

**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

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

(підпис)

«___» _____ 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 лазерно - зварювальної установки
WeldingBot100»**

Виконав:

студент II курсу, групи НЗ-41мп
Кучик Анатолій Миколайович

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Степанов Денис Володимирович

Консультант з охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

Завідувач кафедри, д.т.н.,

Левченко Олег Григорович

Консультант з розроблення стартап-проєкту:

Доцент, к. е. н.,

Нараєвський Сергій Вікторович

Рецензент:

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

Кучику Анатолію Миколайовичу

1. Тема дисертації «Технологія складання та зварювання лазерно - зварювальної установки WeldingBot100»

науковий керівник Степанов Денис Володимирович, к.т.н., доц.,
затверджені наказом по університету від «3 » 11 2025 р. № 4748 с.

2. Термін подання студентом дисертації _____ 15 грудня 2025 р.

3. Об'єкт дослідження - технологічний процес складання та зварювання лазерно - зварювальної установки WeldingBot100.

4. Вихідні дані: креслення загального виду установки; матеріал зварного виробу – сталь S235; умови виготовлення – цехові; температура експлуатації – від - 10 до + 30 °С; тип виробництва – дрібносерійне; кількість виготовлення – 200 одиниць на рік.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Виконати конструктивно-технологічний аналіз лазерно-зварювальної установки WeldingBot 100, охарактеризувати її функціональне призначення, технічні вимоги, конструктивну структуру та умови експлуатації. Надати характеристику зварних з'єднань несучої рами установки та основного конструкційного матеріалу. Врахувати умови виготовлення і складання конструкції, обґрунтувати вибір способу зварювання плавленням для елементів рами та корпусу, визначити типи і параметри зварних з'єднань, виконати вибір геометрії підготовки крайок. Розрахувати основні параметри режимів зварювання, обґрунтувати вибір зварювальних матеріалів і захисних газів, а також підібрати зварювальне устаткування загального та спеціального призначення. 2. Розробити технологічний процес виготовлення зварної конструкції установки WeldingBot 100 на основі визначення вихідних даних для проєктування технологічних процесів. Визначити тип зварної конструкції, виконати аналіз і порівняння базового та запропонованого варіантів розчленування конструкції на складальні одиниці й деталі. Розробити технологічні процеси виготовлення заготовок і деталей рами та корпусу установки, визначити базовий і удосконалений варіанти складально-зварювального технологічного процесу, обґрунтувати вибір раціонального варіанта. Виконати оформлення технологічної документації робочого процесу складання-зварювання та призначити методи контролю якості зварних з'єднань. 3. Розробити засоби технологічного спорядження для складально-зварювальних процесів виготовлення установки WeldingBot 100 на основі вихідних даних для проєктування оснащення. Адаптувати конструкцію складально-зварювального оснащення до геометрії та масогабаритних характеристик виробу, розробити та обґрунтувати вибір засобів механізації й автоматизації складально-зварювальних операцій, виконати компонування зварювальної установки з урахуванням ергономічних, технологічних і безпекових вимог. 4. Розробити та спланувати виробничу дільницю складання-зварювання установки WeldingBot 100. Визначити вихідні дані для проєктування дільниці, розробити раціональний варіант розміщення зварювального обладнання, технологічного оснащення та допоміжних систем, спроектувати план виробничої дільниці з урахуванням вимог охорони праці, пожежної безпеки та технологічної логістики. Сформулювати загальні висновки до технологічного розділу магістерської роботи. 5. Виконати розробку стартап-проєкту для впровадження розробленої технології складання-зварювання WeldingBot 100. 6. Проаналізувати небезпечні фактори і розробити заходи з охорони праці на виробництві.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

1. Креслення зварювання рами WeldingBot100 (A1x1); 2. Схеми технологічного процесу складання та зварювання лазерно - зварювальної установки WeldingBot100 (A1x1); 3. Креслення робочого місця (A1x1); 4. Креслення складові елементи WeldingBot100 (A1x1); 5. Креслення пластини товщиною 2 мм (A1x1); 6. Креслення послідовність гибу обшив WeldingBot100 (A1x1); 7. Електричні схеми (плакат) (A1x1); 8. Електричні схеми (плакат) (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	Нарасвський 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	15 грудня 2025 р.	

Студент _____

Анатолій КУЧИК

Науковий керівник _____

Денис СТЕПАНОВ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація написана на 126 сторінках, містить 42 рисунків, 34 таблиць, 2 формули та 30 посилань.

ЛАЗЕРНЕ ЗВАРЮВАННЯ, WELDINGBOT 100, ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ, МОНТАЖ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ, КОНСТРУКЦІЯ РАМИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЗАХИСНІ СИСТЕМИ, ЗВАРЮВАЛЬНА ГОЛОВКА, ОХОЛОДЖУВАЧ, ІНЖЕНЕРНА ІНТЕГРАЦІЯ.

У вступі обґрунтовано актуальність застосування лазерних технологій у сучасному машинобудуванні та наведено причини інтенсифікації впровадження компактних високотехнологічних комплексів для зварювання і складання металевих конструкцій.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан розвитку лазерного зварювання, класифіковано типи лазерних джерел і наведено порівняльні характеристики їх застосування у промислових системах.

Другий розділ присвячено дослідженню конструктивних особливостей і технологічних параметрів лазерно-зварювальної установки WeldingBot 100, а також її функціонально-компонентної структури та умов експлуатації.

У третьому розділі визначено технологію складання установки WeldingBot 100, наведено послідовність монтажу.

У четвертому розділі досліджено процеси зварювання елементів конструкції, встановлено оптимальні режими та обґрунтовано вибір матеріалів, захисних газів і обладнання.

У п'ятому розділі проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, а також запропоновано заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.

ABSTRACT

The master's thesis is written on 126 pages, contains 42 figures, 34 tables, 2 formulas and 30 references.

LASER WELDING, WELDINGBOT 100, ASSEMBLY TECHNOLOGY, INSTALLATION OF WELDING EQUIPMENT, FRAME DESIGN, TECHNOLOGICAL PROCESS, PROTECTIVE SYSTEMS, WELDING HEAD, COOLER, ENGINEERING INTEGRATION.

The introduction substantiates the relevance of the use of laser technologies in modern mechanical engineering and gives the reasons for the intensification of the introduction of compact high-tech complexes for welding and assembly of metal structures.

The first section analyzes the current state of development of laser welding, classifies types of laser sources and provides comparative characteristics of their application in industrial systems.

The second section is devoted to the study of the design features and technological parameters of the WeldingBot 100 laser welding installation, as well as its functional and component structure and operating conditions.

The third section defines the technology for assembling the WeldingBot 100 installation, and the installation sequence is given.

The fourth section investigates the processes of welding structural elements, establishes optimal modes, and justifies the choice of materials, shielding gases, and equipment.

The fifth section analyzes hazardous and harmful production factors, and also proposes measures to ensure safe working conditions.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ІСТОРІЯ ЛАЗЕРНИХ ДЖЕРЕЛ	8
1.1 Теоретичні основи стимульованого випромінювання	9
1.2. Перші лазери та їх розвиток.....	11
1.3. Класифікація та характеристики лазерних джерел	13
1.4. Типова лазерне зварювальне устаткування.....	22
2. WELDINGBOT 100 – КОМПЛЕКС ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ.....	32
2.1. Призначення WeldingBot 100.....	32
2.2. Властивості WeldingBot 100.....	33
2.3. Витратні матеріали WeldingBot 100.....	33
2.4. Основні складові елементи WeldingBot 100.....	35
3. УДОСКОНАЛЕННЯ УСТАНОВКИ WELDINGBOT 100	42
3.1. Обґрунтування заміни алюмінієвого профілю на сталеву профільну трубу 20 мм ×20 мм у конструкції рами лазерного зварювального апарата ..	42
3.2. Приварювання пластин 2 мм до рами для кріплення корпусу.....	45
3.3. Заміна обшиви корпусу WeldingBot 100.....	50
4. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ СКЛАДОВИХ ДЕТАЛЕЙ WELDING BOT 200.....	56
4.1. Лазерне різання	56
4.2. Зварювання	59
5. ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ WELDINGBOT 100	63
5.1. Електрична схема чиллера CB5000 у складі зварювального комплексу WeldingBot 100	63
5.2. Електрична схема системи живлення та керування зварювального комплексу WeldingBot 100	68
5.3. Електрична схема системи керування лазерним випромінюванням зварювального комплексу WeldingBot 100	70

					НЗ4 1мп. 12.05.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	WeldingBot 100			
Розроб.	Кучик А.М.							
Перевір.	Степанов Д.В.							
Н. контр.	Лисак В.В.							
Затверд.	Квасницький В.В.				КПІ ім. І. Сікарського НН ІМЗ ім. Е.О.Патона			
					Літ. Арк. Аркушів 5 126			

5.4. Схема електричних з'єднань генератора та лазерного пістолета	73
6. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ	76
6.1. Маркетинговий аналіз стартап-проєкту з виготовлення плити перекриття.....	76
6.2. Технологічний аудит ідеї проєкту	81
6.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту	96
6.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту	98
6.5. Визначення меж встановлення ціни.....	102
6.6. Формування системи збуту	103
6.7. Концепція маркетингових комунікацій	104
7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ...	107
7.1. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	108
7.2. Інженерійні рішення для забезпечення безпеки праці.....	111
7.3. Розрахунок місцевої вентиляції.....	115
7.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях	116
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	121
ДОДАТКИ	125

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування характеризується інтенсивним впровадженням високотехнологічних зварювальних систем, здатних забезпечувати високу точність, продуктивність і стабільність технологічних процесів. Одним із ключових напрямів технічного прогресу є використання лазерних джерел енергії, які дозволяють формувати зварні з'єднання із мінімальною зоною термічного впливу, низьким рівнем деформацій та високою повторюваністю результатів. Завдяки цим властивостям лазерне зварювання поступово витісняє традиційні дугові методи у сферах, де висуваються жорсткі вимоги до точності та якості конструкцій.

Зростання попиту на компактні, універсальні та енергоефективні лазерно-зварювальні комплекси стимулює розвиток інженерних рішень, орієнтованих на підвищення мобільності, функціональності та простоти обслуговування обладнання. Одним із прикладів таких систем є установка WeldingBot 100, яка поєднує високоефективне лазерне джерело, багатофункціональну зварювальну головку, інтелектуальну систему керування та інтегрований охолоджувальний модуль. Її конструкція базується на модульному підході, що забезпечує можливість модернізації, адаптації під різні виробничі умови та оптимізацію технологічних операцій складання.

Точність складання та якісне виконання зварювальних операцій є ключовими чинниками, що визначають надійність та довговічність будь-якої лазерної установки. Правильне взаємне позиціонування вузлів, дотримання параметрів зварювання, вибір відповідних матеріалів і захисних газів, а також застосування технологічно обґрунтованих режимів формування шва забезпечують стабільність роботи WeldingBot 100 у тривалих виробничих циклах.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ІСТОРІЯ ЛАЗЕРНИХ ДЖЕРЕЛ

Лазери є ключовими технологіями сучасного виробництва завдяки високій точності, локалізації теплового впливу та універсальності у застосуванні. Вони знайшли широке використання в металообробці, електроніці, медицині, а також у виробництві авіаційних, автомобільних та мікроелектронних компонентів, де необхідна надточна обробка матеріалів. Слово «лазер» походить від англійського Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, що означає «підсилення світла за допомогою стимульованого випромінювання».

Основний принцип роботи лазера полягає у створенні когерентного світлового променя з високою щільністю енергії та вузьким спектром довжин хвиль. Такий промінь дозволяє локально впливати на матеріали з мінімальними механічними та тепловими деформаціями. Завдяки цим властивостям лазери використовуються для точного різання та зварювання металів і неметалевих матеріалів, для гравіювання, нанесення захисних покриттів і навіть у мікроелектроніці для обробки надтонких структур.

Сучасні лазери відрізняються широким діапазоном потужностей, режимів роботи та довжин хвиль, що забезпечує їх універсальність. Наприклад, волоконні лазери високої потужності застосовуються для зварювання товстих металевих деталей у авіаційній та автомобільній промисловості, тоді як CO₂-лазери ефективні для різання пластику, деревини та тонколистового металу. Крім того, імпульсні лазери з надкоротким часом дії дозволяють виконувати надточне мікроабляційне оброблення, що особливо важливо в електроніці та медицині.

Використання лазерних технологій дозволяє підвищити продуктивність виробництва, зменшити матеріальні втрати та забезпечити високу якість і повторюваність обробки. Технології на основі лазерів також відкривають нові можливості для автоматизації та роботизації виробничих процесів, створюючи

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перспективи для комплексної оптимізації сучасного промислового виробництва.

1.1 Теоретичні основи стимульованого випромінювання

Ідея стимульованого випромінювання була закладена Альбертом Ейнштейном у 1917 році. Він показав, що атоми та молекули можуть випромінювати фотони не лише спонтанно, а й під впливом зовнішнього електромагнітного випромінювання. Це явище дозволяє формувати когерентний промінь світла, який зберігає фазу та напрямок випромінювання, забезпечуючи високу точність і контроль над енергією променя. Когерентність світла стала ключовою властивістю, яка визначає унікальні можливості лазерів у наукових дослідженнях, промисловому виробництві, медицині та телекомунікаціях.

У 1950-х роках концепція мейзера (maser — Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) [1], який працював у мікрохвильовому діапазоні, була адаптована для видимого та інфрачервоного світла. Це стало першим практичним кроком до створення лазерів. Мейзери продемонстрували можливість підсилення електромагнітного випромінювання за рахунок стимульованого випромінювання, що підтвердило теоретичні передбачення Ейнштейна та відкрило нові перспективи для розвитку оптичної фізики.

У 1957 році Чарльз Таунз та Артур Шаулоу на рисунку 1.1 опублікували фундаментальні роботи, у яких теоретично описали принципи роботи оптичного мейзера. Вони показали, що підсилення світла можливе не лише в мікрохвильовому діапазоні, а й у видимому та інфрачервоному спектрі. Ці дослідження заклали наукову базу для створення лазера як практичного інструменту, здатного генерувати вузьконаправлене і когерентне світло з високою щільністю енергії.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

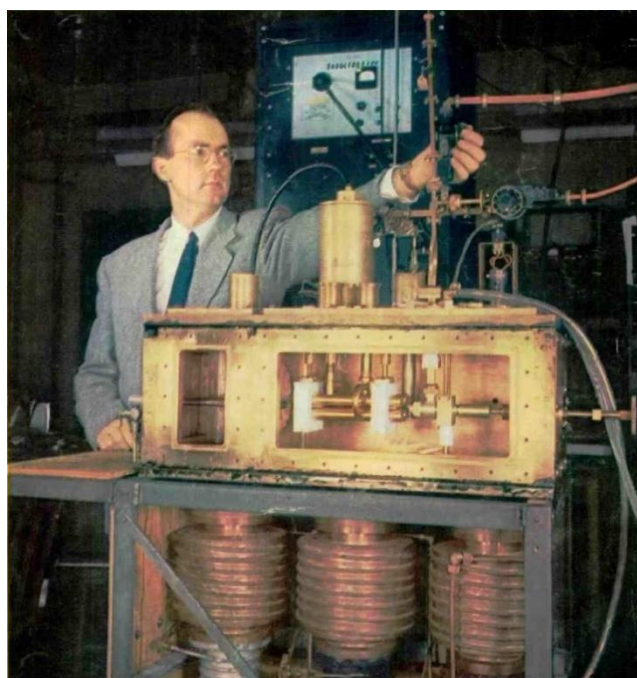


Рисунок 1.1 – Microwave Amplification by Stimulated of Radiation [1]

Протягом наступних років було проведено низку експериментів, які підтвердили правильність теоретичних моделей. У 1960 році Теодор Майман створив перший робочий лазер на рубіні, що генерував вузький, червоний когерентний промінь світла. Цей винахід став справжнім проривом у фізиці та техніці, відкривши нову еру лазерних технологій. Поява лазера дозволила здійснити точне різання та зварювання матеріалів, високоточне гравіювання, спектроскопічні дослідження та багато інших технологічних процесів, які були неможливі до цього часу.

