують основні стійки Ø42 мм та перемички Ø27 мм у проектному положенні. Базування здійснюється по зовнішніх твірних поверхнях труб, що дозволяє витримати міжосьову відстань 969 мм. Для фіксації висотних позначок на плиті передбачені торцеві упори. Точність розташування цих елементів на плиті забезпечує дотримання габаритних допусків виробу в межах ± 2 мм.

Притискачі призначені для закріплення заготовок на платформі. На кресленні зображено використання механічних шарнірно-важільних затискачів вертикального типу, рівномірно розподілених по периметру виробу. Дані затискачі забезпечують швидку фіксацію деталей оператором вручну без використання енергоносіїв. Кожен затискач створює зусилля притискання в межах від 2,5 кН до 3,0 кН, що є достатнім для запобігання зміщенню труб під дією зварювальних напружень. Конструкція притискачів передбачає наявність регульованих шпинделів із гумовими наконечниками, що захищають поверхню тонкостінних труб від механічних пошкоджень. Розташування притискачів обрано так, щоб вони не створювали перешкод для траєкторії руху зварювального пальника в автоматичному режимі.

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

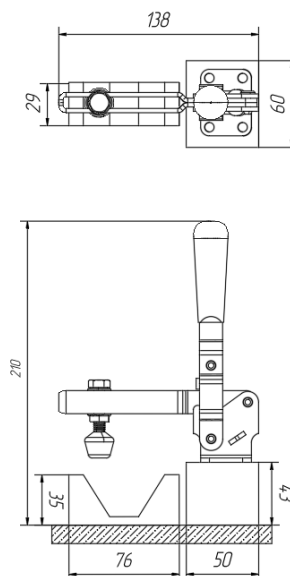


Рисунок 3.3 – Механічний шарнірно-важільних затискач вертикального типу та установчі елементи

Механізм повороту та фіксації є активним вузлом кантувача. Обертання платформи навколо горизонтальної осі (висота осі – 703 мм) забезпечується електродвигуном, встановленим у нижній частині однієї з опор. Передача крутного моменту на вал плити здійснюється за допомогою ланцюгової передачі, що дозволяє плавно повертати конструкцію на 180° для зварювання зворотного боку рами. Для точної фіксації положення використовуються масивні планшайби радіусом 250 мм, розташовані на осях обертання. Керування роботою приводу та фіксація положення платформи виконуються з пульта керування, розміщеного на фронтальній панелі опорної стійки.

Загальна ергономіка пристрою (габарити 2565 мм x 773 мм x 953 мм) дозволяє інтегрувати його в роботизовану комірку, забезпечуючи зручне завантаження заготовок оператором та безпечний виліт робочих органів зварювального маніпулятора під час виконання технологічного циклу.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	51

3.4 Виконання перевірочних розрахунків засобів технологічного спорядження

Розрахуємо діаметри осей поворотної рами [14],[15]. Для цього обираємо розрахункову схему двохстоякового кантувача з поворотною рамою (рис.3.7.)

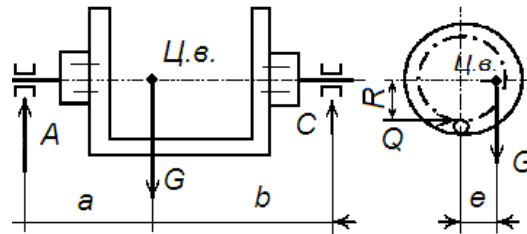


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема

Для забезпечення надійності роботи двохстоякового кантувача з поворотною рамою проведемо розрахунок діаметрів осей за методом послідовних наближень.

1. Вихідні дані та розрахункові параметри

На основі маси виробу та геометрії пристрою приймаємо наступні значення:

- маса виробу: $m = 15,5$ кг;
- вага виробу: $G = 15,5 \cdot 9,8 = 151,9$ Н;
- ексцентриситет: $e = 0,199$ м;
- радіус: $R = 0,05$ м;
- коефіцієнт тертя (підшипники ковзання): $f = 0,1$.

2. Допустимі напруження

Обираємо сталь 35 із межею текучості $\sigma_T = 270$ МПа. Приймаємо коефіцієнт запасу міцності $n_T = 5$:

$$\sigma_{allow} = \frac{\sigma_T}{n_T} = \frac{270}{5} = 54 \text{ МПа}, \quad (3.1)$$

3. Перше наближення (без урахування тертя)

					Арк.
					52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Для визначення попереднього діаметра припускаємо, що момент тертя $M_{fric1} = 0$.

Вантажний момент:

$$M_{load} = G \cdot e = 151,9 \cdot 0,199 = 30,228 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.2)$$

Сумарний крутний момент:

$$M_{rot1} = 30,228 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.3)$$

Зусилля на приводі:

$$Q_1 = \frac{M_{rot1}}{R} = \frac{30,228}{0,05} = 604,6 \text{ Н}, \quad (3.4)$$

Розрахунок попереднього діаметра шпинделя:

$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{rot1}}{\pi \cdot \sigma_{allow} \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 30,228}{\pi \cdot 54 \cdot 10^6}} = 0,018 \text{ м (18 мм)}, \quad (3.5)$$

4. Друге наближення (з урахуванням сил тертя)

Використовуємо отриманий діаметр для уточнення моменту тертя та реакцій в опорах:

Реакції в опорах: $A_2 = 608,7 \text{ Н}$; $C_2 = 81,3 \text{ Н}$

Уточнений момент тертя:

$$M_{fric2} = 0,5 \cdot f \cdot (A_2 \cdot d_{A2} + C_2 \cdot d_{C2}) \cdot 10^{-3}, \quad (3.6)$$

Уточнений крутний момент:

$$M_{rot2} \approx 30,229 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.8)$$

Уточнений діаметр:

$$d_{A2} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{rot2}}{\pi \cdot \sigma_{allow} \cdot 10^6}} = 0,018 \text{ м}, \quad (3.9)$$

5. Остаточний вибір

Значення діаметра в другому наближенні не змінилося.

Згідно з рядом нормальних лінійних розмірів (Ra 40 ГОСТ 6636-69), обираємо найближче значення.

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ряд Ra, 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
-----------------	--

Приймаємо діаметр шпинделів 18 мм.

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 СКЛАДАННЯ ПЛАНУВАНЬ ВИРОБНИЧИХ ДІЛЬНИЦЬ І МАРШРУТІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВИРОБІВ

При складанні плану виробничої ділянки та маршрутів переміщення виробів «П-подібне рамне риштування» було дотримано наступних вимог:

- засоби технологічного спорядження (ЗТС) встановлені відповідно до основного технологічного потоку переміщення матеріалів, що дозволяє виключити зустрічні та пересічні вантажопотоки;
- розміщення обладнання та постів забезпечує безпеку та зручність його щоденного обслуговування;
- кожне робоче місце організовано так, щоб не обмежувати дії персоналу. Біля кожної ділянки передбачені майданчики для тимчасового складування заготовок та напівфабрикатів. Не допускається розміщення деталей у проходах (центральный проїзд шириною 3000 мм);
- планування передбачає заходи безпечної евакуації: вільні проходи, пожежні проїзди та відкривання воріт назовні;
- розміщення устаткування скоординовано відносно залізобетонних колон будівлі. Ширина цеху становить 18000 мм. Відстань між устаткуванням та стінами будівлі витримана згідно з нормами.

Планування виробничої площі для виготовлення рамного риштування наведено на рис. 4.1.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

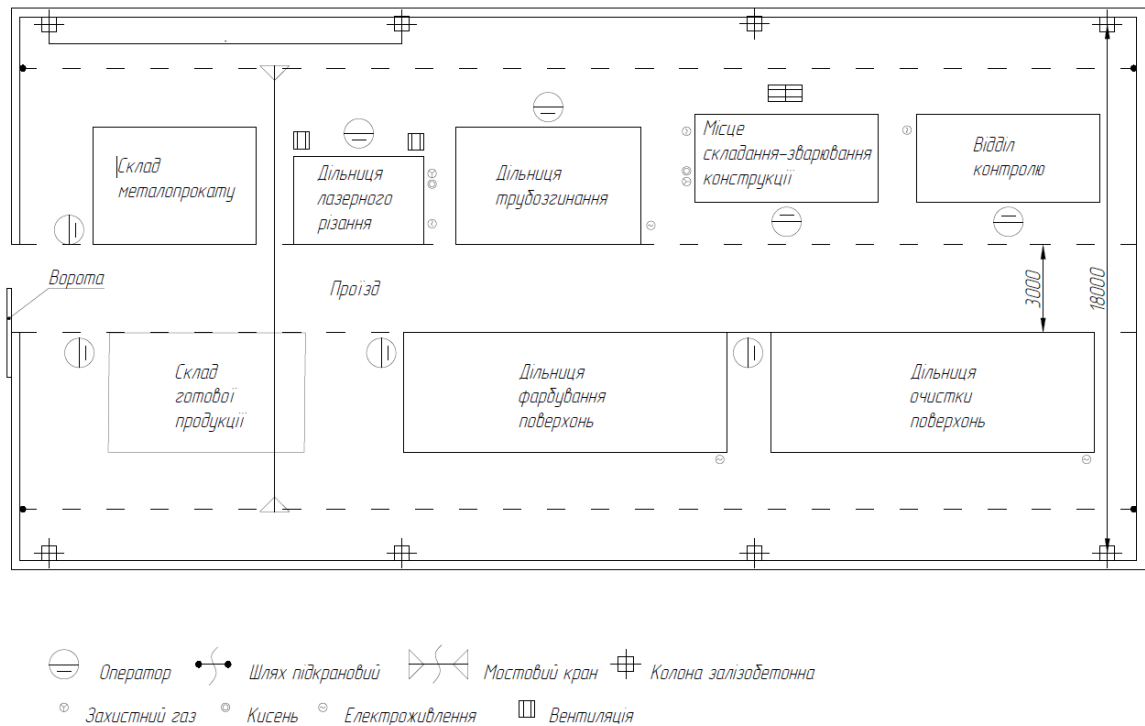


Рисунок 4.1 – Планування виробничої площі для виготовлення рамного риштування

Опис послідовності роботи складових елементів виробничої дільниці:

1. Металопродукат (труби $\varnothing 42$ мм та $\varnothing 27$ мм) доставляється через ворота на склад металопродукату. Розвантаження та внутрішньоцехове переміщення виконується за допомогою мостового крана;
2. Зі складу заготовки передаються на дільницю лазерного різання для порізки труб у розмір та виготовлення дрібних деталей (прапорців, опорних пластин);
3. Труби, що потребують деформації (внутрішній підсилювальний контур), спрямовуються на дільницю трубозгинання;
4. Підготовлені елементи (прямі та гнуті труби, дрібні деталі) надходять на місце складально-зварювальних робіт. Тут за допомогою розробленого кантувача та зварювального робота виконується формування П-подібної рами;
5. Після завершення зварювальних операцій виріб передається до відділу контролю для перевірки геометричних параметрів та якості швів;

					Арк.
					56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

6. Прийнята продукція переміщується на ділянку очистки поверхні, де проходить операцію дробоструминного або піскоструминного оброблення;

7. Очищена рама надходить на ділянку фарбування для нанесення захисного полімерного шару;

8. Готові вироби після висихання та пакування відвантажуються на склад готової продукції для подальшої реалізації.

Планування цеху забезпечує лінійний рух виробу без зустрічних потоків, що підвищує загальну продуктивність ділянки та безпеку праці.

						Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Особливістю технологічного процесу виробництва П-подібного рамного риштування є застосування комплексної автоматизації, зокрема використання двох зварювальних роботів та лазерного розкрою труб. Впровадження робототехніки докорінно змінює умови праці, виводячи оператора із зони безпосереднього впливу зварювальної дуги, проте створює специфічні небезпеки, пов'язані з автоматичним режимом роботи механізмів та використанням маніпуляторів. Додаткові ризики обумовлені супутніми операціями: абразивним очищенням, згинанням труб та фарбуванням, що супроводжуються виділенням пилу, шуму та токсичних речовин.

Метою даного розділу є виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на всіх етапах виробництва, а також розробка інженерних рішень та організаційних заходів для забезпечення нормативних умов праці та пожежної безпеки на ділянці.

5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

Аналіз умов праці свідчить про наявність ряду ШНВФ, які класифікуються згідно з ДСТУ 2293:2014 "Охорона праці. Терміни та визначення основних понять". Узагальнена характеристика інтенсивності цих факторів безпосередньо для процесу автоматичного дугового зварювання в захисних газах наведена в таблиці 5.1 [36].

За своїм походженням та природою дії на організм людини виявлені фактори поділяються на фізичні, хімічні та психофізіологічні. Специфікою даного технологічного процесу є те, що автоматизація зварювання дозволяє мінімізувати безпосередній вплив деяких шкідливих чинників на оператора (наприклад, теплового випромінювання та зварювальних аерозолів), однак створює нові ризики, пов'язані з роботою складних механізмів, лазерних установок та маніпуляторів.

					Арк. 58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Зокрема, під час роботи промислових робіт виникають специфічні фізично-небезпечні фактори: рухомі частини обладнання, пересувні вироби та заготовки, а також небезпека ураження електричним струмом від високовольтних кіл живлення.

Таблиця 5.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при автоматичному зварюванні в захисних газах

ШНВФ для автоматичного дугового зварювання в захисних газах			Інтенсивність фактора
Шкідливі виробничі фактори	Шкідливі речовини		xx
	Вимірювання в оптичному діапазоні	Ультрафіолетове випромінювання	xx
		Видиме випромінювання	xx
		Інфрачервоне випромінювання	xx
	Електромагнітні поля		-
	Магнітні поля		-
	Іонізуючі випромінювання		-
	Шум		x
	Ультразвук		-
	Статичне навантаження руху		-
Небезпечні виробничі фактори	Електричний струм		xx
	Іскри, бризки і види розплавленого металу		xx
	Механізми і вироби, що рухаються		xx
	Системи, які знаходяться під тиском, що не дорівнює атмосферному		xx
	Електричний струм		xx

Примітка: xx - інтенсивний фактор; x - помірний фактор; (-) - незначний фактор чи його відсутність.

5.1.1 Фізичні фактори

До цієї групи, згідно з класифікацією ДСТУ 2293:2014, на проєктованій ділянці належить ряд небезпечних факторів. Впровадження робототехніки змінює зміст праці, але створює специфічні механічні небезпеки: виконавчі органи зварювальних роботів, автоматичні маніпулятори, рухомі частини лазерного та згинального станків, а також пересувні вироби (труби, рами) створюють ризик травмування. Основними причинами нещасних випадків можуть стати непередбачені рухи маніпулятора, вхід людини в робочу зону під час автоматичного циклу або помилкові дії оператора під час наладки обладнання.

Суттєвим фізичним фактором є підвищена запиленість повітря пилом фіброгенної дії. При піскоструминній обробці труб утворюється пил із вмістом вільного діоксиду кремнію (SiO_2), який не розчиняється в біологічних рідинах і при тривалому вдиханні може призвести до силікозу [36]. Крім того, у повітря потрапляє тверда складова зварювального аерозолі (оксиди металів), кількість та склад якої залежать від хімічного складу зварювальних матеріалів[55].

Технологічні процеси супроводжуються генерацією випромінювання оптичного діапазону. Зварювальна дуга генерує потужне ультрафіолетове (УФ), видиме та інфрачервоне (ІЧ) випромінювання. Оскільки зварювання відбувається в суміші газів з аргоном, інтенсивність УФ-випромінювання зростає, що підвищує ризик електрофтальмії та опіків шкіри. Лазерна різка також створює інтенсивне випромінювання, яке при прямому або відбитому впливі є небезпечним для сітківки ока та шкіри.