Завдяки своїй історії розвитку від теоретичної концепції стимульованого випромінювання до створення практичних лазерів, ця технологія стала основою для численних сучасних наукових і промислових застосувань. Лазери не лише змінили підходи до обробки матеріалів, але й сприяли розвитку високоточних медичних процедур, телекомунікацій, систем автоматизації виробництва та досліджень у фундаментальній фізиці, підкреслюючи значущість їх відкриття для всіх галузей науки і техніки.

1.2 Перші лазери та їх розвиток

1960 рік, 16 травня: Теодор Майман створив перший робочий рубіновий лазер у Hughes Research Laboratories. Лазер випромінював червоне світло з довжиною хвилі 694 нм і працював у імпульсному режимі з тривалістю імпульсу близько 1–2 мкс та енергією імпульсу до 0,5 Дж. Когерентність променя була надзвичайно високою, а спрямованість забезпечувала мінімальне розсіювання світла. Цей лазер став першим практичним підтвердженням принципу стимульованого випромінювання, відкривши шлях до точного оптичного впливу на матеріали, спектроскопії та наукових експериментів у видимому діапазоні [1].

1960 рік, грудень: Bell Labs створили перший безперервний газовий лазер He-Ne з довжиною хвилі 632,8 нм, потужністю променя близько 1–5 мВт. Він працював у безперервному режимі, що забезпечувало стабільність та постійний потік когерентного світла. Завдяки високій спрямованості і низькому рівню шуму, лазер He-Ne став ідеальним для точних лабораторних вимірювань, калібрування оптичних приладів, інтерферометрії та досліджень когерентних оптичних систем.

1964 рік: Кумар Пател розробив CO₂-лазер з довжиною хвилі 10,6 мкм у середньо-інфрачервоному діапазоні. Потужність таких лазерів досягала кількох кіловат у безперервному режимі, а щільність енергії на поверхні матеріалу могла сягати від 10⁴ Вт/см² до 10⁵ Вт/см². CO₂-лазери швидко здобули популярність у промисловості завдяки високій ефективності та здатності обробляти метали, пластики, деревину та інші матеріали. Вони стали основним інструментом для лазерного різання, зварювання та поверхневої обробки.

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У наступні роки з'явилися твердотільні лазери (Nd:YAG, рубінові), діодні лазери та волоконні лазери:

– nd:YAG лазери працюють на довжині хвилі 1064 нм, забезпечують імпульсну потужність до кількох кілоджоулів і використовуються для зварювання, різання товстих металевих деталей та мікромеханічної обробки;

– діодні лазери компактні та енергоефективні, з потужністю від десятків мВт до сотень Вт, застосовуються у лазерній указці, лазерній терапії, телекомунікаціях та інтегрованих промислових системах;

– волоконні лазери забезпечують стабільний вузькоспрямований промінь з високою щільністю енергії (до 10^6 Вт/см²) і легко інтегруються в автоматизовані виробничі лінії для обробки металів, 3D-лазерного друку та високоточних зварювальних процесів.

Завдяки такій еволюції від перших експериментальних моделей до сучасних високопотужних і компактних систем, лазери стали універсальним інструментом у промисловості, медицині, науці та телекомунікаціях. В таблиці 1.1 наведено характеристики лазерів.

Таблиця 1.1 – Характеристики лазерів [2]

Рік	Тип лазера	Довжина хвилі	Режим роботи	Потужність променя	Основні характеристики	Основні сфери застосування
1960, 16 травня	Рубіновий лазер	694 нм	Імпульсний	~0,5 Дж/імпульс, тривалість 1–2 мкс	Висока когерентність, вузькоспрямований промінь	Наукові дослідження, спектроскопія, точна оптична обробка
1964	CO ₂ -лазер	10,6 мкм	Безперервний /імпульсний	до кількох кВт	Висока щільність енергії, ефективний для обробки товстих матеріалів	Різання, зварювання металів та пластиків, промислова обробка

1.3 Класифікація та характеристики лазерних джерел

За середовищем генерації.

Газові лазери (CO_2 , He-Ne, Ar^+).

Газові лазери належать до найпоширеніших типів лазерних джерел випромінювання, що використовуються у промислових та науково-технічних сферах. Їхня популярність зумовлена високою стабільністю оптичного випромінювання, тривалим ресурсом роботи та можливістю реалізації значних вихідних потужностей [2].

CO_2 -лазери.

Діоксид-вуглецеві лазери працюють у середньому інфрачервоному діапазоні (довжина хвилі $\approx 10,6$ мкм) і характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії (до 30 %). Вони здатні забезпечувати вихідну потужність від десятків ват до кількох кіловат, що робить їх ефективними для термічної обробки матеріалів — зокрема, різання, зварювання, гравіювання та термообробки металів і неметалів. Також CO_2 -лазери застосовуються у медичній техніці для високоточної хірургії завдяки можливості локалізованого впливу на тканини.

He-Ne-лазери.

Гелій-неонові лазери генерують когерентне випромінювання у видимому червоному діапазоні спектра (довжина хвилі 632,8 нм). Вони відзначаються високою стабільністю частоти, низьким рівнем шумів та малою вихідною потужністю (до кількох міліват). Застосовуються переважно у системах оптичних вимірювань, юстування, прицілювання, а також у науково-дослідних і лабораторних установах.

Ar^+ -лазери.

Аргонові лазери належать до іонних типів і забезпечують випромінювання у синьо-зеленій області спектра ($\lambda \approx 514$ нм).

Завдяки високій спектральній чистоті та стабільності вони широко використовуються у медицині (особливо в офтальмології), голографії,

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спектроскопії та прецизійних наукових експериментах, де потрібна точність позиціювання та стабільність енергетичних параметрів променя.

Твердотільні лазери (Nd:YAG, рубіновий).

Твердотільні лазери характеризуються компактністю, високою механічною міцністю та стабільністю роботи, що забезпечує їх широке застосування у промислових, наукових і мобільних лазерних установках. Активним середовищем таких лазерів є кристалічні матеріали, леговані іонами рідкісноземельних елементів, що дозволяє отримувати когерентне випромінювання з високою стабільністю параметрів.

Nd:YAG-лазери.

Неодим-ітрієво-алюмінієві гранатові лазери ($\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) працюють з довжиною хвилі близько 1064 нм і можуть функціонувати як у безперервному, так і в імпульсному режимах. Завдяки високій концентрації енергії та можливості передавання випромінювання через волоконні системи, ці лазери широко застосовуються для зварювання металів, різання, мікрозварювання та термічної обробки точних елементів. Типова вихідна потужність промислових установок становить від десятків до тисяч ват.

Рубінові лазери.

Активним середовищем рубінового лазера є кристал оксиду алюмінію (Al_2O_3), легований іонами хрому (Cr^{3+}). Випромінювання формується в червоній області спектра (довжина хвилі 694 нм). Ці лазери працюють, переважно, в імпульсному режимі та використовуються у наукових дослідженнях, медичній хірургії (зокрема, офтальмології) і ювелірній промисловості для прецизійного локального нагріву поверхні матеріалу.

Напівпровідникові (діодні) лазери.

Напівпровідникові лазери (лазерні діоди) є компактними, енергоефективними та високонадійними джерелами випромінювання, що базуються на електричній інжекції носіїв заряду у p-n-перехід. Основними перевагами цих лазерів є мала маса, низьке енергоспоживання та можливість інтеграції у склад електронних і оптичних систем.

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діодні лазери застосовуються для прецизійного точкового нагріву, лазерного маркування, медичної терапії та зварювання малогабаритних деталей. Залежно від конструкції та режиму роботи, вихідна потужність може змінюватися у діапазоні від кількох міліват до сотень ват, що забезпечує їх універсальність у мікрозварювальних, вимірювальних і технологічних системах контролю виробничих процесів.

Волоконні лазери.

Волоконні лазери належать до сучасного покоління твердотільних лазерів, у яких активним середовищем є оптичне волокно, леговане рідкісноземельними елементами (найчастіше іонами ітербію, ербію або тулію). Такі системи відзначаються високою щільністю потужності, відмінною якістю та стабільністю променя, а також низькими оптичними втратами завдяки повному внутрішньому відбиттю у волоконній структурі.

Типова довжина хвилі випромінювання волоконних лазерів становить від 1070 нм до 1090 нм, що відповідає інфрачервоному діапазону. Високий коефіцієнт корисної дії (понад 30 %) забезпечує енергоефективність та зниження експлуатаційних витрат, що робить їх економічно доцільними для використання у масовому та серійному виробництві.

У промисловості волоконні лазери широко застосовуються для зварювання, різання та гравіювання металів підвищеної твердості, а також для обробки складних профілів і деталей зі сплавів алюмінію, сталі та титану. Завдяки високій стабільності параметрів випромінювання і можливості точного керування режимами роботи, ці лазери забезпечують високу якість зварних з'єднань та мінімальне термічне викривлення оброблюваних заготовок.

За типом випромінювання.

Безперервне випромінювання (Continuous Wave, CW).

Режим безперервного випромінювання (Continuous Wave, CW) характеризується генерацією стабільного лазерного променя постійної потужності у часі. На відміну від імпульсного режиму, у якому енергія

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подається короткими сплесками, CW-режим забезпечує рівномірне теплове навантаження на поверхню оброблюваного матеріалу. [2]

Такий режим використовується переважно для зварювання товстостінних деталей, різання листового металу, а також термічної обробки поверхонь, де необхідне стає і контрольоване нагрівання без різких перепадів температури. Завдяки цьому забезпечується глибоке проплавлення зони зварювання, стабільна якість шва та мінімальна кількість термічних деформацій.

Імпульсне випромінювання (Pulsed).

Режим імпульсного випромінювання (Pulsed) передбачає генерацію серії короткотривалих імпульсів високої пікової потужності при відносно низькому середньому енергоспоживанні. Такий режим забезпечує локалізоване нагрівання зони обробки без суттєвого термічного впливу на навколишні ділянки матеріалу.

Імпульсне випромінювання дозволяє досягати високої щільності енергії на малій площі фокусування, що робить можливим прецизійне керування глибиною проплавлення та геометрією зони термічного впливу. Завдяки цим властивостям імпульсні лазери застосовуються для мікрозварювання, обробки тонких матеріалів, лазерного свердління, гравіювання та інших високоточних технологічних процесів.

За довжиною хвилі.

Ультрафіолетові лазери (UV).

Ультрафіолетові (UV) лазери працюють у короткохвильовому діапазоні спектра з довжиною хвилі менше 400 нм. Завдяки малій довжині хвилі, вони забезпечують високу просторову роздільну здатність, мінімальну зону термічного впливу та високу точність енергетичного впливу на оброблюваний матеріал.

Такі лазери широко застосовуються у високоточних технологічних процесах, зокрема для мікрозварювання, лазерного очищення поверхонь, формування мікроструктур у полімерних матеріалах, а також у

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нанотехнологіях. Завдяки можливості керованого впливу на матеріали з малою глибиною проникнення випромінювання, ультрафіолетові лазери ефективно використовуються для обробки тонких шарів, мікрочіпів і прецизійних компонентів, де вимагається висока точність та чистота обробки.

Видимі лазери (Visible).

Видимі лазери працюють у спектральному діапазоні від 400 нм до 700 нм, що відповідає зонам сприйняття людського ока. Основними різновидами є червоні (≈ 630 нм) та зелені (≈ 520 нм) лазери, які відзначаються високою яскравістю випромінювання та чіткою візуалізацією променя на різних типах поверхонь.

Такі лазери переважно застосовуються для візуального контролю, позиціонування, юстування, маркування та індикації робочих зон у промислових установках. Завдяки добрій видимості випромінювання навіть при денному освітленні, вони забезпечують точне налаштування технологічного обладнання, контроль траєкторій обробки та зручність оператора під час виконання лазерних технологічних процесів.

Інфрачервоні лазери (IR).

Інфрачервоні (IR) лазери працюють у спектральному діапазоні довжини хвилі понад 700 нм, прикладами є CO₂-лазери та Nd:YAG-лазери. Завдяки довшій хвилі випромінювання вони забезпечують глибоке проникнення енергії у матеріал та високу щільність потужності в зоні обробки.

Такі лазери широко застосовуються для зварювання, різання, термічної обробки та локального нагріву металевих та сплавних заготовок. Висока глибина проникнення променя дозволяє ефективно обробляти товсті листи та складні деталі, забезпечуючи стабільну якість зварних з'єднань і мінімізацію термічних деформацій.

Ключові характеристики лазерних джерел.

Довжина хвилі (λ) визначає взаємодію лазерного променя з оброблюваним матеріалом, глибину проникнення енергії та вибір оптимального технологічного режиму. Вона є критичною при роботі з різними

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

металами, сплавами та неметалевими матеріалами, оскільки впливає на ефективність поглинання енергії та рівномірність нагріву. Вихідна потужність включає як середню, так і пікову імпульсну потужність і безпосередньо визначає швидкість обробки, глибину проплавлення, якість шва або різу, а також енергетичні витрати системи. Висока потужність дозволяє ефективно працювати з товстими листами металу, тоді як мала потужність використовується для точкового нагріву та мікрообробки.

Щільність енергії характеризує концентрацію лазерної енергії на одиницю площі і є важливим параметром для контролю локального нагріву та запобігання термічним деформаціям. Вона дозволяє точно визначати глибину проникнення променя та обмежувати теплову зону впливу, що особливо актуально при обробці тонких деталей та високоточних компонентів. Стабільність променя визначає рівномірність енергетичного впливу на матеріал і безпосередньо впливає на якість швів, різів та гравіювання. Низький рівень флуктуацій променя забезпечує повторюваність технологічного процесу та високу точність обробки навіть у тривалих виробничих серіях.

Режим випромінювання може бути безперервним (Continuous Wave, CW) або імпульсним (Pulsed) і визначає характер теплового впливу на матеріал. Безперервний режим дозволяє стабільно нагрівати поверхню та забезпечує рівномірне проплавлення для товстостінних заготовок, тоді як імпульсний режим створює короткі високопотужні сплески енергії, що дозволяє локально обробляти матеріал без перегріву навколишніх зон. Якість променя (M^2) характеризує колімованість, сферичність та фокусованість випромінювання і є визначальною для прецизійного зварювання, мікрозварювання та обробки дрібних деталей. Висока якість променя дозволяє концентрувати енергію у малу площу, підвищуючи точність технологічного процесу.

Режим накачування визначає ефективність перетворення електричної енергії в когерентне лазерне випромінювання та загальні енергетичні витрати установки. Вибір оптимального способу накачування (оптичне, електричне або діодне) дозволяє збільшити ресурс роботи лазерної системи та знизити

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатаційні витрати. Комплексне врахування усіх характеристик — довжини хвилі, потужності, щільності енергії, стабільності променя, режиму випромінювання, якості променя та режиму накачування — забезпечує ефективний підбір лазерних установок під конкретні виробничі завдання. Це дозволяє досягти високої точності обробки, стабільності технологічного процесу та економічності виробництва, а також мінімізувати дефекти і термічні деформації оброблюваних деталей.

Промислові застосування лазерів.

Лазери сьогодні займають важливе місце у промисловості завдяки своїй високій точності, контролю над енергією та можливості локального впливу на матеріал. Їх застосування можна умовно поділити на три основні напрямки: різання та гравіювання, очищення поверхні та зварювання. Кожен з цих напрямків має свої технологічні особливості та переваги.

Різання та гравіювання.

Лазерне різання є однією з найбільш поширених технологій обробки матеріалів у промисловості. Воно забезпечує високу точність обробки, мінімальні механічні деформації та стабільність геометричних параметрів деталей, що особливо важливо при роботі з тонколистовими металами або складними профільними заготовками. Принцип роботи полягає у локальному нагріві матеріалу лазерним променем до стану плавлення або випаровування. Розплавлений матеріал видаляється із зони різку струменем допоміжного газу, наприклад, азоту або кисню, що дозволяє підтримувати чистоту та якість кромки.

Переваги лазерного різання включають високу точність та відтворюваність геометрії деталей, можливість обробки матеріалів різної товщини, відсутність прямого контакту інструменту з оброблюваним матеріалом, що зменшує знос обладнання та запобігає механічним пошкодженням, а також мінімальну зону термічного впливу, що дозволяє обробляти тонкі метали та композитні матеріали без деформацій та термічних викривлень.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лазерне гравіювання застосовується для створення малюнків, декоративних елементів, серійного маркування та нанесення логотипів на різні матеріали, такі як метал, пластик, кераміка та скло. Особливості цього процесу включають використання короткоімпульсних або волоконних лазерів, що забезпечує чіткість зображення та мінімальний тепловий вплив на матеріал. Регулювання потужності та частоти імпульсів дозволяє працювати з різними матеріалами та досягати високої точності обробки. Застосування охоплює ювелірну промисловість, електроніку, автомобільну та аерокосмічну галузі, де необхідне нанесення маркування високої точності та чітких графічних елементів.

Лазерне очищення (абляція).

Лазерне очищення є технологією, що дозволяє видаляти оксидні шари, фарбу, корозійний наліт та інші забруднення з поверхні матеріалу без застосування хімічних реагентів. Принцип роботи полягає у впливі лазерного променя на верхній шар матеріалу, що викликає його випаровування або термічне руйнування (абляцію), при цьому основний матеріал залишається практично не ушкодженим.

Переваги лазерного очищення включають локалізований вплив на поверхню, що дозволяє обробляти навіть дрібні та складні елементи, високий рівень точності та контрольованості процесу, відсутність використання хімічних речовин, що робить технологію екологічно безпечною, а також можливість регулювати шорсткість поверхні та покращувати адгезію наступних покриттів, таких як фарбування або нанесення керамічних шарів.

Застосування лазерного очищення охоплює видалення фарби та корозії з металевих конструкцій, деталей машин та суден, підготовку поверхні перед нанесенням покриттів у авіаційній та автомобільній промисловості, а також очищення старих деталей без їх механічного пошкодження. Завдяки високій точності та контролю теплового впливу, лазерне очищення забезпечує високу якість обробки, економію матеріалів та скорочення експлуатаційних витрат у порівнянні з традиційними методами механічного або хімічного очищення.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лазерне зварювання.

Лазерне зварювання є однією з найбільш сучасних технологій з'єднання металевих та неметалевих матеріалів. Принцип роботи полягає у концентрації лазерного променя великої потужності на невеликій ділянці матеріалу, що викликає локальне плавлення поверхні. Охолодження розплавленої зони забезпечує утворення високоякісного зварного з'єднання з мінімальною деформацією та швом малих розмірів. Імпульсні лазери дозволяють точно контролювати глибину проникнення променя та уникати перегріву матеріалу, що особливо важливо при обробці тонких деталей або сплавів з високою теплопровідністю.

Переваги лазерного зварювання включають високу швидкість процесу, що дозволяє скоротити час виробництва, малу зону термічного впливу (Heat-Affected Zone, HAZ), яка зберігає механічні властивості матеріалу, та можливість зварювання складних і тонких деталей, де традиційні методи є неефективними. Точність та повторюваність шва забезпечують високу якість обробки, а автоматизація за допомогою роботизованих установок дозволяє інтегрувати технологію у серійне виробництво та промислові лінії з високою продуктивністю.

Сфери застосування включають автомобільну промисловість, де лазерне зварювання використовується для каркасів кузовів, дверей, панелей та елементів двигунів; аерокосмічну галузь, де здійснюється з'єднання легких сплавів, таких як алюміній і титан, із високими вимогами до міцності та точності; електроніку та мікроелектроніку, для мікрозварювання контактів, сенсорів та точних металевих плат; а також ювелірну справу та медичну техніку, де важлива мінімальна зона термічного впливу та висока точність з'єднань.

Типи лазерів, що застосовуються для зварювання, включають Nd:YAG лазери, які забезпечують глибоке проникнення та можливість роботи як у безперервному, так і імпульсному режимі; волоконні лазери, що характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії, стабільним променем та

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

придатні для серійного промислового виробництва; та CO₂ лазери, які забезпечують високу потужність для роботи з товстими металевими заготовками і важкими конструкціями.

Особливості технології включають можливість поєднання лазерного зварювання з додатковим подаванням дроту або порошку для заповнення шва (гібридне лазерне зварювання), а також контроль процесу за допомогою датчиків та камер, що дозволяє автоматично коригувати параметри лазера для забезпечення стабільності якості шва. Мінімізація внутрішніх напружень та деформацій досягається завдяки точному локальному нагріву, що забезпечує збереження геометрії деталей та високі механічні характеристики матеріалу.

1.4 Типове лазерне зварювальне устаткування

Історичний розвиток лазерних технологій.

Лазерні технології почали активно розвиватися у середині ХХ століття після відкриття першого лазера Теодором Майманом у 1960 році. Перші лазери були твердотільними (рубіновий лазер) і швидко знайшли застосування в наукових дослідженнях, телекомунікаціях та обробці матеріалів. У 1965 році почалися експерименти з використання лазерного променя для зварювання металів, коли було встановлено, що сфокусоване випромінювання дозволяє локально розплавляти матеріал з високою точністю. Перші промислові системи з лазерним зварюванням з'явилися у 1970-х роках у автомобільній та авіаційній промисловості для виготовлення високоточних вузлів із алюмінію та сталі. [3]

До 1980-х років основні проблеми лазерного зварювання були пов'язані з недостатньою потужністю джерел, високою вартістю обладнання та складністю систем позиціонування. Поява волоконних лазерів і твердотільних Nd:YAG у 1990-х роках значно розширила можливості технології, дозволивши обробляти деталі зі сталі різних марок із високою якістю шва та низькою зоною термічного впливу. У ХХІ столітті лазерне зварювання стало одним із

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ключових методів з'єднання конструкційних сталей у високотехнологічних галузях: енергетиці, автомобілебудуванні, аерокосмічній промисловості та приладобудуванні.

Принцип роботи лазерного зварювання.

Лазер є джерелом когерентного та монохроматичного випромінювання, яке характеризується високою щільністю енергії та низькою розбіжністю променя. Концентрація енергії лазерного променя на поверхні металу забезпечує локальне плавлення матеріалу та є основою процесу лазерного зварювання. [3]

Поглинання лазерного випромінювання поверхнею матеріалу відбувається за рахунок перетворення фотонної енергії у теплоту. Ступінь поглинання залежить від довжини хвилі лазера, типу металу та його поверхневої обробки. Нагрівання та плавлення металу відбувається при високій щільності потужності, формуючи вузьку зону розплаву. Для сталі середньої товщини від 1 мм до 10 мм достатньо потужності волоконного лазера від 1 кВт до 6 кВт, що забезпечує ефективне формування шва без надмірного нагріву навколишніх зон.

Формування ключового отвору (keyhole) виникає при потужності понад від 2 кВт до 3 кВт, коли лазер створює невелику порожнину в розплавленому матеріалі. Це дозволяє глибше проникати в зварюваний шов, зберігаючи мінімальний тепловий вплив на суміжні ділянки. Охолодження та кристалізація зони плавлення відбуваються швидко, що забезпечує високу щільність металу, мінімальну деформацію та стабільні механічні властивості шва.

Результат процесу — це високоточні зварні з'єднання з мінімальною зоною термічного впливу (ЗТВ), високою повторюваністю параметрів шва та стабільною геометрією. Такий підхід дозволяє використовувати лазерне зварювання як для товстих, так і для тонких деталей із різних металевих сплавів, зберігаючи механічні характеристики матеріалу та забезпечуючи оптимальну продуктивність виробництва.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні типи лазерних джерел для промислового зварювання сталей.

Волоконні лазери (Fiber laser) характеризуються високою ефективністю — до 40 % — та стабільною роботою як у безперервному (Continuous Wave, CW), так і в імпульсному режимі. Розбіжність променя у волоконних лазерах є невеликою, що дозволяє фокусувати промінь на діаметрі менше 0,6 мм і забезпечувати високу точність зварювання. Застосування цих лазерів найчастіше спрямоване на зварювання тонких і середніх сталевих листів, а також профільних елементів у серійному виробництві, де важлива повторюваність та стабільність технологічного процесу. [3]

Твердотільні Nd:YAG лазери мають довжину хвилі 1,06 мкм і добре підходять для автоматизованого зварювання, особливо коли необхідне використання імпульсних режимів. Передача променя може здійснюватися як через оптоволоконні системи, так і традиційним оптичним трактом, що забезпечує гнучкість інтеграції у виробничі лінії. Застосування Nd:YAG лазерів ефективно при мікрозварюванні точних деталей та при роботі зі складними конфігураціями зварних елементів.

CO₂-лазери характеризуються довжиною хвилі 10,6 мкм та високою вихідною потужністю, що дозволяє працювати з товстими металевими заготовками. Обмеження цих лазерів полягає у складності передачі променя через оптоволокно, що ускладнює інтеграцію в сучасні автоматизовані виробничі системи. Застосування CO₂ – лазерів у сучасному промисловому зварюванні сталі зустрічається рідше через громіздкість системи, потребу у великому робочому просторі та складність експлуатації.

Висновок: вибір типу лазера для промислового зварювання сталі визначається товщиною заготовки, необхідною точністю шва, режимом роботи (CW або імпульсний) та умовами інтеграції у виробничу лінію. Використання волоконних та Nd:YAG лазерів забезпечує оптимальне поєднання продуктивності, точності та економічності процесу, тоді як CO₂ – лазери застосовуються у спеціалізованих випадках, де потрібна висока потужність для роботи з товстими матеріалами.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будова і компонування лазерної зварювальної установки.

Лазерна зварювальна установка є комплексом високотехнологічного обладнання, що поєднує оптичні, механічні, електронні та програмні системи. Функція установки полягає у забезпеченні ефективного та стабільного перенесення лазерного випромінювання у зону зварювання сталевих деталей та контролю всіх параметрів процесу. Компоненти сучасних промислових систем включають декілька основних модулів, кожен із яких відповідає за критичний аспект роботи.

Джерело лазерного випромінювання забезпечує генерацію когерентного променя високої щільності енергії. Волоконні лазери є найбільш поширеними завдяки високій ефективності перетворення електроенергії у світлову, стабільності параметрів та простоті інтеграції у роботизовані системи. Nd:YAG лазери застосовуються для імпульсного зварювання та обробки деталей складної геометрії, а CO₂-лазери все ще використовуються для високопотужних процесів на товстих сталевих заготовках, але вимагають складного оптичного тракту. Джерело обладнано системою охолодження та електронним блоком керування потужністю та режимами променя.

Система транспортування випромінювання відповідає за доставку променя від джерела до зварювальної головки. Оптичне волокно використовується для волоконних лазерів, забезпечуючи передачу променя без значних втрат. Оптичний тракт Nd:YAG і CO₂-лазерів складається з високоточних дзеркал та лінз, що гарантують стабільне напрямлення променя. Дихроїчні дзеркала можуть застосовуватися для поєднання допоміжного світла або зворотного контролю шва. Фокусування променя визначає точність обробки та мінімальний діаметр плями.

Фокусуєча оптика (зварювальна головка) складається із набору лінз, що концентрують промінь у вузьку пляму діаметром від 0,1 мм до 0,6 мм. Сопло інтегроване для подачі газу, що захищає зварювальну ванну та стабілізує ключовий отвір. Датчики контролю положення фокусу забезпечують постійну

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

глибину проникнення променя. Система охолодження головки підтримує стабільну температуру та точність фокусування навіть при тривалій роботі.

Система подачі та фіксації деталей забезпечує рух заготовок під променем на роботизованому столі або їх фіксацію на CNC-маніпуляторах. Синхронізація руху головки та деталей дозволяє формувати рівномірний шов. Позиціонери, обертові столи та спеціальні затискачі застосовуються для роботи з великими або важкими деталями у промислових умовах.

Газозахисна система подає інертний газ (аргон або гелій) у зону зварювання для захисту розплаву від окиснення, що критично для конструкційних сталей з високим вмістом легувальних елементів. Подача газу може здійснюватися через зварювальну головку або окремо, при цьому кут подачі та швидкість газу визначають стабільність шва та мінімізують турбулентність.

Система керування і моніторингу контролює параметри лазера (потужність, режим роботи — CW або імпульсний), переміщення головки та деталі. Датчики та камери дозволяють відслідковувати шов у реальному часі. Інтеграція з роботом або CNC-столом забезпечує автоматизацію процесу та високу повторюваність результатів.

Система охолодження обов'язкова для підтримки стабільної роботи джерела лазера та оптики. Холодоносії (вода або спеціальні рідини) знижують ризик перегріву та зберігають параметри променя навіть при тривалих циклах роботи.

Додаткові компоненти включають захисні екрани та корпуси для безпеки оператора, пульт керування та інтерфейси для програмування технологічних режимів, а також модулі автоматичного очищення оптики від пилу або розплавленого металу.

Технологічні особливості процесу лазерного зварювання сталі.

Фокусування променя є критично важливим для сталевих конструкцій, оскільки воно визначає постійну глибину зварного шва, що залежить від потужності лазера, діаметра променя та швидкості переміщення. Контроль

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

глибини здійснюється за допомогою датчиків висоти та автоматичних коректорів фокусу, які компенсують нерівності поверхні та забезпечують стабільне проникнення променя.

Товщина та тип сталі суттєво впливають на вибір режиму зварювання. Листи товщиною до 5 мм дозволяють виконувати безперервне зварювання з високою швидкістю, тоді як товсті деталі від 8 мм до 10 мм і більше потребують гібридного режиму — поєднання лазера та дуги — для формування глибокого шва без збільшення теплового впливу на сусідні зони. Тип сталі (конструкційна, низьковуглецева, нержавіюча) визначає оптимальний вибір лазера та режиму роботи, імпульсного або безперервного.

Контроль якості шва забезпечується оптичними та інфрачервоними сенсорами, які відстежують форму ключового отвору та температуру зони плавлення. Автоматичний моніторинг запобігає появі пор, тріщин та непроварів, гарантуючи повторюваність та стабільність параметрів шва.

Зменшення теплового впливу досягається завдяки малому діаметру променя та високій швидкості руху, що обмежує зону термічного впливу до від 0,2 мм до 0,5 мм. Мінімізація деформацій та внутрішніх напружень особливо важлива для відповідальних сталевих конструкцій, де точність геометрії та механічні характеристики мають критичне значення.

Імпульсний режим дозволяє точно контролювати тепловий внесок у матеріал, уникати прожогів та підвищувати якість шва на тонких або складних елементах. Налаштування частоти та тривалості імпульсів підбирається залежно від товщини та типу металу, що забезпечує оптимальний баланс між глибиною проникнення та локалізацією нагріву.

Робота в автоматизованих комплексах дозволяє зварювати складні форми та великі деталі без ручного втручання. Синхронізація руху зварювальної головки та деталей забезпечує стабільність шва, високу продуктивність і повторюваність процесу у серійному виробництві.

Висновок: дотримання технологічних особливостей лазерного зварювання сталі — від точного фокусування та контролю глибини

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проникнення до вибору режиму та автоматизації процесу — гарантує високу якість, мінімальні деформації та ефективність виробництва.

Переваги та обмеження лазерного зварювання сталевих конструкцій.

Висока точність і якість шва забезпечується вузькою зоною термічного впливу (від 0,2 мм до 0,5 мм), що дозволяє отримувати шви з мінімальною деформацією матеріалу. Реалізація ключового отвору (keyhole) дозволяє досягати глибокого проникнення променя без збільшення ширини шва, що особливо важливо для конструкцій з високими вимогами до механічних характеристик.

Висока продуктивність і швидкість зварювання досягаються завдяки автоматизації та оптимальному режиму роботи лазера. Листова сталь товщиною від 1 мм до 5 мм може оброблятися зі швидкістю від 5 м/хв до 10 м/хв. Автоматизація процесу дозволяє виконувати великі серії деталей без перерв, підвищуючи ефективність виробництва та скорочуючи час на переналагодження.