Робота компресорів, вентиляційних систем та процес різки металу створюють віброакустичне навантаження. Рівень шуму може перевищувати допустимі 80 дБА, досягаючи при різанні значень 106–111 дБА. Нормування шуму проводиться згідно з ДСН 3.3.6.037-99[45]. Також наявність обладнання з високою напругою живлення (роботи, лазерні установки) створює ризик

						Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ураження електричним струмом через дотик до струмоведучих частин або корпусів при пошкодженні ізоляції.

5.1.2 Випромінювання

Технологічні процеси, що застосовуються на ділянці, супроводжуються генеруванням інтенсивного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, яке включає ультрафіолетову (УФ), видиму та інфрачервону (ІЧ) області спектру.

Лазерне випромінювання: при роботі установок лазерного розкрою труб генерується когерентне випромінювання високої щільності. Лазери, що використовуються для різання металу, зазвичай належать до III–IV класу небезпеки. Прямий або відбитий промінь становить серйозну загрозу для органів зору (може спричинити незворотні ушкодження сітківки) та шкіри (тяжкі термічні опіки).

Випромінювання зварювальної дуги: інтенсивність та спектральний склад випромінювання залежать від потужності дуги та складу захисних газів.

Ультрафіолетове випромінювання: Найбільша інтенсивність УФ-випромінювання спостерігається при зварюванні в інертних газах (зокрема, в аргоні), що передбачено технологічним процесом. Тривала дія УФ-променів без захисту призводить до електрофтальмії (запалення рогівки та кон'юнктиви очей), а також може викликати опіки шкіри (еритему).

Видиме випромінювання: висока яскравість дуги може викликати тимчасове засліплення та втому зору.

Інфрачервоне випромінювання: джерелом ІЧ-випромінювання є зварювальна дуга, розплавлена ванна металу та нагріті після зварювання труби ріштування. Цей фактор може спричинити теплові удари, порушення терморегуляції організму, а при тривалому впливі на очі - розвиток катаракт.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

5.1.3 Шум та вібрація

Виробничий процес на дільниці супроводжується дією віброакустичних факторів, які належать до групи фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Джерелами підвищеного шуму є:

- робота компресорів, що забезпечують стисненням повітрям установки піскоструминної обробки та пневмоприводи;
- функціонування потужних витяжних вентиляційних систем та фільтровентиляційних агрегатів;
- робота лазерного обладнання та процес різання металу. За аналогією з плазмово-механічним різанням, рівень шуму під час таких процесів може досягати 106–111 дБА;
- робота приводів роботів та генераторів.

Рівні звукового тиску на робочих місцях повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 [45] «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Перевищення допустимих норм (80 дБА) може призвести до професійних захворювань органів слуху та нервової системи, тому при роботі обладнання необхідно застосовувати звукоізоляцію або засоби індивідуального захисту (навушники).

Загальна та місцева вібрація, що виникає при роботі механізмів, нормується згідно з ДСН 3.3.6.039-99[46].

5.1.4 Електробезпека

Експлуатація роботизованих комплексів та лазерних установок пов'язана з використанням електричної енергії промислової напруги, а також високої напруги у внутрішніх колах лазерних генераторів. Згідно з класифікацією, електричний струм належить до небезпечних фізичних факторів.

						Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними причинами ураження електричним струмом на проєктованій ділянці можуть бути:

- дотик до відкритих струмоведучих частин обладнання, що знаходяться під напругою під час роботи або технічного обслуговування;
- дотик до металевих неструмоведучих частин (корпусів роботів, станин станків, захисних огорожень), які випадково опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції електричних кабелів або пробою на корпус;
- ураження електричною дугою, що може виникнути при комутаціях в електричних шафах або при аварійних режимах зварювання.

Враховуючи наявність струмопровідного металевого пилу, великої кількості металевих конструкцій (риштування) та технологічного обладнання, виробниче приміщення ділянки відноситься до категорії особливо небезпечних щодо ураження електричним струмом.

5.1.5 Хімічні фактори

Хімічні фактори на проєктованій ділянці пов'язані з виділенням у повітря робочої зони шкідливих речовин у вигляді аерозолів, газів та парів. Згідно з класифікацією, ці речовини здатні проникати в організм людини через органи дихання та шкіру, викликаючи професійні захворювання.

5.1.5.1 Зварювальний аерозоль та газ

Основним джерелом забруднення повітря є процес роботизованого дугового зварювання. У зону дихання персоналу можуть потрапляти тверді частки зварювального аерозолі, до складу якого входять оксиди заліза, марганцю, хрому, нікелю, міді, титану та алюмінію [55]. Кількісний склад аерозолі залежить від хімічного складу зварювального дроту та матеріалу труб.

					Арк. 63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Окрім твердої фази, процес супроводжується виділенням токсичних газів: оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x), фтористого водню[43].

5.1.5.2 Утворення озону при зварюванні в захисних газах

Особливу небезпеку становить процес зварювання в середовищі інертних газів (суміш $Ar + CO_2$). Інтенсивне ультрафіолетове випромінювання дуги діє на кисень повітря навколо зони зварювання, ініціюючи фотохімічну реакцію утворення озону (O_3).

Специфіка цього процесу полягає в тому, що концентрація озону під захисним щитком або в зоні обслуговування робота може перевищувати гранично допустиму концентрацію (ГДК) у 25 разів і більше. Озон є високотоксичним газом, що вражає органи дихання та слизові оболонки очей.

5.1.5.3 Токсичні пари при фарбуванні

На ділянці фінішної обробки риштування джерелом хімічної небезпеки є процес нанесення лакофарбового покриття. При висиханні фарби та використанні технічних розчинників у повітря виділяються леткі органічні сполуки (вуглеводні, спирти, ефіри). Ці речовини мають наркотичну дію на центральну нервову систему та можуть викликати гострі або хронічні отруєння.

Для захисту від дії хімічних факторів передбачено використання місцевої витяжної вентиляції та засобів індивідуального захисту органів дихання (респіраторів) відповідно до нормативів.

5.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки обладнання

Для захисту персоналу передбачено комплекс технічних та організаційних заходів, що відповідають НПА ОП 28.52-1.31-13 [50].

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.1 Огородження та блокування

Для захисту персоналу від механічних травм, впливу лазерного та ультрафіолетового випромінювання, а також запобігання несанкціонованому доступу до рухомих частин обладнання, проектом передбачено комплекс інженерних заходів.

Оскільки небезпечними факторами при роботі роботів є непередбачені рухи виконавчих органів та можливість затискання людини, робочі зони зварювальних роботів та транспортних маніпуляторів обладнуються стаціонарним захисним огородженням. Конструкція огородження виключає можливість випадкового входу людини в робочу зону під час автоматичного циклу.

Огорожа виготовляється з міцних негорючих матеріалів та має висоту, що унеможливорює переступання (рекомендовано не менше 1,1 м, проте для роботів часто застосовують суцільні або сітчасті екрани на повний зріст).

Важливим елементом системи безпеки є блокування доступу. Вхідні двері в технологічні комірки роботів та зони роботи маніпуляторів оснащуються електричними блокуваннями (кінцевими вимикачами). При відкриванні дверей або хвірток система керування автоматично знімає напругу та миттєво зупиняє роботу обладнання. Це унеможливорює травмування персоналу рухомими частинами. Також передбачено блокування, що виключає запуск обладнання, якщо захисні огородження зняті або двері незачинені.

Окремі заходи передбачені для лазерного обладнання. Лазерний станок для нарізки труб відноситься до установок закритого типу. Робоча зона різки закрита захисним кожухом, що повністю поглинає лазерне випромінювання та перешкоджає його виходу назовні. Кожух обладнаний системою блокування: при спробі відкрити його під час роботи генерація променя припиняється автоматично. Вікна для спостереження за процесом оснащуються спеціальними захисними світлофільтрами або автоматичними затворами.

					Арк. 65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

5.2.2 Вентиляція

Для забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов праці та запобігання професійним захворюванням, виробнича дільниця обладнується системами місцевої та загальнообмінної вентиляції. Оскільки технологічний процес передбачає роботизоване зварювання в суміші активного (CO_2) та інертного (Ar) газів, у повітря робочої зони виділяються зварювальний аерозоль, оксиди азоту та озон. При зварюванні в інертних газах інтенсивне УФ-випромінювання сприяє утворенню озону у високих концентраціях, що вимагає ефективного видалення забрудненого повітря. Для цього робочі зони робітв обладнуються місцевими витяжними пристроями (витяжними панелями або зонтами). Розрахункова швидкість всмоктування повітря у прорізі місцевого відсмоктувача приймається в межах від 0,15 м/с до 0,3 м/с. Цей діапазон обрано з огляду на те, що більша швидкість може порушити струмінь захисного газу і погіршити якість зварного шва, а менша - не забезпечить повного видалення токсичного озону та дрібнодисперсного аерозолю.

Процеси піскоструминної обробки (виділення пилу з вмістом SiO_2) та нанесення лакофарбового покриття (виділення парів розчинників) є особливо шкідливими. Тому ці операції проводяться виключно в герметичних камерах, що виключає розповсюдження шкідливих речовин по цеху. Камери підключені до автономних систем аспірації. Повітря, що видаляється з камер, проходить обов'язкове очищення перед викидом в атмосферу: для піскоструминних камер - через циклони та рукавні фільтри для вловлювання пилу, а для фарбувальних камер - через гідрофільтри або вугільні фільтри для вловлювання аерозолю фарби та парів.

Для розведення шкідливих речовин, що не були повністю локалізовані місцевими відсмоктувачами (залишкових 10–25%), до рівня ГДК, а також для видалення надлишкового тепла від працюючого обладнання, передбачено загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію. Проектування та розрахунок повітрообміну виконується згідно з вимогами ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення,

					Арк. 66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

вентиляція та кондиціонування» [54]. Подавання припливного повітря здійснюється безпосередньо в робочу зону або у напрямку до неї, а температура повітря в холодний період року підтримується на рівні не нижче +18...+20 °С.

5.2.3 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Відповідно до вимог ДСТУ 7239:2011 [49], усі працівники дільниці забезпечуються сертифікованими засобами індивідуального захисту. Вибір конкретних моделей здійснюється на основі їх відповідності державним стандартам безпеки.

Для захисту ніг від механічних травм, ударів (до 200 Дж), проколів підошви та впливу підвищених температур необхідно використовувати спеціальне взуття, що відповідає стандарту ДСТУ EN ISO 20345:2016 (клас захисту S3). Цим вимогам відповідають черевики українського виробника Талан, спеціалізована модель для зварювальників Талан КА414, що має захисний клапан, термостійку підошву та композитний підносок [26].



Рисунок 5.1 – Черевики для зварювальників Талан КА414

Для захисту тіла від іскор, бризок розплавленого металу та теплового випромінювання дуги електрозварники повинні використовувати спеціальний одяг згідно з ДСТУ EN ISO 11611:2016. Цим вимогам відповідає костюм зварювальника OZON SIRIUS (куртка та штани), виготовлений зі спеціалізованої вогнестійкої тканини з оздобленням Proban, що не підтримує горіння [27].

					Арк. 67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



Рисунок 5.2 – Костюм зварювальника Ozon Sirius

Захист рук від механічних пошкоджень та термічних опіків забезпечується рукавицями, сертифікованими згідно з ДСТУ EN 420 [66] та ДСТУ EN 388. Оптимальним вибором для зварювальних робіт є краги Doloni 4507 (серія D-Flame), виготовлені з високоякісного спилку, прошиті кевларовою ниткою, що забезпечує високу стійкість до розривів та вогню [28].



Рисунок 5.3 – Краги Doloni 4507

Для захисту очей та обличчя від випромінювання зварювальної дуги оператори повинні використовувати щитки згідно з ДСТУ EN 175-2001 [64] зі світлофільтрами (ДСТУ EN 169) [30]. Цим стандартам відповідає маска-хамелеон Dnipro-M WM-46, оснащена автоматичним світлофільтром з класом

						Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптичної прозорості 1/1/1/2, що дозволяє безпечно працювати в усіх режимах зварювання [65].



Рисунок 5.4 – Маска-хамелеон Dnipro-M WM-46

При виконанні лазерної різки для захисту очей від специфічного випромінювання необхідні окуляри, що відповідають ДСТУ EN 207:2017. Прикладом є захисні окуляри Uvex Ultrashield, які мають спеціальні фільтри для захисту від лазерного випромінювання та механічних часток [30].



Рисунок 5.5 – Захисні окуляри Uvex Ultrashield

Захист голови від ударів є обов'язковим згідно з ДСТУ EN 397:2001 [67]. Цим вимогам відповідає захисна каска Delta Plus Zircon 1, які виготовлені з ударостійкого пластику, мають електроізоляцію до 440В змінного струму та стійкість до бризок металу [31].



Рисунок 5.6 – Захисна каска Delta Plus Zircon 1

						Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту органів дихання від зварювального аерозолю та пилу використовуються респіратори класу FFP3 згідно з ДСТУ EN 149:2017. Ефективним засобом є респіратор 3М Aura 9332+ з клапаном видиху, який фільтрує до 99% шкідливих часток [32].



Рисунок 5.7 – Респіратор 3М Aura 9332+

Для захисту органів слуху від виробничого шуму, що перевищує норми ДСН 3.3.6.037-99 [45], застосовуються навушники згідно з ДСТУ EN 352-1:2017. Прикладом є модель 3М Peltor Optime III (H540A), яка розрахована на екстремально високий рівень шуму (SNR 35 дБ) [33].



Рисунок 5.8 – Навушники 3М Peltor Optime III (H540A)

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.4 Електробезпека

Експлуатація електрообладнання здійснюється відповідно до вимог ПУЕ-2017 та НПАОП 40.1-1.21-98 [52,61]. Оскільки виробниче приміщення належить до категорії з підвищеною небезпекою, основним заходом захисту є захисне заземлення всіх металевих частин, які можуть опинитися під напругою (корпуси роботів, лазерних станків, джерел живлення, вторинні обмотки трансформаторів).

Основні технічні вимоги:

- кожна одиниця обладнання повинна мати окремий заземлювальний провідник, приєднаний до магістралі; послідовне з'єднання апаратів забороняється;
- забороняється використовувати як зворотний зварювальний провід мережі заземлення, металеві конструкції будівлі або комунікації;
- дверцята шаф керування та кожухи обладнання повинні мати блокування, що автоматично відключають напругу при їх відкриванні;
- електричні кола захищаються від перевантажень та коротких замикань автоматичними вимикачами.

5.3 Розрахунок інженерного рішення

Розрахунок необхідного об'єму повітря (L_M) для місцевого відсмоктувача (витяжного зонту) над зварювальним роботом виконується за формулою [12,43]:

$$L_M = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (5.1)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного зонту, м^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря в перерізі зонту, м/с .

Швидкість V_0 розраховується за формулою залежності осьової швидкості від відстані:

					Арк. 71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$V_0 = 8 \cdot V_X \cdot (X/d)^2, \text{ м/с}, \quad (5.2)$$

де d – діаметр круглого отвору або еквівалентний діаметр для квадратного отвору (для квадратного зонта зі стороною a , $d \approx 1,13 \cdot a$), м;

V_X – швидкість руху безпосередньо біля джерела шкідливих викидів, м/с;

X – відстань від джерела викидів до площини всмоктуючого отвору, м.

Для зварювання в інертних газах ($\text{Ar}+\text{CO}_2$) швидкість руху повітря біля джерела (V_X) повинна бути в межах 0,15...0,3 м/с, щоб ефективно видаляти озон та аерозолі, але не порушувати газовий захист зварювальної ванни [1].

Прийmemo $V_X = 0,3$ м/с.

Прийmemo конструкцію зонта розміром 1,0 м $\times$ 1,0 м, що є достатнім для перекриття робочої зони зварювального робота.