Мінімальна підготовка поверхні спрощує технологічний цикл. Дрібні нерівності або невеликі окалини не критичні для лазерного зварювання, особливо при використанні волоконних лазерів. Зменшення підготовчих операцій дозволяє економити час і ресурси, знижуючи загальні виробничі витрати.

Безконтактний процес гарантує відсутність фізичного контакту з деталлю, що знижує знос обладнання та виключає механічні пошкодження деталей під час зварювання. Використання лазера як джерела енергії дозволяє обробляти тонкі та складні елементи без ризику деформації або подряпин.

Універсальність технології проявляється у можливості зварювання різнорідних сталей, наприклад конструкційної та нержавіючої, а також у здатності обробляти деталі різної товщини та форми, включаючи трубчасті і профільні конструкції. Застосування лазера у різних конфігураціях дозволяє інтегрувати його у широкий спектр виробничих процесів.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтеграція у роботизовані та автоматизовані системи забезпечує високу повторюваність та стабільність процесу. Синхронізація роботи роботів та CNC-столів підвищує точність позиціонування головки та контроль глибини шва, що особливо важливо для серійного виробництва та відповідальних конструкцій.

Висока вартість обладнання є основним обмеженням лазерного зварювання. Використання волоконних лазерів та високоточних оптичних систем робить технологію економічно виправданою переважно для серійного або масового виробництва.

Точне позиціонування деталей є критично необхідним через малий діаметр променя ($<0,6$ мм). Помилки у переміщенні у ручному режимі можуть призвести до непроварів або дефектів шва, що знижує надійність процесу.

Високі вимоги до безпеки обумовлені небезпечністю лазерного випромінювання для очей та шкіри. Забезпечення безпеки включає використання спеціальних екранів, захисних фільтрів та систем блокування доступу до зони випромінювання.

Обмеження по товщині матеріалу визначають вибір технології зварювання. Деталі товщиною понад 10 мм зазвичай обробляються у гібридному режимі — поєднання лазера та дуги — щоб забезпечити необхідну глибину проникнення та стабільну якість шва.

Висновок: лазерне зварювання сталевих конструкцій поєднує високу точність, продуктивність та універсальність, проте вимагає високоточного обладнання, автоматизації та дотримання вимог безпеки, а також має обмеження по товщині матеріалу.

Сучасні та перспективні напрямки розвитку.

Роботизація та автоматизація є ключовими напрямками розвитку лазерного зварювання. Використання роботизованих маніпуляторів і CNC-столів дозволяє обробляти складні деталі без ручного втручання, що підвищує безпеку та продуктивність виробництва. Автоматичне коригування параметрів

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лазера у реальному часі забезпечує стабільність процесу, високу якість та повторюваність швів навіть у серійному виробництві.

Гібридні технології дозволяють поєднувати лазерне та електродугове зварювання для збільшення глибини шва та швидкості обробки товстих сталевих конструкцій. Суміщення методів забезпечує більш рівномірний прогрів, зменшує ризик дефектів та дозволяє оптимізувати тепловий внесок у матеріал.

Системи контролю якості у реальному часі стають невід’ємною частиною сучасних установок. Оптичні, інфрачервоні та лазерні сенсори забезпечують миттєвий моніторинг форми та температури зони плавлення. Використання штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання дозволяє автоматично виявляти дефекти, прогнозувати поведінку шва та підвищувати надійність виробничого процесу.

Підвищення ефективності джерел випромінювання спрямоване на розробку лазерів з більш високою потужністю та покращеною стабільністю параметрів променя.

Інтеграція з цифровими технологіями (Digital Twin) відкриває нові можливості для планування та оптимізації процесу. Моделювання процесу зварювання у віртуальному середовищі дозволяє прогнозувати деформації деталей, оцінювати якість шва та мінімізувати кількість тестових виробів. Застосування цифрових двійників знижує витрати матеріалів та прискорює впровадження нових виробничих рішень.

Висновок: Сучасний розвиток лазерного зварювання сталевих конструкцій спрямований на глибоку автоматизацію виробничих процесів, підвищення продуктивності та стабільності зварних з’єднань, інтеграцію інтелектуальних систем контролю якості та цифрових технологій аналізу процесу зварювання. Особливу увагу приділено оптимізації енергетичних характеристик лазерних джерел, зменшенню втрат тепла, підвищенню ККД оптичних систем та вдосконаленню алгоритмів керування тепловим циклом. Паралельно розвиваються адаптивні системи моніторингу, що дозволяють в

режимі реального часу виявляти дефекти, аналізувати морфологію шва та коригувати параметри процесу за допомогою машинного навчання та штучного інтелекту. У сукупності ці тенденції забезпечують не лише високу ефективність і надійність промислового виробництва, але й суттєве скорочення витрат, підвищення енергоефективності, гнучкість технологічних процесів та конкурентоспроможність підприємств, що впроваджують лазерні технології у металургійне та машинобудівне виробництво.

Схема типового лазерного зварювального устаткування.

Нижче наведено опис схеми таблиця 1.2 типового лазерного зварювального устаткування [3]

Таблиця 1.2 – Структура та функціональне призначення елементів лазерної зварювальної системи [3].

Елемент системи	Функціональне призначення (пояснення)
Джерело лазерного випромінювання	Формує лазерний промінь необхідної потужності (від сотень ват до кількох кВт) та спектральної довжини хвилі, яка забезпечує поглинання енергії металом. Є основним енергетичним модулем установки.
Система транспортування випромінювання (оптоволокну / дзеркала)	Забезпечує передачу сформованого лазерного пучка від джерела до зони зварювання без втрат якості. Оптичне волокно використовується у волоконних лазерах, дзеркальна система – у газових та твердотільних.
Фокушуюча головка (лінзи, сопло газу, датчики)	Концентрує лазерний промінь у фокус до діаметра 0,1–0,6 мм, створюючи високу щільність енергії. Подає захисний газ у зону зварювання та виконує автоматичне фокусування за допомогою датчиків.
Деталь (сталь)	Є об'єктом, на який спрямовується промінь. Поглинена енергія лазера розплавляє метал у точці фокусування, формуючи зварний шов без додаткового електроду.
Газозахисна система	Подає інертні або активні гази (Ar, He, N ₂ , CO ₂) у зону зварювання, запобігаючи окисненню металу, утворенню пористості та покращуючи геометрію шва.
Система охолодження (вода / повітря)	Відводить надлишкове тепло від лазерного джерела, оптики та електроніки. Підтримує стабільні робочі параметри та запобігає перегріву компонентів.
Система керування (CNC, PLC, сенсори)	Керує процесом зварювання: позиціонуванням головки, швидкістю подачі, потужністю лазера та режимами зварювання. Забезпечує моніторинг і корекцію параметрів у реальному часі.

2 WELDINGBOT 100 – КОМПЛЕКС ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ

2.1 Призначення WeldingBot 100

Професійний комплекс лазерного зварювання металів. Призначений для невеликого бізнесу та може окрім зварювання проводити очистку поверхні від іржі та фарби, різати метал до 2 мм, зварювати з додаванням зварювального дроту.

Ідеально підходить для бізнесу СТО, виробництва меблів, сувенірного та рекламного бізнесу, кузні, аграрні СТО.

Комплекс лазерного зварювання металів WeldingBot 100 (див. рис. 2.1) – укомплектовано всім необхідним для роботи. Професійне програмне забезпечення, яке легко засвоюється. Сенсорний та інтуїтивно зрозумілий дисплей. Мультифункційна зварювальна головка. В комплекті вже є чіллер-охолоджувач для лазерного джерела та система подачі зварювального дроту. Ми включили до комплекту захисні лінзи та сопла, а також всі необхідні дроти для підключення [4].



Рисунок 2.1 — WeldingBot 100 [4]

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Властивості WeldingBot 100

WeldingBot 100 може зварювати вуглецеву сталь до 6 мм. Апарат може зварювати нержавіючу сталь до 5 мм, алюміній до 5 мм. Може різати алюміній до 2 мм. Титан та бронза – теж не проблема для порізки. Оптимальний матеріал – оцинкована сталь до 2 мм. Для нержавіючої сталі – максимум 1 мм. Гравірування матеріалів – метал. Властивості зазначені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Властивості лазерного зварювання пристроїв на 1кВт та 2кВт [4]

Тип матеріалу/Потужність	1000Вт	2000Вт
S/S	3 мм	6 мм
M/S	2 мм	4 мм
Алюміній	2.5 мм	4.5 мм
Мідь	1 мм	2 мм
Оцинкований лист	2 мм	4 мм

2.3. Витратні матеріали WeldingBot 100

Для простоти розрахунку вартості роботи верстату ми рекомендуємо прийняти вартість роботи від 50 грн за годину роботи WeldingBot з урахуванням електроенергії. Сюди входять можлива заміна лінзи та дзеркал, заміна охолоджувальної рідини та профільне ТО раз в рік.

Термін служби залежить від умов експлуатації. Якщо все робити як зазначено в інструкції, термін служби джерела складає – 30 000 годин.

Також слід стежити за станом зварювального рукава, своєчасно їх очищати та замінювати захисний кожух. Уникати пошкодження оптичного волокна – це дуже дорогий елемент пристрою. Його пошкодження не є гарантійним випадком. Важливим моментом є чистота захисних лінз – вартість таких лінз складає порядку 300 грн/шт. Характеристики WeldingBot 100 наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Основні характеристики WeldingBot 100 [4]

Параметр	Значення
Максимальна потужність лазерного випромінення, Вт	1000/2000
Тип лазерного випромінення	Ітербійовий лазер
Максимальна потужність споживання, Вт	$\leq 9\text{кВт}$
Фокусні лінзи для зварювання	D=20 мм, F=150 мм
Фокусна лінза для очищення	D=20 мм, F=600 мм
Коліматорна лінза	D=20 мм, F=50 мм
Захисні лінзи	D=20 мм, T=3 мм
Фокусні лінзи для зварювання	D=20 мм, F=150 мм
Діапазон регулювання частоти імпульсів, Гц	Від 1 до 20
Ширина імпульсу, мм	0,1..20
Ширина точки зварювання, мм	0,1..3
Мінімальна точка «прихвату», мм	0,1
Максимальна точка «прихвату», мм	5
Мінімальна ширина лінії зварювання, мм	0,1
Максимальна ширина лінії зварювання, мм	5
Максимальна ширина лінії лазерного очищення, мм	80
Система подачі зварювального дроту	Так
Система захисту	Так
Система охолодження та захисту генератора	Так
Тип охолодження	Водяне

Продовження таблиці 2.2

Параметр	Значення
Довжина кабелю зварювальної головки, м	10
Вага зварювальної головки, кг	0,9
Тип роботи	Постійний, 24/7
Об'єм баку для охолодження, л	20
Габаритні розміри, мм	980 x 810 x 490
Вага, кг	140

2.4 Основні складові елементи WeldingBot 100

Алюмінієва рама на рисунку 2.2, яка дозволяє легко транспортувати машину, забезпечує мобільність та невелику вагу в порівнянні з конкурентами. При цьому забезпечуючи високу точність і високу здатність до модернізації. Ця технологія почала використовуватися в найсучасніших лазерах світових лідерів, таких як TRUMPF і IPG. Наша компанія також використовує цю технологію для виготовлення станини. Виконаний з профілю 30 x 60 або 30 x 30 мм [4].



Рисунок 2.2 – Алюмінієва рама [4]

Верстат має багато функційну лазерну головку з автоматичним фокусуванням. Використовується лазерна головка – AU3TECH HW970 на рисунку 2.3. Вона призначена для ручного лазерного зварювання, різання та очищення — це нове лазерне технологічне рішення в промисловості лазерної обробки. Порівняно з традиційним дуговим зварюванням та TIG, вона може забезпечити якісне зварювання, високу ефективність і гідну міцність з'єднання. HW970 – ідеальне рішення для всіх видів обробки тонкого металу. Головка має високоякісний та точний оптичний елемент, чудовий і стабільний промінь.



Рисунок 2.3 – Лазерна головка [4]

Рукав на рисунку 2.4 виконаний з високоякісних матеріалів. Ударостійкий та гнучкий. В середині рукава встановлена тефлонова трубка, це дозволяє працювати зі звичайним зварювальним дротом та з алюмінієвим дротом. Також в рукаві реалізована подача робочих газів. Стандартна довжина рукава 10м. Опційно може бути змінена за бажанням клієнта. Рукав виконує захисну функцію для оптичного волокна.

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 – Рукав [4]

Лазерний зварювальний пристрій має вбудований фреоновий охолоджувач на рисунку 2.5. В якості охолоджувальної рідини слід використовувати дистильовану воду.

Фреоновий охолоджувач має компактні габарити та вагу, при цьому забезпечує високу продуктивність по холоду – що допомагає ефективно підтримувати температуру генератору. Чілер виготовлений нашою компанією може легко обслуговуватися сторонніми спеціалістами, оскільки виконаний по класичній схемі та має всі необхідні порти та схеми.



Рисунок 2.5 – Вбудований охолоджувач [4]

Має вбудовані налаштування для зварювання сталі, оцинкованої сталі, нержавіючої сталі та алюмінію з товщиною від 0.5 мм до 4 мм. Вибір режиму зварювання в один дотик. Сенсорний дисплей на рисунку 2.6. Інструкція українською мовою. Велика кількість вбудованих захистів – допоможуть Вам не переживати, що ви щось зробите не правильно.



Рисунок 2.6 – Система керування [4]

Корпус на рисунку 2.7 та деталі виконані з нержавіючої сталі – все технологічно і компактно зібрано, ніякого “зварювання”. Завдяки цьому деталі довгий час зберігають товарний вигляд, їх легко чистити. Також деталі з нержавіючої сталі важко пошкодити, на відміну від деталей з фарбованими корпусами. Кожух з нержавіючої сталі – просто красиво. Верстат має зручний та впізнаваний дизайн.



Рисунок 2.7 – Корпус [4]

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механізм подачі дроту на рисунку 2.8 має два ролика – що збільшує зусилля та покращує роботу, на відміну від дешевих китайських аналогів. Система подачі дроту має вбудований електронний програмований контролер. Який дозволяє вам регулювати швидкість подачі, затримки подачі. Пристрій має енергонезалежну пам'ять та зберігає ваші налаштування. Додатково є 4 комірки налаштувань під конкретну роботу – що спрощує освоєння пристрою. В комплекті два рукава для подачі – звичайний та тефлоновий.



Рисунок 2.8 – Система подачі дроту [4]

Лазерні верстати поставляються з захисними окулярами на рисунку 2.9, рукавицями та набором інструментів для обслуговування та сервісу. В комплекті україномовна інструкція.



Рисунок 2.9 – Захист Оператора [4]

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В комплект включено поставки витратні матеріали на рисунку 2.10 такі як – захисні лінзи, сопла та рукава, змінні насадки. Все що може вам знадобитися в перші місяці роботи вже підібрано та включено в склад поставки. Ми розуміємо, що в процесі навчання ви можете пошкодити захисні лінзи тому збільшили їх кількість в комплекті. В подальшому вони рідко пошкоджуються, але ви завжди можете додатково замовити їх через наш сервіс.



Рисунок 2.10 – Витратні матеріали [4]

Лазерні верстати обладнанні температурним захистом на рисунку 2.11 з індикацією поточної температури, що захищає лазерне джерело від перегріву та значно продовжує його термін служби. Також лазер обладнаний водяним захистом – що унеможливорює роботу без подачі охолодження для лазерної трубки. Все це робить верстат безпечнішим та продовжує термін служби. Додаткові захисти – призначені, щоб захистити верстат від не правильних дій оператора та значно зменшують можливість пошкодження обладнання.



Рисунок 2.11 – Захист лазера [4]

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Машина оснащена системою подачі захисного газу на рисунку 2.12 – що складається з системи захисту, клапанів подачі повітря та регульованого клапана. Є можливість встановити опційну систему для автоматичного налаштування включення компресора. Це виключає можливість помилки з боку оператора машини, значно підвищує ефективність і продуктивність.