Площа зонта:

$$F_0 = 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ м}^2. \quad (5.3)$$

Еквівалентний діаметр:

$$d = 1,13 \cdot 1,0 = 1,13 \text{ м}. \quad (5.4)$$

Відстань від центру всмоктуючого отвору до джерела зварювання прийmemo $X = 1,0$ м (оптимальна відстань для роботи маніпулятора без перешкод).

Розрахуємо швидкість у перерізі зонта (V_0):

$$V_0 = 8 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{1,0}{1,13} \right)^2 = 2,4 \cdot 0,783 \approx 1,88 \text{ м/с}. \quad (5.5)$$

Розрахуємо необхідний об'єм повітря (L_M):

$$L_M = 3600 \cdot 1,0 \cdot 1,88 = 6768 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (5.6)$$

Отримане значення продуктивності місцевої вентиляції 6768 м³/год забезпечує надійне видалення шкідливих речовин та відповідає технічним можливостям сучасних фільтровентиляційних агрегатів.

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

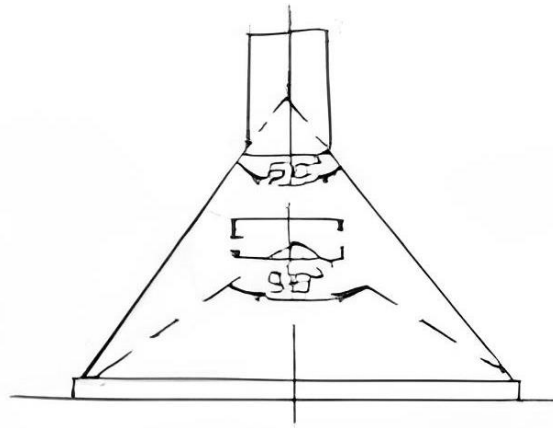


Рисунок 5.9 – Конструкція місцевої витяжної вентиляції типу зонт [36]

5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

До основних видів надзвичайних ситуацій (НС), що можуть виникнути на проєктованій ділянці, належать: пожежа, вибух балонів з газом або парів розчинників, руйнування обладнання (роботів, станків), а також ураження електричним струмом. Для запобігання НС на підприємстві розробляється план локалізації та ліквідації аварій.

5.4.1 Пожежна безпека

Згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 "Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою", категорії приміщень визначаються так:

- діляниця зварювання та різки: категорія Г (обробка негорючих речовин у гарячому стані);
- діляниця фарбування: категорія А або Б (вибухопожежонебезпечна), залежно від типу розчинників та їх кількості.

Клас зони згідно з "Правилами улаштування електроустановок" (ПУЕ) для фарбувальної ділянки – клас В-Іа або В-Іб.

						Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заходи пожежної безпеки включають наявність вуглекислотних вогнегасників (ВВК), пожежних щитів та автоматичної пожежної сигналізації.

5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Дії персоналу при аваріях:

- при пожежі: негайно знеструмити обладнання рубильником, повідомити пожежну охорону (101) та керівництво, приступити до гасіння;
- при ураженні струмом: відключити установку від мережі, звільнити потерпілого, викликати лікаря (103) та надати домедичну допомогу;
- при аварії робота/маніпулятора: натиснути кнопку аварійного відключення, не заходити в зону дії до повної зупинки механізмів.

5.4.3 Надзвичайні ситуації

Під час експлуатації проєктованої ділянки виробництва рамного риштування можливе виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного характеру. Згідно з аналізом потенційних небезпек, до основних сценаріїв розвитку аварій належать.

5.4.3.1 Вибух посудин, що працюють під тиском

На ділянці використовується значна кількість балонів зі стиснутими та скрапленими газами (вуглекислий газ, аргон для зварювання, а також гази для лазерної різки). Руйнування або вибух балонів можливі внаслідок їх падіння, механічного пошкодження вентилів маніпуляторами або перегріву від теплового випромінювання зварювальної дуги чи лазера. Це може призвести до руйнування будівельних конструкцій та ураження персоналу уламками.

						Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4.3.2 Аварійний викид шкідливих речовин та газів

Витік захисних газів: у разі розгерметизації системи подачі аргону або вуглекислого газу в закритому приміщенні можливе швидке витіснення кисню (оскільки ці гази важчі за повітря) та накопичення їх у низинах (прямках, оглядових ямах), що створює загрозу задухи для персоналу.

Відмова вентиляції при фарбуванні: зупинка витяжної вентиляції у фарбувальній камері може призвести до утворення вибухонебезпечної концентрації парів розчинників та гострого хімічного отруєння персоналу.

Накопичення озону: При аварійному відключенні місцевої вентиляції під час зварювання в середовищі аргону концентрація озону в зоні дихання може миттєво зрости до рівнів, що значно перевищують ГДК (у 25 і більше разів).

5.4.3.3 Аварії на роботизованих комплексах та маніпуляторах

Використання промислових роботів створює ризик непередбачених рухів виконавчих органів внаслідок збою програмного забезпечення або помилки оператора під час наладки.

Можливі сценарії:

- затискання людини маніпулятором при несанкціонованому вході в робочу зону;
- викид заготовки (труби рихтування) із захватного пристрою робота під дією відцентрової сили при поломці кріплень.

5.4.3.4 Руйнування лазерної установки

У разі відмови системи блокування або пошкодження захисного кожуха лазерного станка можливий вихід потужного лазерного променя за межі робочої

						Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зони, що призведе до займання навколишніх предметів, миттєвого пошкодження зору персоналу або термічних опіків.

5.4.3.5 Профілактика аварій

Для запобігання зазначеним НС на підприємстві впроваджуються такі заходи:

- розміщення балонів на відстані не менше 5 м від джерел тепла (зварювальних пальників, нагрівальних приладів) та їх надійна фіксація;
- обладнання приміщень газоаналізаторами, заблокованими з аварійною вентиляцією;
- регулярна перевірка справності кінцевих вимикачів, світлових бар'єрів безпеки та систем блокування дверей роботів і лазерних установок;
- розробка та затвердження плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій згідно з вимогами чинного законодавства [68].

						Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

6.1 Опис ідеї проєкту

В межах даного підрозділу послідовно аналізується та подається у вигляді таблиць зміст ідеї проєкту, можливі напрямки застосування та основні вигоди для користувача. Продукт отримав назву «СІВА-1» (Системи Інноваційної Виробничої Автоматизації). Це рамне будівельне риштування, виготовлене на автоматизованій лінії з використанням промислових роботів. Аналіз ідеї дозволяє сформуванню цілісного уявлення про потенціал продукту та визначити базові ринки для його впровадження [20].

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
1. Виробництво рамних риштувань методом роботизованого зварювання з високоточним дотриманням геометрії.	Будівництво та реконструкція житлових і промислових об'єктів.	Безпека персоналу (виключення браку швів). Швидкість монтажу на 20% вища завдяки ідеальній геометрії рам (відсутність перекосів).
2. Нанесення полімерного порошкового покриття в електростатичному полі.	Орендний бізнес (здача риштувань в прокат).	Довговічність (стійкість до ударів та корозії). Збереження товарного вигляду для повторної оренди.
3. Використання модульної системи з'єднань та якісне пакування.	Роздрібні продажі через будівельні гіпермаркети.	Зручність транспортування та зберігання. Можливість придбати стандартний комплект для приватних потреб.

Наступним кроком є визначення відмінностей запропонованого товару від існуючих аналогів та замінників. Проводиться порівняльний аналіз техніко-економічних характеристик ідеї власного проєкту та проєктів конкурентів. Результати аналізу, наведені у таблиці 6.2, дозволяють визначити слабкі,

нейтральні та сильні сторони пропонованого товару, що стане підґрунтям для формування його конкурентоспроможності [20, 34, 35].

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ з/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Проект СІВА-1	Конкурент 1: Завод Атлант (Україна)	Конкурент 2: Імпорт (Китай)	Слабкі (W), Нейтральні (N), Сильні (S) сторони
1	Точність геометричних розмірів	Висока ($\pm 0,5$ мм)	Середня ($\pm 2-3$ мм)	Низька (до ± 5 мм)	S
2	Якість зварних з'єднань	Стабільно висока (робот)	Залежить від зварювальника	Низька (економія)	S
3	Ціна реалізації	Середня	Середня	Низька	N
4	Антикорозійне покриття	Полімерне порошкове	Ґрунт-емаль	Тонкий шар фарби	S
5	Асортимент добірних елементів	Базовий	Широкий	Мінімальний	W

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності передбачає аналіз наявності необхідних технологій на ринку та їх доступності для авторів проекту. Результати аудиту (табл. 6.3) підтверджують принципову можливість виготовлення продукції [20].

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ з/П	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Зварювання рамної конструкції	Роботизоване MAG зварювання (FANUC + Lincoln Electric).	Технологія поширена в автопромі, адаптується під будівництво.	Доступна (необхідна закупівля РТК).
2	Підготовка труб (різка)	Лазерний розкрій труб (Tube Laser Cutting).	Наявна на ринку металообробки.	Доступна (закупівля верстата або аутсорсинг).
3	Захист від корозії	Порошкове фарбування з полімеризацією в печі.	Стандартна технологія.	Доступна.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища. Спочатку проводиться аналіз попиту: оцінюється обсяг та динаміка розвитку ринку, наявність обмежень для входу та специфічні вимоги до продукції. Результати попередньої характеристики потенційного ринку наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ з/П	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	5–7 великих заводів (Атлант, Піонер, Будмайстер) та понад 20 дрібних цехів.
2	Загальний обсяг продажів	Значний, з тенденцією до різкого зростання у відбудовний період.
3	Динаміка ринку	Зростає (попит на ремонт фасадів та нове будівництво).
4	Наявність обмежень для входу	Потреба в капітальних інвестиціях (обладнання) та сертифікації продукції.
5	Специфічні вимоги	Відповідність ДСТУ Б В.2.8-44:2011, паспортизація.
6	Середня норма рентабельності, %	20–30% (для виробників повного циклу).

					Арк.
					79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Це дозволяє зрозуміти специфіку поведінки споживачів та адаптувати продукт під їхні потреби (табл. 6.5).

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ з/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги споживачів до товару
1	Професійне виконання фасадних робіт великих обсягів	Великі будівельні компанії (Забудовники)	Наявність сертифікатів безпеки, можливість безготівкового розрахунку з ПДВ, великі складські запаси.
2	Реалізація товарів кінцевому споживачу	Національні роздрібні мережі (Епіцентр, Леруа Марлен)	Стабільність поставок, штрихкодування, якісне пакування, відстрочка платежу, маркетингова підтримка.
3	Отримання прибутку від здачі обладнання в оренду	Орендні компанії	Зносостійкість (міцність покриття), ремонтпридатність, сумісність з іншими системами.
4	Виконання ремонтних робіт малими силами	Приватні бригади, власники будинків	Низька ціна, компактність при транспортуванні (можливість перевезення бусом), простота збирання.

Після визначення цільових груп проводиться аналіз ринкового середовища на предмет наявності загроз та можливостей. Визначення факторів загроз (табл. 6.6) дозволяє розробити заходи з мінімізації ризиків, а аналіз можливостей (табл. 6.7) – окреслити перспективи розвитку бізнесу.

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

№ з/П	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Зростання цін на сировину (метал)	Підвищення собівартості продукції, зниження маржі.	Укладання довгострокових контрактів з металобазами, створення запасу труб.
2	Енергетична нестабільність	Зупинка електроємного обладнання (лазер, піч, роботи).	Встановлення промислових генераторів, перехід на нічні зміни.
3	Демпінг з боку гаражних виробників	Втрата клієнтів, чутливих до ціни.	Активна маркетингова кампанія з акцентом на безпеці та сертифікації.

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

№ з/П	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Державні програми відбудови	Різке збільшення попиту на риштування для фасадів.	Участь у тендерах Prozorro, партнерство з великими генпідрядниками.
2	Вихід на ринок ЄС	Експорт продукції за валюту.	Отримання сертифікату EN 12810, адаптація продукції під євростандарти.
3	Розширення асортименту	Захоплення суміжних ніш (вишки-тури, опалубка).	Розробка нових типів продукції на існуючому обладнанні.

Наступним етапом є аналіз пропозиції на ринку, який включає визначення загальних рис конкуренції (табл. 6.8) та більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера (табл. 6.9). Це необхідно для розуміння інтенсивності конкурентної боротьби та визначення ринкової сили постачальників і покупців.

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції	Монополістична конкуренція.	Необхідність брендування та диференціації за якістю.
2. За рівнем конкурентної боротьби	Національний (основні гравці працюють по всій Україні).	Необхідність налагодження логістики (Нова Пошта, Делівері, власний транспорт).
3. За характером конкурентних переваг	Змішана (ціна + якість).	Пошук балансу: автоматизація знижує ціну, контроль підвищує якість.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Висновки
1. Прямі конкуренти	Атлант, Піонер, Будмайстер. Інтенсивність боротьби висока, ринок насичений пропозиціями.
2. Потенційні конкуренти	Металообробні підприємства, що можуть швидко перепрофілюватися при наявності зварювального обладнання.
3. Постачальники	Металобазы (трубний прокат), постачальники фарби та дроту. Влада постачальників середня (ринок металу глобальний).
4. Клієнти	Будівельні фірми. Мають високу ринкову силу при оптових закупівлях, вимагають знижок та відстрочки платежу.
5. Товари-замінники	Автовишки, люльки, тури. Загроза низька, оскільки для масштабних фасадних робіт рамні риштування є безальтернативними.

На основі аналізу конкурентного середовища та вимог споживачів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності проекту (табл. 6.10). Далі проводиться порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту відносно конкурентів (табл. 6.11), що дозволяє виявити ключові переваги, на яких буде будуватися стратегія просування.

Таблиця 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ з/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Стабільна якість зварного шва	Робот виключає людський фактор (непровари, шлак), що гарантує паспортну несучу здатність 200 кг/м².
2	Геометрична точність рами	Лазерна різка та зварювання в кондукторі дозволяють збирати риштування без люфтів та перекосів, прискорюючи монтаж.
3	Якість покриття	Порошкова фарба стійкіша до подряпин при транспортуванні та монтажі, ніж рідка емаль конкурентів.

Таблиця 6.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін виробу

№ з/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали (1-5)	СІВА-1	Атлант (Лідер)	Китай (Імпорт)
1	Якість швів (безпека)	5	5	4	3
2	Ціна	4	4	3	5
3	Впізнаваність бренду	3	1	5	2
4	Широта асортименту	3	3	5	3
Разом		13	17	13	

Фінальним етапом ринкового аналізу є проведення SWOT-аналізу (табл. 6.12), який узагальнює сильні та слабкі сторони проекту, а також ринкові можливості та загрози. На його основі розробляються альтернативи ринкової поведінки (табл. 6.13) для виведення продукту на ринок [20].

Таблиця 6.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1. Автоматизоване виробництво (низька собівартість праці). 2. Висока якість продукту (геометрія, шви). 3. Мобільність виробництва (можливість швидкого переналагодження).	1. Відсутність історії бренду та репутації. 2. Обмежений асортимент на старті. 3. Залежність від імпортних комплектуючих для робіт.
Можливості:	Загрози:
1. Зростання ринку через відбудову України. 2. Можливість виходу на ринки ЄС. 3. Розвиток власної орендної мережі.	1. Економічна криза, зниження платоспроможності забудовників. 2. Зростання вартості металу та енергоносіїв. 3. Жорстка цінова війна з лідерами ринку.