Рисунок 2.12 – Подача газу [4]

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 УДОСКОНАЛЕННЯ УСТАНОВКИ WELDINGBOT 100

3.1 Обґрунтування заміни алюмінієвого профілю на сталеву профільну трубу 20 мм × 20 мм у конструкції рами лазерного зварювального апарата

У даному підрозділі наведено техніко-економічне обґрунтування доцільності заміни алюмінієвого профілю, що використовувався у базовій конструкції рами лазерного зварювального апарата, на сталеву профільну трубу квадратного перерізу 20 мм × 20 мм. Метою такого рішення є підвищення жорсткості, стабільності та технологічності конструкції при збереженні точності позиціонування робочих вузлів і зниженні собівартості виготовлення.

Конструкційно-механічне обґрунтування.

Рама лазерного зварювального апарата є базовим несучим елементом, який забезпечує геометричну стабільність та точність взаємного розташування вузлів системи: джерела випромінювання, маніпулятора, оптичного тракту, охолоджувального модуля та блока керування.

Вибір матеріалу для рами визначається вимогами до міцності, жорсткості, стійкості до вібрацій і температурних деформацій.

Модуль пружності конструкційної сталі ($E = 2,1 \times 10^5$ МПа) утричі перевищує модуль пружності алюмінієвих сплавів ($E \approx 7,0 \times 10^4$ МПа). Це означає, що при однакових навантаженнях сталева конструкція деформується у 2,5 рази менше, забезпечуючи значно вищу просторову жорсткість. Межа текучості сталі марки S235 [5] ($\sigma \approx 250$ МПа) також приблизно вдвічі більша, ніж у алюмінієвого профілю Al6063-T5 [6] ($\sigma \approx 130$ МПа). Це дозволяє зменшити розміри профілю без втрати несучої здатності: замість профілю 30 мм × 30 мм використовується труба 20 мм × 20 мм при збереженні необхідного запасу міцності.

Підвищена маса сталевих конструкцій ($\rho = 7850$ кг/м³ проти $\rho = 2700$ кг/м³ для Al) у даному випадку позитивно впливає на динамічні характеристики

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи, оскільки збільшення маси основи підвищує вібраційну стабільність апарата та знижує амплітуду коливань під час роботи лазерного випромінювача.

Технологічне обґрунтування.

Виготовлення алюмінієвих рам вимагає застосування процесу зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів (TIG, процес 141) або використання спеціалізованих фітингів і вузлів кріплення. Це підвищує трудомісткість, вартість і вимоги до чистоти середовища.

Сталеві профільні труби 20 мм × 20 мм × 2 мм легко обробляються традиційними технологічними методами: різанням, свердлінням, згинанням і зварюванням напівавтоматичним способом (MIG/MAG, процес 135). Такі з'єднання не потребують використання дорогих інертних газів та присадкових матеріалів для алюмінію. Крім того, сталь має нижчу чутливість до термічних деформацій, що забезпечує точність складання та геометричну стабільність конструкції.

Економічна доцільність.

Порівняння собівартості матеріалів показує, що сталеві профільні труби мають у 2,5 рази нижчу вартість, ніж алюмінієві профілі аналогічних розмірів. Додатково скорочується час виготовлення рами, спрощується технологічний процес і усувається необхідність застосування спеціального зварювального устаткування для алюмінію. Загальна економія матеріальних і трудових витрат становить близько 35–40% від початкових показників. У серійному виробництві це дає суттєве зниження собівартості обладнання.

Експлуатаційні характеристики.

Сталеві конструкції характеризуються високою втомною міцністю, зносостійкістю та стійкістю до механічних пошкоджень. За умови нанесення захисного порошкового або полімерного покриття, рама має достатній рівень корозійного захисту. Коефіцієнт лінійного теплового розширення сталі становить $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, тоді як для алюмінію $\alpha = 23 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Отже, сталева конструкція менше піддається тепловим деформаціям, що особливо

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

важливо для забезпечення стабільності геометрії оптичних і зварювальних систем під час тривалого нагріву.

Нормативна база.

Матеріали та технології виготовлення сталеві рами відповідають вимогам чинних стандартів:

- ДСТУ EN 10219-1:2019 – профільні зварні сталеві труби для холодноформованих конструкцій;
- ДСТУ EN ISO 5817:2019 – якість зварних з'єднань металів;
- ДСТУ EN ISO 9606-1:2021 – кваліфікація зварників.

Дотримання вищенаведених норм гарантує механічну надійність, стабільність і безпечність конструкції при експлуатації у складі лазерного зварювального апарата. Порівняння сталі та алюмінієвого профілю наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння властивостей алюмінієвого профілю та сталеві профільної труби

Показник	Алюмінієвий профіль 30 × 30 (Al6063-T5)	Сталева труба 20×20×2 (S235)
Межа текучості σ_t , МПа	110–130	Від 240 до 260
Модуль пружності E , МПа	70 000	210 000
Густина ρ , кг/м ³	2700	7850
Коефіцієнт теплового розширення α , 1/°C	23×10^{-6}	12×10^{-6}
Тип зварювання	TIG (141)	MIG/MAG (135)
Складність обробки	Висока	Середня
Вартість матеріалу, грн/м (орієнтовно)	180–220	70–90
Жорсткість конструкції	Низька–середня	Висока

Висновок: перехід від алюмінієвого профілю до сталеві профільної труби 20 мм × 20 мм у конструкції рами на рисунку 3.1 лазерного зварювального апарата є технічно, економічно та експлуатаційно

обґрунтованим. Заміна дозволяє підвищити міцність і жорсткість конструкції, забезпечити стабільність положення робочих вузлів, спростити технологію виготовлення та знизити загальну собівартість виробу при збереженні необхідних показників точності та довговічності.

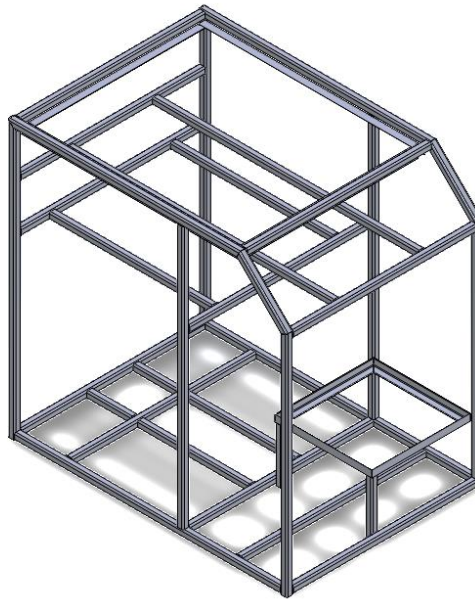


Рисунок 3.1 – Рама з труб

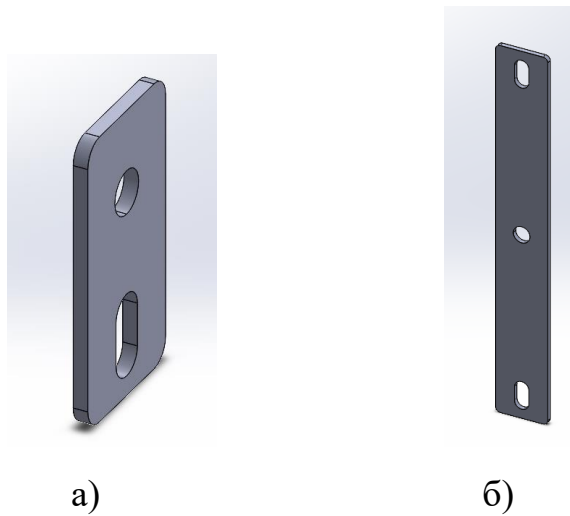
3.2 Приварювання пластин 2 мм до рами для кріплення корпусу

У зв'язку із заміною конструкційного матеріалу рами лазерного зварювального апарата з алюмінієвого профілю на сталеву профільну трубу 20 мм × 20 мм виникла необхідність у доопрацюванні вузлів кріплення корпусних елементів. Оскільки попередня алюмінієва конструкція передбачала болтове з'єднання з використанням пазів профілю, нова сталева рама не має таких функціональних елементів.

Для забезпечення можливості монтажу обшиви корпусу до сталевій конструкції передбачено приварювання допоміжних пластин у місцях кріплення панелей. Пластини виготовляються зі сталі S235 товщиною 2 мм, що забезпечує достатню жорсткість та міцність при незначному збільшенні маси конструкції.

Зварювання пластин до профільних труб виконується методом дугового зварювання у середовищі захисного газу (MIG/MAG), що гарантує надійне з'єднання без деформації рами. Конструкція пластин передбачає можливість подальшого різьбового або гвинтового кріплення зовнішніх панелей корпусу.

Таким чином, застосування допоміжних пластин на рисунках 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, дозволяє зберегти технологічність складання, забезпечити точність позиціонування корпусу та підвищити загальну жорсткість рами при переході на сталеву конструкцію.



а – підтримка, б – задня підтримка

Рисунок 3.2 – Підтримки

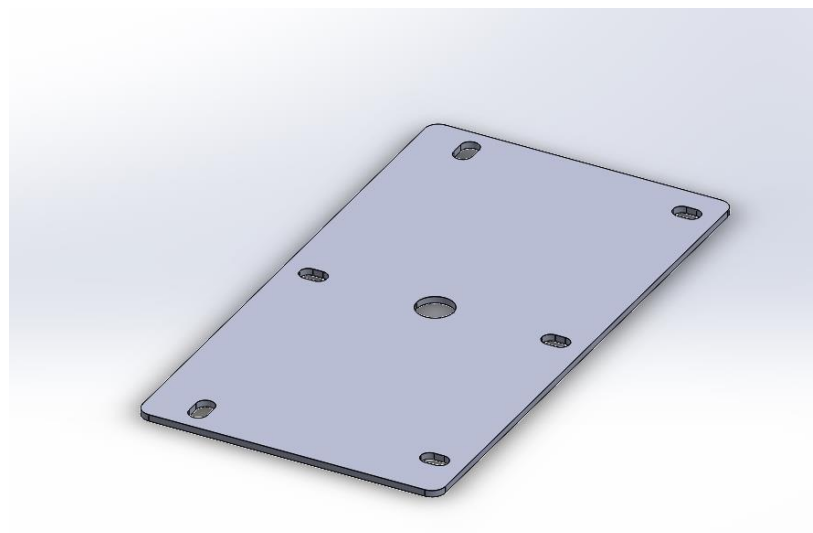


Рисунок 3.3 – Пластина для роликів

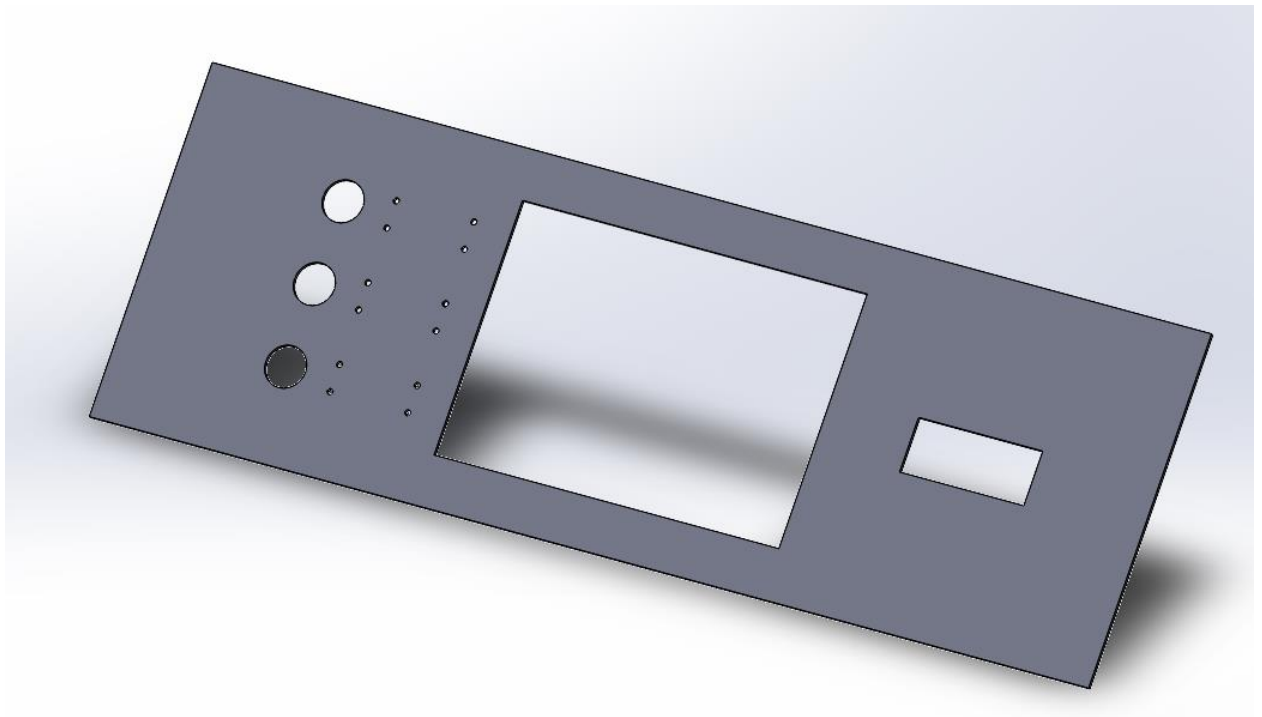


Рисунок 3.4 – Пластина для системи курування

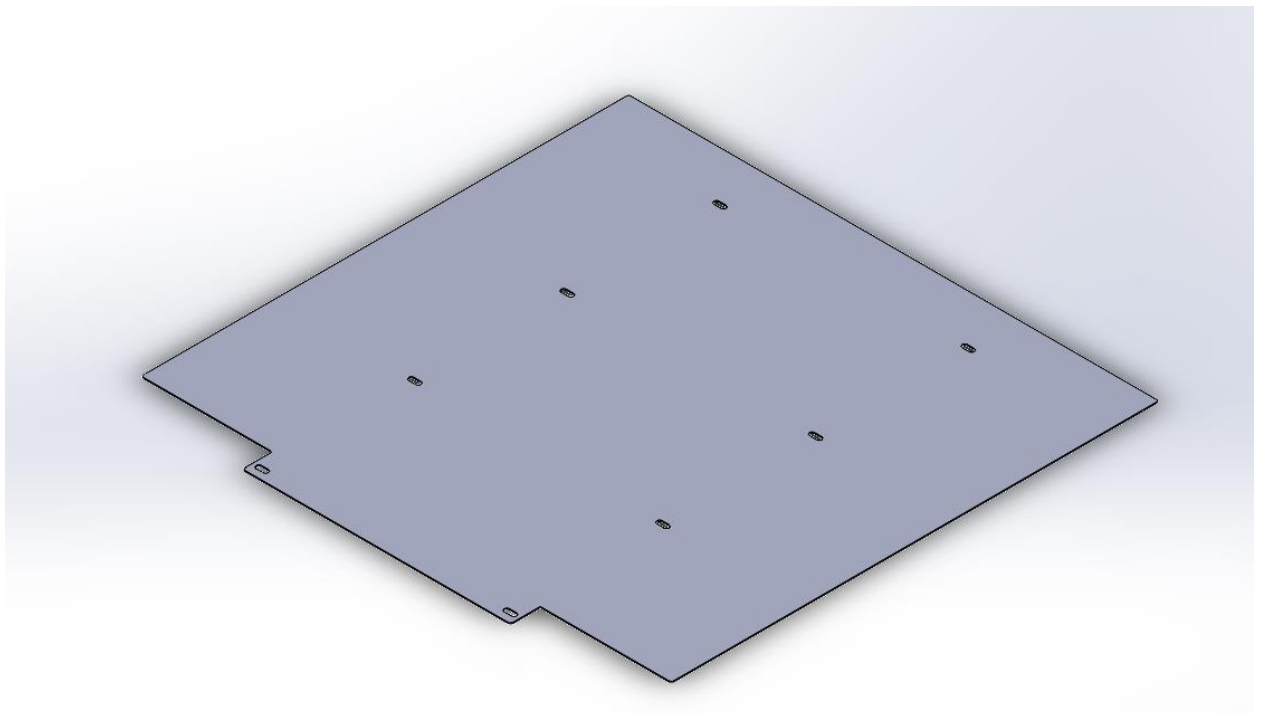


Рисунок 3.5 – Щит для електроніки

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

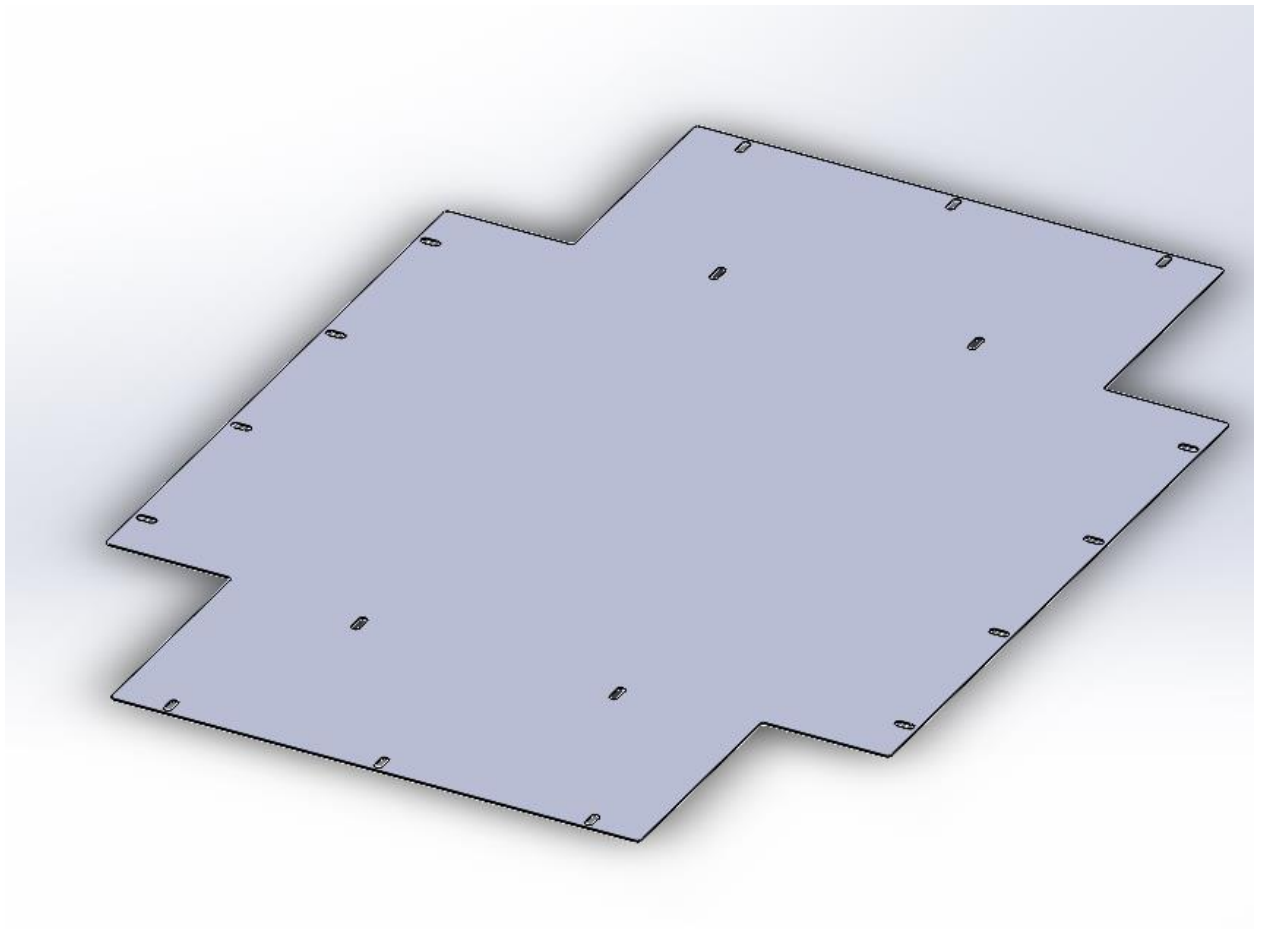


Рисунок 3.6 – Дно

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фінальний вигляд рами після зварювання зображено на рисунку 3.7

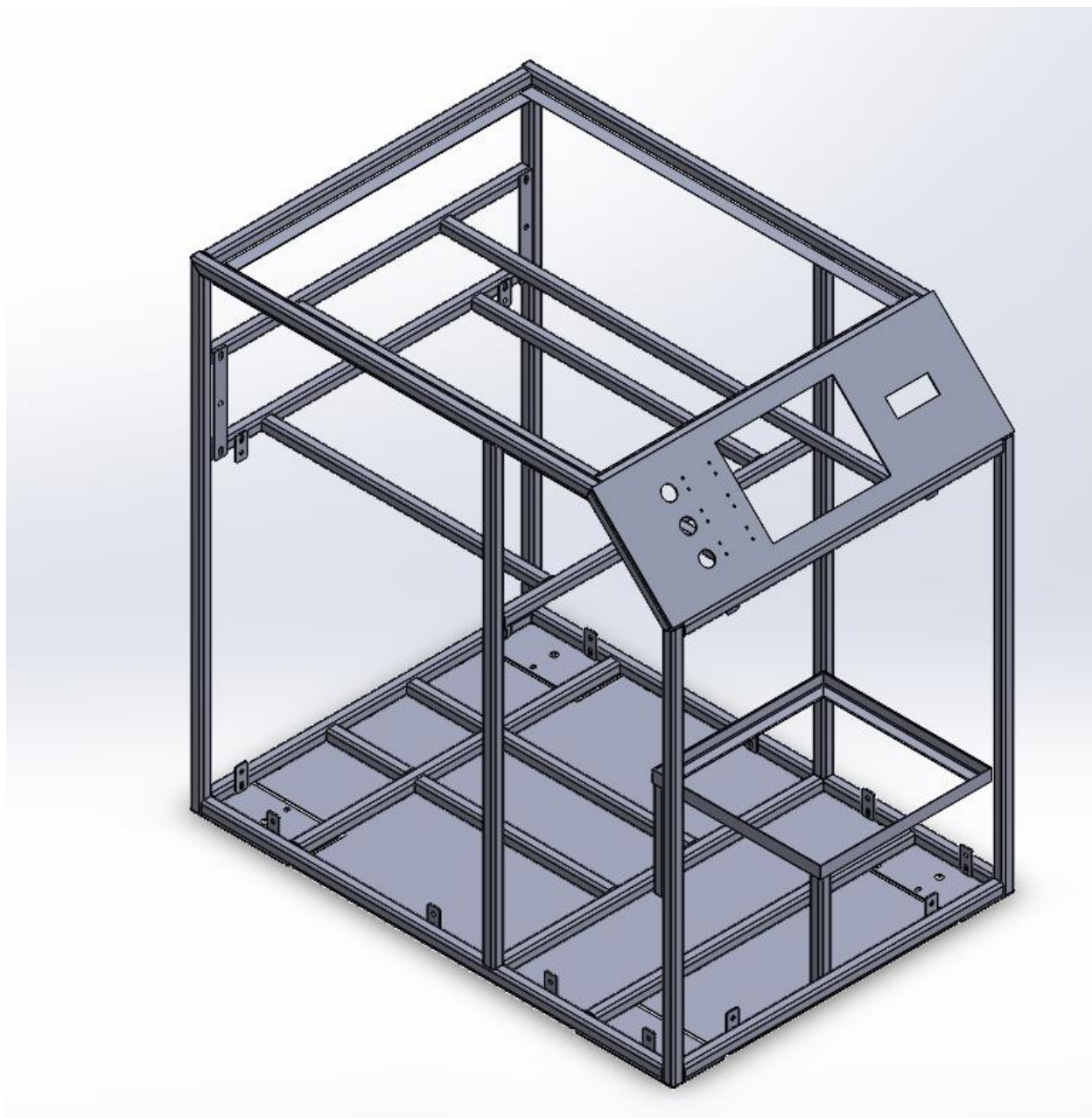


Рисунок 3.7 – Рама з пластинами

3.3 Заміна обшиви корпусу WeldingBot 100

Відповідно до внесених конструктивних змін у геометрію рами відбувається коригування конфігурації зовнішньої обшивки корпусу та оптимізація технологічних операцій її виготовлення і монтажу. Модифікація форми рами обумовлює необхідність адаптації площинних та просторових елементів обшивки, що передбачає уточнення контурів, кутів згину, розмірних параметрів та посадкових поверхонь для забезпечення повної сумісності із новою конструкцією.

Обшивка виконується із листової вуглецевої сталі товщиною 1,0 мм, що забезпечує достатню жорсткість, ударостійкість та корозійну стійкість при відносно малій масі конструкції. Механічна обробка та формоутворення елементів обшивки здійснюються з використанням високоточного обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК).

На першому етапі проводиться розкрій листового матеріалу на ЧПК-різальному комплексі IronBot, який забезпечує стабільну якість різку, мінімальний припуск та високу повторюваність геометрії. Завдяки використанню програмного керування оптимізується траєкторія різання, що знижує втрати металу та скорочує час обробки.

Подальше формоутворення здійснюється методом згинання на ЧПК-гибочному обладнанні ERMAKSAN, яке дозволяє відтворювати складні радіуси та точні кути згину із похибкою, що не перевищує технологічно допустимих значень. Це забезпечує високу точність посадкових площин, необхідну для бездефектної подальшої збірки конструкції, та сприяє підвищенню загальної жорсткості корпусу.

Застосування автоматизованих технологічних процесів розкрою і згинання дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, забезпечує стабільну якість готових елементів, скорочує виробничий цикл і створює передумови для впровадження серійного або масового виробництва. Таким чином, структурні зміни рами безпосередньо визначили необхідність адаптації