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ з/п	Альтернатива	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Прямі продажі (B2B) великим забудовникам	Середня (потрібні зв'язки та репутація)	6-12 місяців
2	Продаж через дилерську мережу (будівельні бази)	Висока (дилери шукають якісний товар)	3-6 місяців
3	Створення власного парку оренди	Низька (потрібні великі заморожені кошти)	12-24 місяці
4	Вхід у національні роздрібні мережі (Епіцентр, Нова Лінія)	Низька (високі бар'єри входу, вимоги до обсягів, відстрочка платежів)	9-12 місяців

Обрана альтернатива: Комбінована стратегія. На початковому етапі основний акцент робиться на продаж через дилерську мережу (швидкий обіг коштів) та прямі B2B продажі. Вхід у національні мережі (Епіцентр) розглядається як стратегічна ціль другого етапу розвитку (через 1-2 роки), коли виробничі потужності дозволять забезпечити необхідні обсяги постачання без касових розривів.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії починається з вибору цільових груп потенційних споживачів (табл. 6.14). Для кожної групи визначається готовність сприйняти продукт та орієнтовний попит. На основі цього вибору формується базова стратегія розвитку (табл. 6.15), яка визначає спосіб досягнення конкурентних переваг.

Таблиця 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ з/п	Опис профілю цільової групи	Готовність сприйняти продукт	Орієнтовний попит
1	Орендні компанії. Купують обладнання для здачі в оренду. Цінують довговічність.	Висока	Стабільний, високий
2	Будівельні компанії. Генпідрядники, що виконують фасадні роботи. Цінують безпеку та документи.	Середня	Високий (сезонний)
3	Приватні бригади. Займаються утепленням приватних будинків. Цінують ціну.	Середня	Середній

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ з/п	Обрана альтернатива розвитку	Стратегія охоплення ринку	Базова стратегія розвитку
1	Виробництво високоякісних рам для професіоналів	Диференційований маркетинг	Диференціація. Акцент на вищій якості (роботизована точність) за середньою ринковою ціною.
2	Економ-лінійка для приватного сектору	Масовий маркетинг	Лідерство по витратах. Спрощення конструкції для зниження ціни.
3	Спеціалізовані риштування (для складних об'єктів)	Концентрований маркетинг	Фокусування. Виготовлення нестандартних елементів під замовлення.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.16), яка залежить від позиції компанії на ринку та дій конкурентів. Після цього розробляється стратегія позиціонування (табл. 6.17), що полягає у формуванні бажаного образу товару у свідомості споживача через ключові асоціації [20].

Таблиця 6.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ з/п	Чи є проект першопрохідцем?	Пошук нових або переманювання існуючих клієнтів?	Чи буде копіювати товар конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні (ринок сформований)	Переманювання клієнтів у лідерів за рахунок кращої якості.	Так, але з покращенням технології виготовлення (швів).	Стратегія виклику лідера (атака на співвідношення ціна/якість).
2	Ні	Пошук нових клієнтів у регіонах.	Частково (стандартні розміри).	Флангова атака (вихід на регіональні ринки, де лідери слабкі).
3	Ні	Робота з існуючими.	Ні.	Слідування за лідером (у ціноутворенні).

Таблиця 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ з/п	Вимоги до товару	Базова стратегія розвитку	Ключові позиції стартапу	Вибір асоціацій (слоган)
1	Безпека та швидкість монтажу (для профі)	Диференціація	Ідеальна геометрія та міцність швів завдяки роботам.	CIBA-1: Роботизована точність твоєї безпеки.
2	Низька ціна (для приватників)	Лідерство по витратах	Доступність якісного заводського продукту.	CIBA-1: Надійність, доступна кожному.
3	Довговічність (для оренди)	Фокусування	Зносостійке покриття та посилені вузли.	CIBA-1: Інвестиція, що працює роками.

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Маркетингова програма конкретизує інструменти впливу на ринок. Першим кроком є формування маркетингової концепції товару (табл. 6.18), яка визначає ключові переваги продукту для споживача. Далі розробляється трирівнева маркетингова модель товару (табл. 6.19), що описує товар за задумом, у реальному виконанні та з підкріпленням [20].

Таблиця 6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ з/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Безпека робітників	Гарантія відсутності тріщин у швах.	100% повторюваність зварювання роботом (у конкурентів – ручне).
2	Швидкість роботи	Легке збирання труба в трубу без заклинювання.	Лазерна різка отворів та точне базування в кондукторі.
3	Економія коштів	Довгий термін служби без ремонту.	Якісне порошкове фарбування (захист від іржі).

Таблиця 6.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Засіб для безпечного та зручного доступу до фасадних робіт на висоті.
2. Товар у реальному виконанні	Сталеві рами зі сталі S235JR, діаметр труби 42 мм, стінка 2.0 мм. Порошкове фарбування (колір на вибір). Паспорт виробу, сертифікат відповідності.
3. Товар із підкріпленням	Гарантія 3 роки на зварні шви. Послуга зворотного викупу вживаних риштувань. Безкоштовний розрахунок необхідної кількості рам під фасад клієнта.

Важливим елементом програми є ціноутворення. У таблиці 3.20 визначаються верхні та нижні межі встановлення ціни на основі аналізу цін конкурентів та доходів споживачів. Наступним кроком є вибір оптимальної системи збуту (табл. 6.21), яка забезпечить доступність товару для клієнтів. Завершується розробка програми формуванням концепції маркетингових комунікацій (табл. 6.22), що визначає канали та зміст рекламних звернень [20].

Таблиця 6.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ з/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів споживачів	Межі ціни (за секцію 2х3м)
1	Оренда автовишки: 4000-6000 грн/змін.	Атлант: ~1600 грн.	Середній (бізнес-сегмент). Нижня: 1400 грн.	Верхня: 1550 грн.
		Китай: ~1350 грн.	Середній (бізнес-сегмент). Нижня: 1400 грн.	Верхня: 1550 грн.

Таблиця 6.21 – Формування системи збуту

№ з/п	Специфіка поведінки клієнтів	Функції збуту	Глибина каналу	Оптимальна система
1	Закуповують великими партіями, потребують доставки на об'єкт.	Логістика, кредитування, консультації.	Однорівневий (Виробник -> Клієнт).	Прямі продажі (B2B).
2	Купують малі обсяги тут і зараз.	Наявність на складі в регіоні.	Дворівневий (Виробник -> Дилер -> Клієнт).	Дилерська мережа (металобазис).
3	Порівнюють ціни в інтернеті.	Інформаційна підтримка.	Нульовий рівень.	Інтернет-магазин.

Таблиця 6.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ з/п	Канали комунікацій	Ключові позиції	Завдання реклами	Концепція звернення
1	Інтернет (SEO, Google Ads, OLX)	Технологічність, ціна виробника.	Генерація лідів (дзвінків).	Риштування від заводу-виробника. Роботизована якість за ціною звичайних.
2	Галузеві виставки (KyivBuild)	Якість швів, геометрія.	Імідж, пошук дилерів.	Демонстрація зразків: Знайди відмінність від ручного зварювання.
3	Прямий маркетинг (Email, дзвінки)	Надійність постачання.	Укладання угод.	Комерційна пропозиція з розрахунком економії.

Висновки

За результатами проведеного маркетингового аналізу можна зробити висновок, що стартап-проект «СІВА-1» має високі шанси на комерційний успіх. Ринок будівельних риштувань в Україні знаходиться на етапі зростання через потреби у відновленні інфраструктури. Використання автоматизованих технологій (роботи FANUC, лазерна різка) забезпечує конкурентні переваги у якості (безпека, геометрія) та собівартості. Обрана стратегія диференціації та змішана система збуту дозволять ефективно конкурувати з існуючими гравцями та зайняти стійку ринкову позицію.

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної магістерської роботи було розроблено сучасний технологічний процес виготовлення та складання-зварювання П-подібного рамного риштування з використанням передових технологій автоматизації та роботизації. Було обрано прогресивний спосіб зварювання плавким електродом у середовищі активних газів (метод 135 згідно з ДСТУ ISO 4063), що реалізується за допомогою роботизованого зварювального комплексу, забезпечуючи стабільний катет шва та високу міцність з'єднань.

Для ефективної реалізації техпроцесу було розроблено засоби технологічного спорядження, що являють собою двохстояковий кантувач із поворотною плитою та системою механічних шарнірно-важільних затискачів. У роботі виконано перевірочний розрахунок основних елементів ЗТС, зокрема діаметрів осей шпинделів поворотної рами, які при значенні 18 мм забезпечують необхідний запас міцності для конструкції масою 15,5 кг. Після завершення автоматичного циклу зварювання передбачено проведення візуально-оптичного контролю якості швів згідно з вимогами ISO 6520.

Розроблена технологія та спроектоване планування виробничої ділянки площею 18х36 м є високоефективними та економічно вигідними, що дозволяє раціоналізувати процес виготовлення рамних риштувань. При проектуванні особлива увага приділялася вимогам охорони праці та пожежної безпеки, що відображено у раціональному розташуванні постів, забезпеченні вільних проходів та евакуаційних шляхів. Дотримання встановлених рекомендацій мінімізує вплив шкідливих факторів зварювального процесу на працівників.

Аналіз виробу як стартап-проекту підтвердив високий потенціал комерціалізації на ринку будівельних металоконструкцій, оскільки розробка пропонує якісний, технологічний та доступний продукт, що відповідає сучасним запитам галузі.

					Арк. 89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Технологія електродугового зварювання : підручник / І. В. Гуменюк, О. Ф. Іваськів, О. В. Гуменюк. Київ : Грамота, 2006. 512 с.
2. Карасьов М. В., Прохоренко В. М. Дугове зварювання плавким електродом у захисних газах : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 236 с.
3. Квасницький В. В. Теорія зварювальних процесів : підручник. Миколаїв : УДМТУ, 2002. 464 с.
4. Потап'євський А. Г. Зварювання в захисних газах плавким електродом. Частина 1. Зварювання в активних газах. Київ : Екотехнологія, 2007. 192 с.
5. Голошубов В. І., Ілюшенко В. М. Обладнання та технологія газозахисного зварювання : навч. посіб. Київ : Арістей, 2008. 324 с.
6. Римар С. В., Бондаренко А. М. Вплив складу захисної газової суміші на характеристики процесу МАG-зварювання. Вісник ДДМА. 2018. № 2 (43). С. 78–83.
7. Білокінь В. С., Левченко О. Г. Роботизація зварювальних процесів : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 184 с.
8. Патон Б. Є. Технологія електричного зварювання металів і сплавів плавленням. Київ : Наукова думка, 2002. 645 с.
9. Технологія та устаткування зварювання плавленням : метод. вказівки / уклад.: В. П. Бойко, В. Т. Котик. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 55 с.
10. Натрадзе А. Г. и др. Защита от коррозии в химико-фармацевтической промышленности. Москва : Медицина, 1974. 304 с.
11. Коваленко В. С. Технологія та обладнання лазерної обробки матеріалів : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 284 с.
12. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / уклад.: М. І. Підгурський, Б. П. Татарин, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2017. 95 с.

						Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Прохоров В. І., Бондаренко А. М. Контроль якості зварювання та контроль руйнування металів : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2010. 171 с.
14. Лисак В. В. Складально-зварювальне оснащення-2. Проектування складально-зварювальної оснастки. Курсовий проєкт: рекомендації до виконання [Електронний ресурс] : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 67 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35908>.
15. Карпенко А. С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві. Київ : Арістей, 2006. 272 с.
16. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві : навч. посіб. Київ : Основа, 2010. 240 с.
17. Засоби захисту зварювальників : каталог / під ред. О. Г. Левченка. Київ : Екотехнологія, 2012. 136 с.
18. Охорона праці та цивільний захист : підручник / за ред. О. Г. Левченка. Київ : Основа, 2019. 472 с.
19. Левченко О. Г., Арламов А. Ю. Мобільний захисний екран для нестационарних робочих місць ручного дугового зварювання. Автоматичне зварювання. 2017. № 2. С. 48–52.
20. Розроблення стартап-проєкту [Електронний ресурс] : метод. рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій / за заг. ред. О. А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/15943>.
21. FANUC Robot ARC Mate 100iD. Product Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.fanuc.eu/ua/en/robots/robot-filter-page/arc-welding-series/arcmate-100id> – Назва з екрана.
22. Lincoln Electric. Power Wave R450. Operator's Manual IM10145 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lincolnelectric.com/assets/servicenavigator-public/lincoln3/im10145.pdf> – Назва з екрана.

						Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. Lincoln Electric. AutoDrive 4R100. Wire Feeders [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lincolnelectric.com/en/products/k3002-2> – Назва з екрана.

24. Abicor Binzel. ABIROB A air cooled. Technology for the Welder's World [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.binzel-abicor.com/US/eng/products/robotic-systems/air-cooled-torches/abirob-a/> – Назва з екрана.

25. Abicor Binzel. Torch Cleaning Station BRS-CC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.binzel-abicor.com/US/eng/products/robotic-systems/peripherals/torch-cleaning-station-brs-cc/> – Назва з екрана.

26. Черевики робочі для зварювальника Талан КА414 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sso.com.ua/>

27. Костюм зварювальника OZON SIRIUS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://anvigroup.ua/>

28. Рукавички зварювальні Doloni 4507 D-Flame [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://safety-trade.com.ua/>

29. Маска зварювальника Dnipro-M WM-46 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dnipro-m.ua/>

30. Окуляри захисні Uvex Ultrashield [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://master7.com.ua/>

31. Каска захисна Delta Plus Zircon 1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://deltaplus.eu/>

32. Респіратор 3М Aura 9332+ FFP3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.3m.com.ua/>

33. Навушники протишумові 3М Peltor Optime III [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://anvigroup.ua/>

34. Офіційний сайт компанії «Атлант» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://atlant.ua> (дата звернення: 12.12.2025). – Назва з екрана.

35. Офіційний сайт заводу «Піонер» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pioner.ua> (дата звернення: 12.12.2025). – Назва з екрана.

						Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

36. ДСТУ EN ISO 4063:2022. Зварювання та споріднені процеси. Перелік та умовні позначення процесів (EN ISO 4063:2010, IDT; ISO 4063:2009, IDT). – Введ. 2022–08–01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 12 с.

37. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Дроти електродні та наплавлений метал для дугового зварювання нелегованих і дрібнозернистих сталей у захисних газах. Класифікація (EN ISO 14341:2011, IDT). – Введ. 2015–01–01. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 28 с.

38. ДСТУ ISO 14175:2004. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (ISO 14175:1997, IDT). – Введ. 2005–07–01. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 10 с.

39. Балони для технічних газів. ДСТУ 949-2019. Балони сталі безшовні для зберігання та транспортування стиснених, зріджених і розчинених газів. Технічні умови. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 28 с.

40. ДСТУ Б В.2.8-44:2011. Майданчики та драбини для будівельно-монтажних робіт. Загальні технічні умови.

41. ДСТУ EN ISO 17637:2019. Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль зварних з'єднань.

42. ДСТУ EN ISO 5817:2016. Зварювання. Зварні з'єднання із сталі, нікелю, титану та їхніх сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості за дефектами.

43. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони, № 741/35024 від 03.08.2020 р.

44. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

45. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

46. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

47. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки.

						Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

48. ДСТУ 2489-94. Контактне зварювання. Вимоги безпеки.
49. ДСТУ 7239:2011. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
50. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів.
51. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища № 0472-14.
52. НПАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
53. НПАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
54. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
55. Показники емісії забруднюючих речовин від процесів зварювання / Сердюк А. М. та ін. – К.: МОЗ України, 2003. – 23 с.
56. НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском.
57. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
58. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів.
59. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки адміністративного та побутового призначення.
60. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
61. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017.
62. НПАОП 0.00.-1.30-01. Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями.
63. ДСТУ EN 133:2005. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація.

						Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

64. ДСТУ EN 175-2001. Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів.

65. ДСТУ EN 169-2001. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів.

66. ДСТУ EN 420-2017. Загальні вимоги до рукавиць.

67. ДСТУ EN 397:2001. Каски захисні промислові.

68. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, № 424/3717 від 30.06.1999 р.

69. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

						Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

						Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		