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

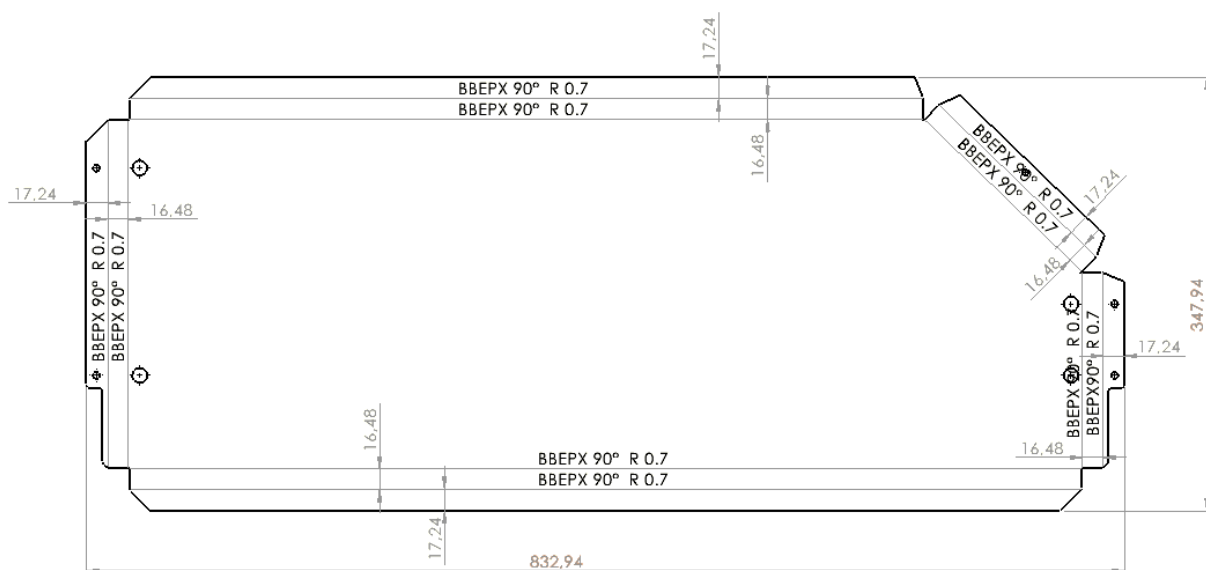


Рисунок 3.9 – Права трацеподібна обшива

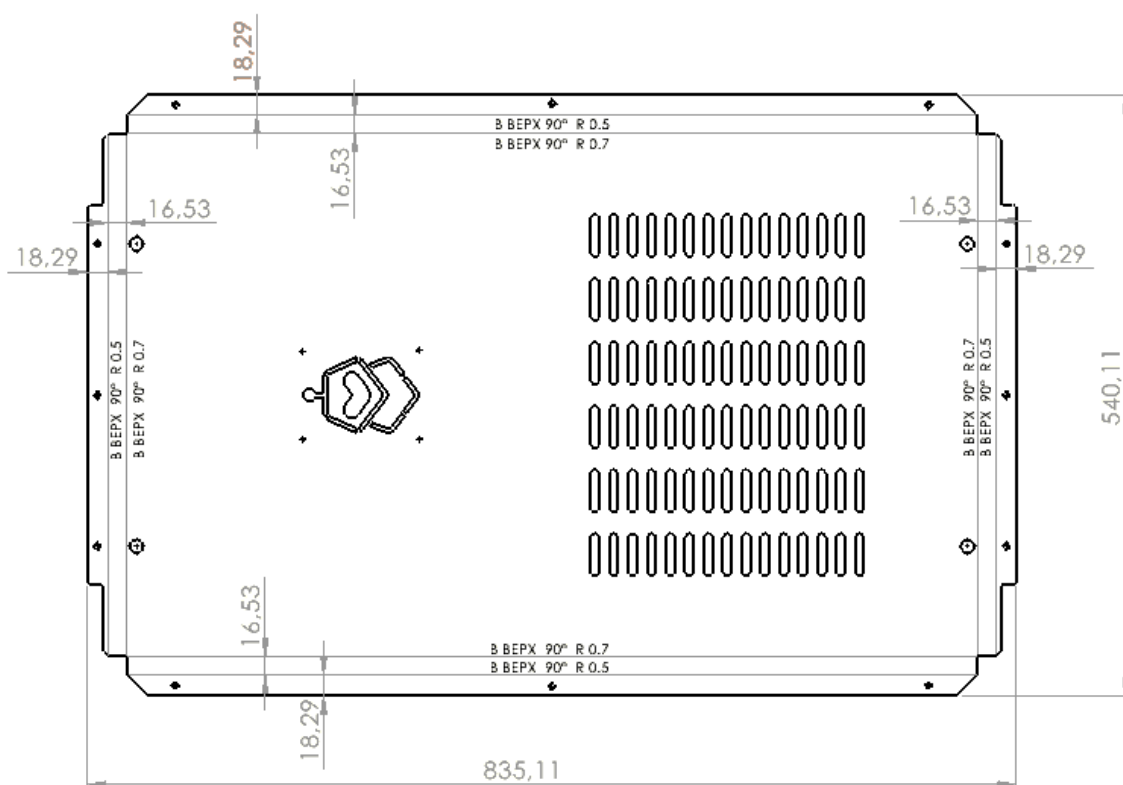


Рисунок 3.10 – Бокова обшива

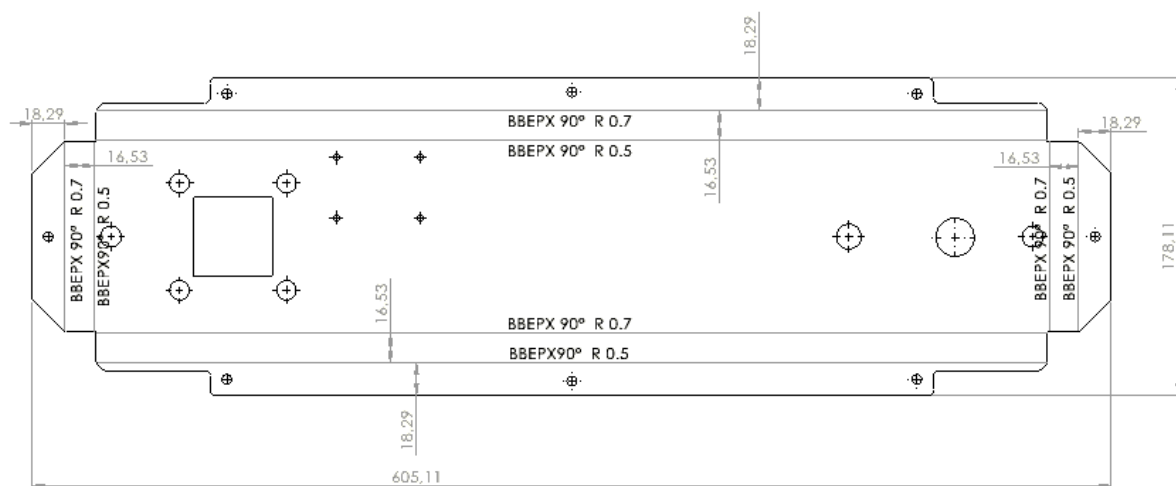


Рисунок 3.11 – Верхня задня обшива

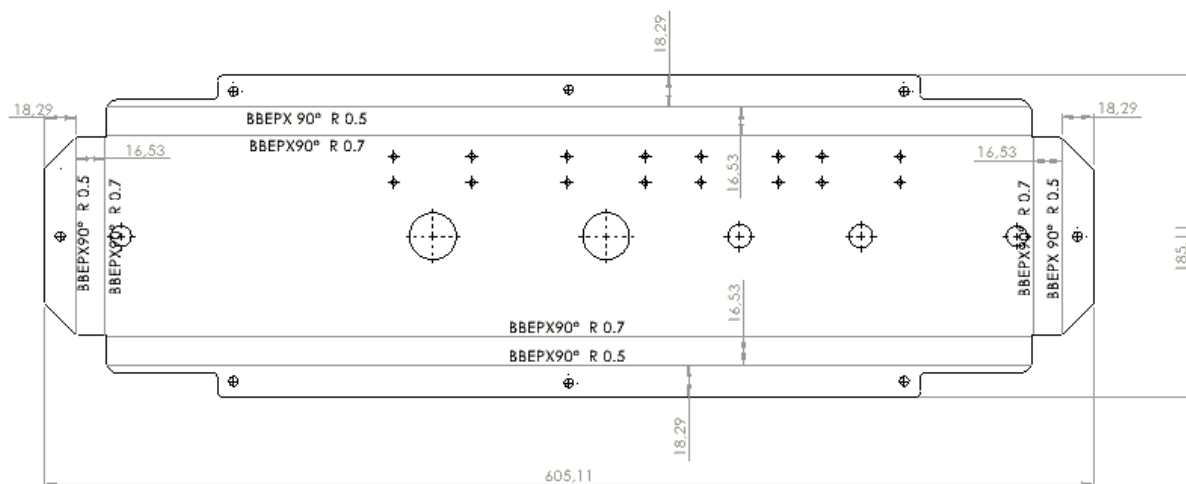


Рисунок 3.12 – Нижня задня обшива

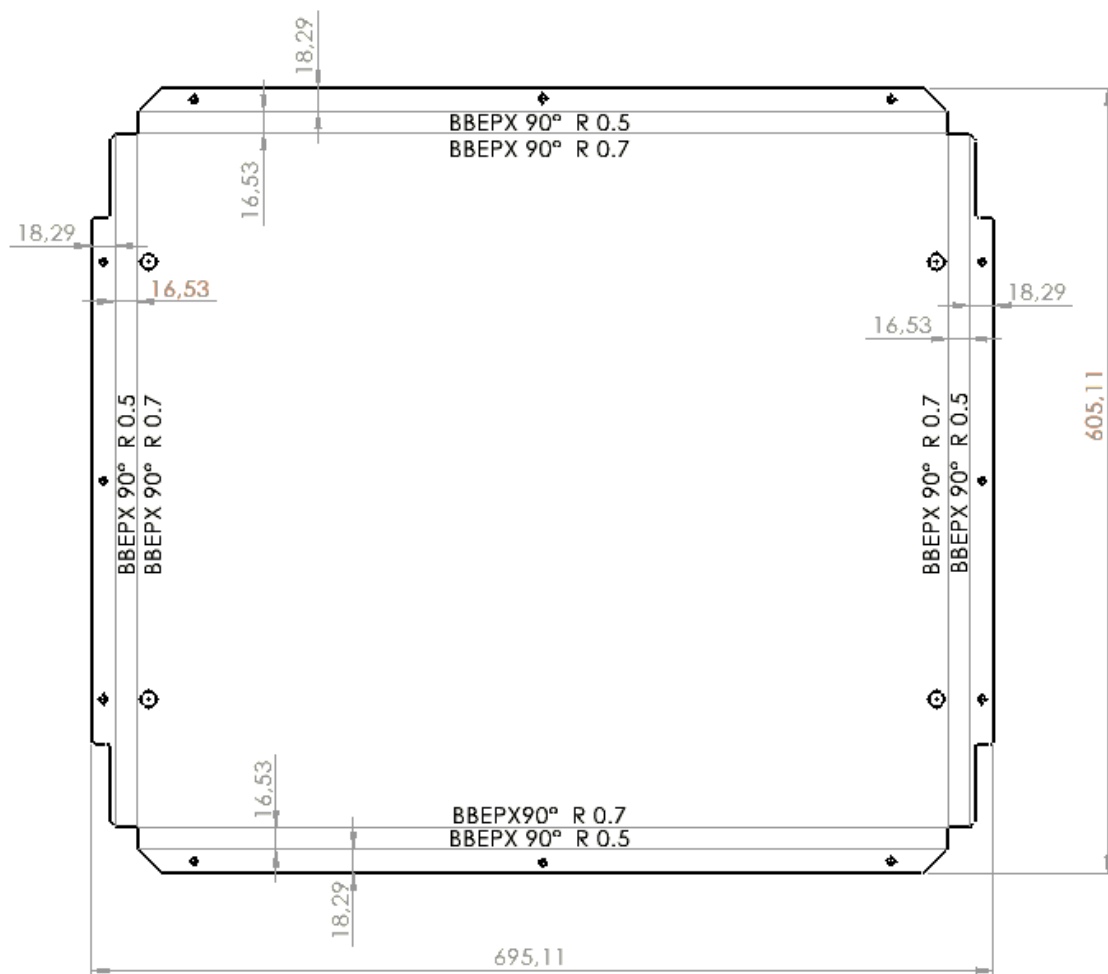


Рисунок 3.13 – Передня обшива

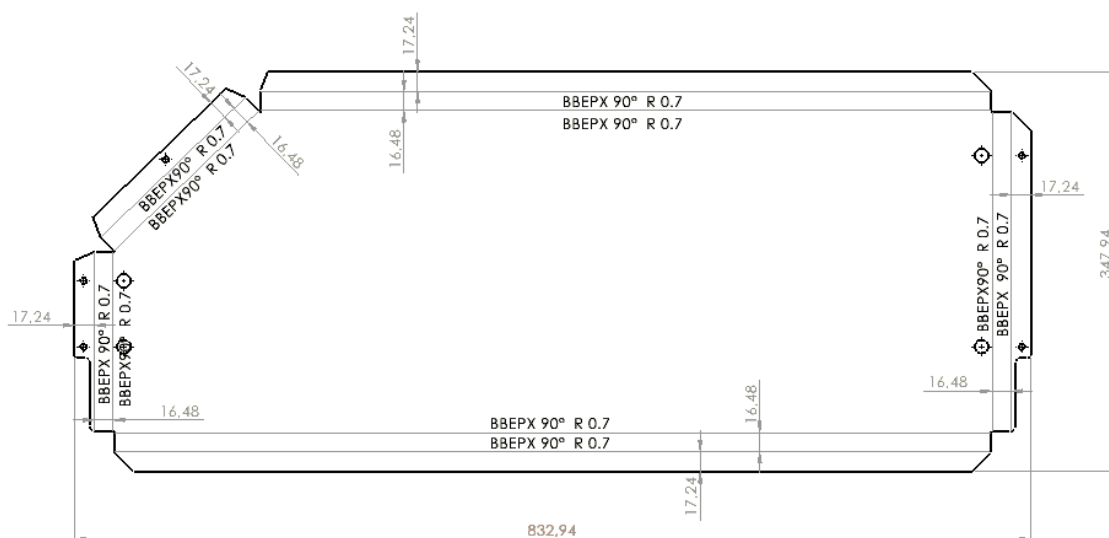


Рисунок 3.14 – Ліва трапеподібна обшива

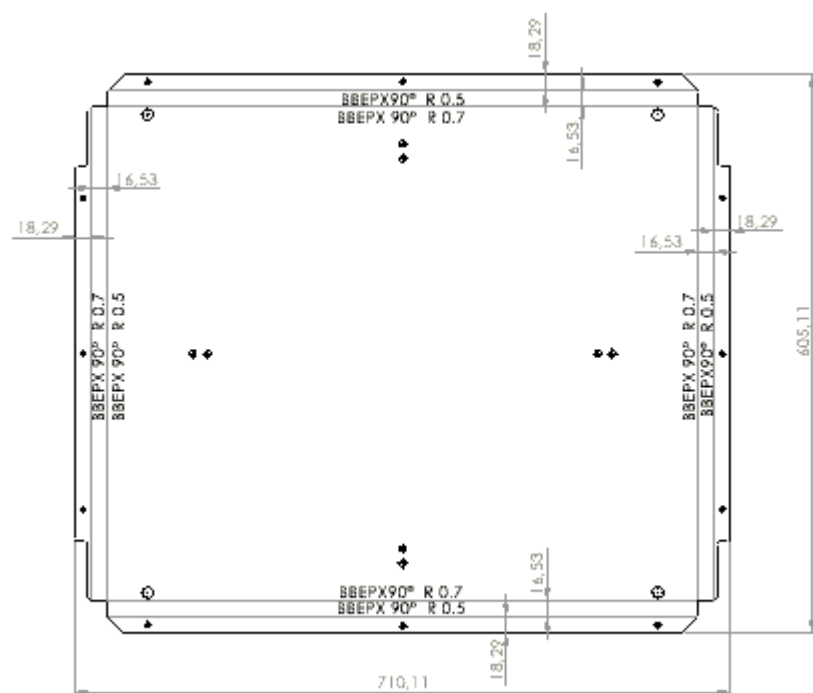


Рисунок 3.15 – Передня обшива

4 УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ СКЛАДОВИХ ДЕТАЛЕЙ WELDING BOT 100

4.1 Лазерне різання

Для виконання розкрою труб перерізом 20 мм × 20 мм у технологічному процесі застосовується автоматизований верстат IronBot-PIPE на рисунку 4.1 [4].



Рисунок 4.1 – IronBot-PIPE [4]

Використання даного обладнання дає змогу забезпечити точне виконання різку відповідно до заданих параметрів, що є критично важливим для подальших етапів складання та зварювання конструкцій. Верстат здійснює розкрій із гарантованим дотриманням геометричної точності довжини заготовки та витримуванням заданого кута різання, що дозволяє уникнути деформацій та неточностей при подальшій технологічній обробці. Завдяки високій повторюваності параметрів різку IronBot-PIPE мінімізує потребу в додатковій механічній обробці та сприяє підвищенню загальної якості виготовлення металоконструкцій. Автоматизована система позиціонування забезпечує точну фіксацію заготовки та стабільність різку, а програмне керування дозволяє виконувати як прямолінійні, так і кутові розрізи. Таким

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чином, використання верстата IronBot-PIPE є доцільним рішенням для серійного та дрібносерійного виробництва, де необхідна висока точність та повторюваність розмірів трубних заготовок. В таблиці 4.1 наведені характеристики IronBot-PIPE.

Таблиця 4.1 – Характеристики IronBot-PIPE [4]

Робоче поле, мм	160 x 3100 220 x 6500
Найбільша товщина оброблюваних заготовок, мм	від 10 до 100 від 10 до 210
Швидкість переміщення (робочий хід/холостий хід) м/хв	15/30
Джерело випромінювання	MAX MFSC 3000
Привід подачі	СЕРВО INOVANCE
Потужність споживання	18кВт
Чиллер	3кВт
Контролер	FSCUT
Програмне забезпечення	ECD3000
Посилені напрямні та каретки	Hiwin

Для порізки профільного металу товщиною 1 мм та 2 мм застосовується IronBot. Даний верстат забезпечує стабільний та контрольований процес різання з мінімальними відхиленнями по геометрії заготовки, що особливо важливо при виготовленні елементів, які потребують точного складання та подальшого зварювання. Робота обладнання ґрунтується на програмному керуванні, що дозволяє забезпечувати повторюваність розмірів та якісну обробку крайок металу без механічних деформацій. Завдяки цьому зменшується потреба в додаткових операціях обробки та підвищується загальна продуктивність технологічного процесу. Використання IronBot на рисунку 4.2 є доцільним у серійному та дрібносерійному виробництві, де необхідна висока точність геометричних параметрів деталей із тонколистового профільного металу.

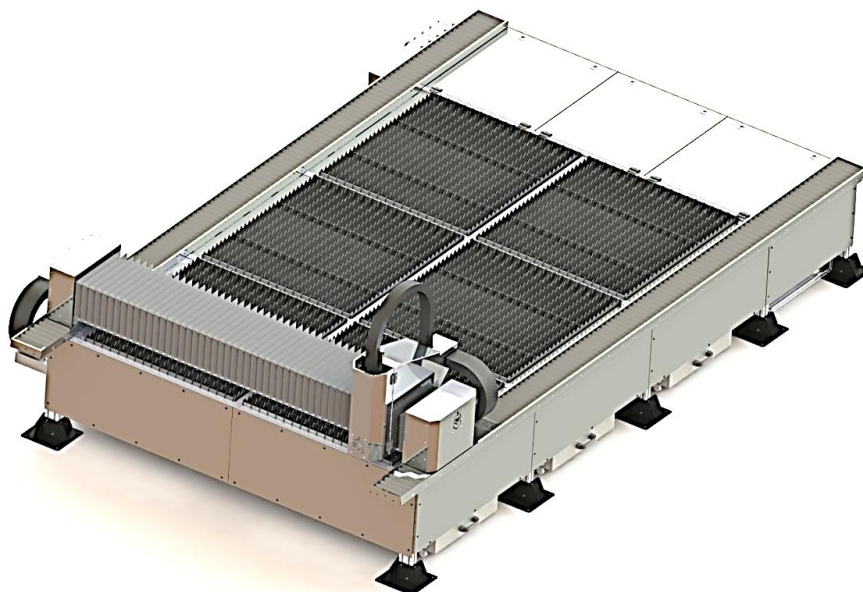


Рисунок 4.2 – IronBot [4]

Характеристики IronBot наведені в таблиці 4.2:

Таблиця 4.2 – Характеристики IronBot [4]

Модель	IronBot
Оптична потужність, (Вт)	1000,2000,3000
Контролер	MCC3721
Матеріали для обробки	—
Робоче поле (Д*Ш), мм	1500×1000
Матеріал корпусу	—
Тип охолодження	—
Тип приводу-	
Переміщення по осі Z	—
Система руху	—
Напрямні та каретки-	
Тип керування:	від ПК (інтерфейс USB)
Bluetooth	ні
Wi-Fi	ні
USB flash	ні
Тип конструкції корпусу	—
ПЗ (програмне забезпечення)	Laser GRBL (базово)
Laser GRBL (базово)	
LightBurn (опційно)	
Параметри променя:	

Продовження таблиці 4.2

Модель	IronBot
Джерело випромінювання:	CO2 (трубка)
Довжина хвилі (нм)	10600 нм
Ширина лінії (мм)	0,1 мм
Точність позиціювання (мм)	0,1 мм
Швидкість маркування (мм/с)	до 30 мм/с
Лінза(мм)	D-12 мм/F-50.8 мм
Дзеркала (мм)	D-20 мм
Живлення (В, Гц)	220 В, 50 ÷ 60 [Гц]
Максимальна споживана потужність (Вт)	до 300 Вт
Діапазон робочих температур (°C)	0 ÷ 45 [°C]
Робоча вологість (%)	20-80 [%]
Особливості	Верстат настільного типу, відкритий
	Найбюджетніша пропозиція на ринку.
Габарити (ВхШхД)(мм)	220 мм х 860 мм х 860 мм
Габарити в упаковці (ВхШхД)(мм)	320 мм х 910 мм х 910 мм
Вага (кг)	14 кг
Вага в упаковці (кг)	15 кг
Верстат	2 роки
Джерело випромінювання	6 місяців
Країна виробник	Україна
Комплектація	Верстат комплектується відповідно до специфікації.

4.2 Зварювання

Для виконання зварювальних операцій під час складання рами з профільних сталевих труб перерізом 20 мм × 20 мм використовується напівавтоматичне зварювальне обладнання RATON ProMIG на рисунку 4.3. Даний зварювальний комплекс забезпечує стабільну подачу зварювального

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дроту, точне регулювання режимів струму та напруги, а також формування рівномірного зварного шва з мінімальним термічним впливом на стінки тонкостінних профілів. Використання PATON ProMIG дає можливість гарантувати високу якість з'єднань, зменшити ризик прожогів і деформацій, що є критично важливим для забезпечення геометричної точності та просторової жорсткості рами [7].



Рисунок 4.3 – Зварювальний апарат для механізованого зварювання PATON ProMIG [7]

Інверторний цифровий апарат PATON ProMIG – це апарат, призначений для механізованого зварювання (MIG/MAG), ручного дугового зварювання (ММА), аргонодугового зварювання (TIG), з постійним струмом, в середовищі захисних газів і 39 сумішей. Пристрій ProMIG-250-15-4 має цифровий метод управління, що забезпечує точне налаштування режимів зварювання. Збільшена тривалість навантаження при номінальному струмі до 250 А дозволяє працювати з будь-якими електродами діаметром від 1,6 мм до 6 мм (плавкими), а також механізоване зварювання суцільним дротом діаметром від 0,6 до 1,2 мм. Завдяки подвійній конструкції корпусу джерело живлення можна легко від'єднати від механізму подачі дроту, що підвищує мобільність при

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботі в режимах MMA та TIG. В таблиці 4.3 наведені характеристик PATON ProMIG

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики апарата для механізованого зварювання PATON ProMIG [7]

Напруга холостого ходу, В	12/75
Функція «Hot-Start»	Регулюється
Номинальна напруга в мережі електроживлення, В	220/230
Номинальний споживаний струм із фази мережі, А	32...36
Номинальний зварювальний струм, А	250
Максимальний струм, що діє, А	335
Тривалість навантаження на номінальному струмі	70%
Межі зміни напруги в мережі електроживлення, В	Від 160 до 260
Межі регулювання зварювального струму, А	Від 12 до 250
Діаметр штучного електрода, мм	Від 1,6 до 5
Функція "Arc-Force"	Регулюється
Діаметр суцільного зварювального дроту, мм	Від 0,6 до 1,2
Функція "Anti-Stick"	Автоматична
Напруга підпалу дуги, В	110
Номинальна споживана потужність, кВА	7,9
Максимальна споживана потужність, кВА	11
Клас захисту	IP33
Габаритні розміри, ШхГхВ, мм	275 x 450 x 290
Охолодження	Адаптивне
Маса, кг	12,7
Термін гарантії, міс	60
Маса брутто, кг	24
Імпульсні режими при зварюванні	MMA/TIG/MIG/MAG
Блок зниження напруги холостого ходу	Вкл/Викл
Кількість роликів механізму подачі дроту	4

У комплект входять: зварювальний апарат, ремінь для перенесення на плечі, фірмовий гофрокороб PATON™, пальник зварювальний напіваавтоматичний ABIMIG A255 LW, 3 м., мідний кабель (3 м) з електродотримачем ABICOR BINZEL DE2300, мідний кабель (3 м) з клемою «маса» ABICOR BINZEL MK300, комплекти роликів для 4-х діаметрів

сталевому дроту та 2-х діаметрів алюмінієвого дроту, штуцер для швидкознімного з'єднання газового шлангу, інструкція з експлуатації.

Рама лазерного зварювального апарата (рисунки 3.1) виготовляється зі сталевих профільних труб квадратного перерізу 20 мм × 20 мм × 2 мм відповідно до ДСТУ EN 10219-1:2019 зі сталі S235. Конструкція є просторовою, жорсткою, із верхнім похилим сегментом для розміщення блоку лазерного випромінювача та системи охолодження. Основними вимогами до виготовлення рами є забезпечення точності геометричних параметрів, взаємної перпендикулярності основних площин і мінімальних деформацій після зварювання.

Для зварювання використовується напіваавтоматичний процес MIG/MAG (135) у середовищі суміші Ar+CO₂ (80/20), що забезпечує стабільне горіння дуги, високу якість шва та мінімальне розбризкування. Зварювальний дріт — Св-08Г2С діаметром 1,0 мм [4].

Перед зварюванням проводиться повне знежирення поверхонь, механічне зачищення крайок, перевірка розмірів труб і попереднє складання конструкції на пристосуванні з контролем діагоналей.

Для забезпечення високої якості зварних швів та мінімального деформування рами застосовуються наступні технологічні режими таблиці 4.4 зварювання залежно від положення шва. Дані наведені на основі досвіду зварювальних робіт на профільних трубах зі сталі S235.

Таблиця 4.4 – Режимы зварювання труб 20 мм × 20 мм × 2 мм (MIG/MAG) [8]

Положення шва	Струм, А	Напруга, В	Швидкість подачі дроту, м/хв	Витрата газу, л/хв
Нижнє (РА)	90–120	18–20	2,0–3,0	10–12
Вертикальне (РФ)	80–100	17–19	1,5–2,5	10–12
Кутове (РЕ/РС)	85–110	18–20	1,8–2,5	10–12

5 ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ WELDINGBOT 100

Змінивши конструкцію рами зварювального лазера, було внесено відповідні корективи до електричних систем, оскільки первинна конфігурація не забезпечувала можливості повноцінного та оптимального розміщення внутрішніх функціональних вузлів. Нова геометрія рами вимагала перегляду схем розведення кабельних трас, точок підведення живлення, розташування модулів керування та систем захисту. У зв'язку з цим відбулося перепроєктування електротехнічної інфраструктури – від адаптації силової частини до зміни логіки роботи керуючих модулів.

Оновлена електросистема забезпечує раціональне компонування внутрішніх елементів, мінімізує довжину провідників, а також зменшує електромагнітні перешкоди та теплові навантаження. Крім того, були оптимізовані місця встановлення кабельних каналів, клемних колодок та елементів заземлення, що підвищило рівень електробезпеки та надійності системи в умовах тривалих циклів роботи. Таким чином, зміна рами стала каталізатором комплексної модернізації електричних систем, що дозволило забезпечити їх повну сумісність із новою конструкцією корпусу та розширити функціональні можливості зварювального комплексу.

5.1 Електрична схема чиллера CB5000 у складі зварювального комплексу WeldingBot 100

Електрична схема системи WeldingBot 100 представляє схему підключення та роботи промислового чиллера CW5000 на рисунку 5.1, який виконує функцію охолодження лазерного генератора.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

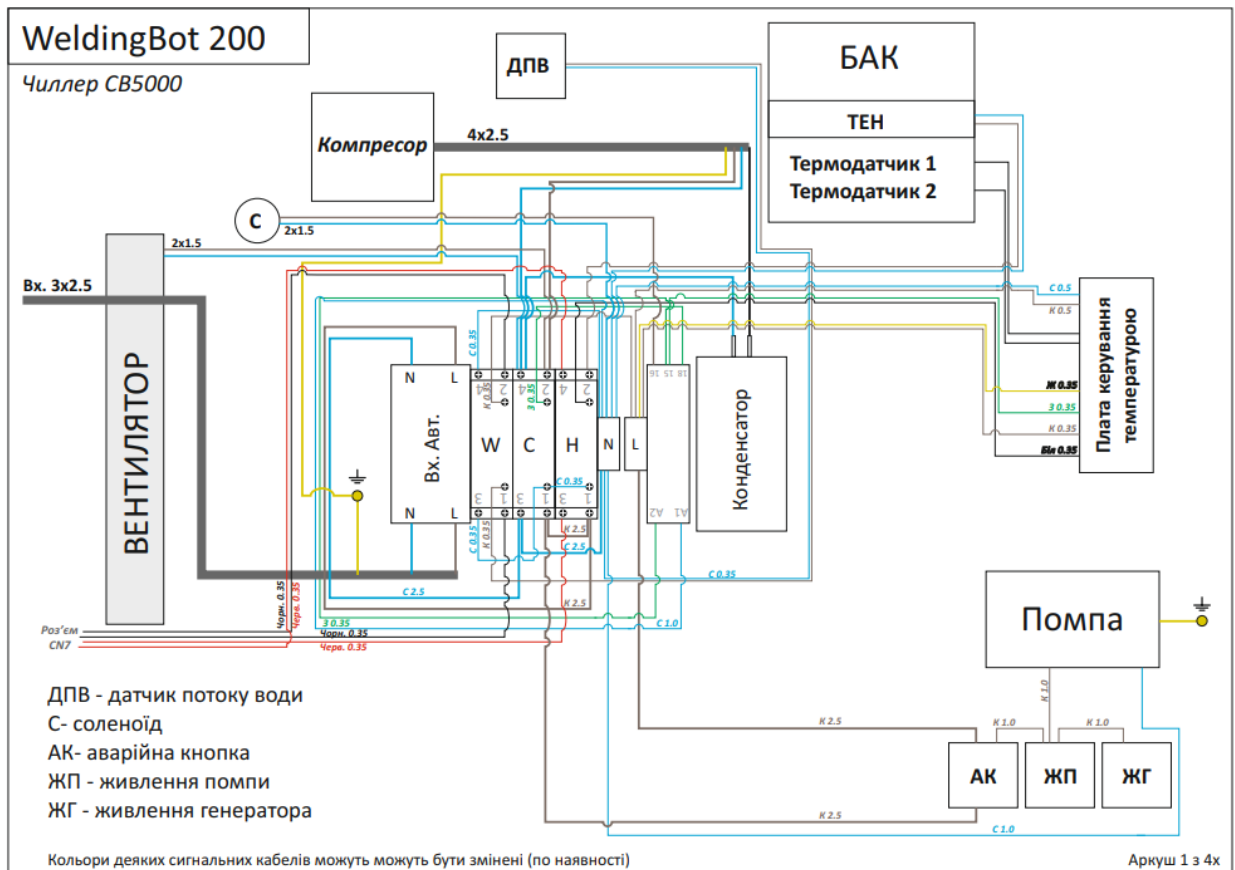


Рисунок 5.1 – Електрична схема чиллера CB5000 у складі зварювального комплексу WeldingBot 100 (додаток 16)

Система живлення.

Живлення чиллера здійснюється через вхідний автоматичний вимикач (Вх.Авт.) трифазним кабелем перетином $4 \times 2.5 \text{ мм}^2$. Розподіл живлення відбувається на три основні лінії: фазу (L), нейтраль (N) та захисне заземлення (PE). Вхідний автомат забезпечує захист обладнання від перевантажень та коротких замикань.

Основні виконавчі механізми.

Компресорна установка є серцем холодильної системи чиллера. Компресор (Компресор ротаційний Panasonic 2V34S225AUA) під R-22) (див. рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Компресор ротаційний Panasonic 2V34S225AUA [9]

Підключений до живлення через силові кабелі коричневого кольору (К) перетином 2.5 мм². Послідовно з компресором встановлено пусковий конденсатор Конденсатор Hispania HCAS-163 (див. рис. 5.3) який забезпечує необхідний пусковий момент для електродвигуна компресора. Компресор виконує функцію стиснення хладагенту в холодильному контурі, забезпечуючи охолодження теплоносія.



Рисунок 5.3 – Конденсатор Hispania HCAS-163 [10]

Вентилятор конденсатора призначений для відведення тепла від конденсатора холодильної системи в навколишнє середовище. Живлення вентилятора здійснюється через електромагнітний контактор з силовими контактами 1-3 та 4-2, керування котушкою якого відбувається через виводи

A1 та A2. Підключення виконано кабелями синього кольору (С) перетином 2.5 мм².

Трубчастий електронагрівач (ТЕН) використовується для підтримання мінімальної температури теплоносія в періоди, коли температура води опускається нижче встановленого порогу. Це особливо важливо для запобігання конденсації вологи та забезпечення стабільної роботи системи. ТЕН підключений через контактну групу 16–15–18 та живиться кабелем перетином 2.5 мм².

Циркуляційна помпа забезпечує примусову циркуляцію охолоджувальної рідини через лазерний генератор. Живлення помпи здійснюється від спеціального виходу плати керування, позначеного як ЖП (живлення помпи). Підключення виконано комбінацією коричневих (К) та синіх (С) проводів перетином 1.0 мм². Циркуляційна помпа працює в постійному режимі при увімкненому обладнанні.

Електромагнітний клапан (соленоїд), позначений літерою “С”, керує потоком охолоджувальної рідини в системі. Управління клапаном здійснюється платою керування температурою через сигнальні проводи перетином 0.35 мм². Клапан дозволяє автоматично регулювати потік теплоносія залежно від температурного режиму роботи.

Система контролю та датчики.

Датчик потоку води (ДПВ) є критично важливим елементом системи безпеки. Він постійно контролює наявність циркуляції охолоджувальної рідини через систему. При відсутності потоку або його зниженні нижче критичного рівня, датчик формує сигнал на плату керування, яка негайно вимикає лазерний генератор, запобігаючи його перегріву та виходу з ладу. Підключення датчика виконано тонкими сигнальними кабелями перетином 0.35 мм² синього та коричневого кольорів.

Термодатчики 1 та 2 розміщені в різних точках системи охолодження для точного контролю температури теплоносія. Термодатчики підключені до плати керування кабелями перетином 2×1.5 мм² та додатковими сигнальними

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проводами різних кольорів (червоний, чорний, жовтий, зелений, білий) перетином 0.5 мм² та 0.35 мм². Використання двох датчиків дозволяє контролювати температуру на вході та виході охолоджувальної системи, забезпечуючи точне регулювання.

Плата керування температурою.

Центральним елементом системи є плата керування температурою, яка виконує функції:

- моніторингу температури теплоносія через термодатчики;
- контролю наявності циркуляції через датчик потоку води;
- управління компресором, вентилятором та ТЕНом;
- формування сигналів живлення для помпи (ЖП) та генератора (ЖГ);
- бробики сигналу від аварійної кнопки (АК).

Плата реалізує алгоритм підтримання заданої температури охолоджувальної рідини в діапазоні, оптимальному для роботи лазерного генератора. При досягненні верхньої межі температури включається компресор та вентилятор для охолодження, при зниженні нижче мінімальної - активується ТЕН.

Бак-накопичувач.

Бак є ємністю для зберігання охолоджувальної рідини.

Він забезпечує необхідний об'єм теплоносія в системі та виконує функцію теплового акумулятора, згладжуючи температурні коливання в процесі роботи.

З'єднання з генератором

Вихід плати керування ЖГ (живлення генератора) через роз'єм CN7 подає живлення на лазерний генератор тільки за умови нормального функціонування всіх систем чиллера: наявності потоку води, відповідності температури заданим параметрам та відсутності аварійних сигналів. Такий підхід гарантує, що генератор отримає живлення лише при забезпеченні належного охолодження.

Примітки щодо кабельних з'єднань.

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На схемі вказано перетини проводів у міліметрах квадратних (мм²). Силові кабелі, що живлять потужні споживачі (компресор, вентилятор, ТЕН), мають перетин 2.5 мм², кабелі помпи та проміжних з'єднань - 1.0 мм², а сигнальні проводи датчиків та керування – від 0.35 мм² до 0.5 мм². Кольорове маркування проводів: К - коричневий, С - синій, З - зелений, Ж - жовтий, Черв. – червоний, Чорн. – чорний, Біл. – білий. У примітці зазначено, що кольори деяких сигнальних кабелів можуть бути змінені залежно від наявності проводів на виробництві.

5.2 Електрична схема системи живлення та керування зварювального комплексу WeldingBot 100

На рисунку 5.4 наведено електричну схему системи живлення та керування зварювального комплексу WeldingBot 100, яка відображає взаємозв'язок між основними силовими, керуючими та допоміжними елементами установки.

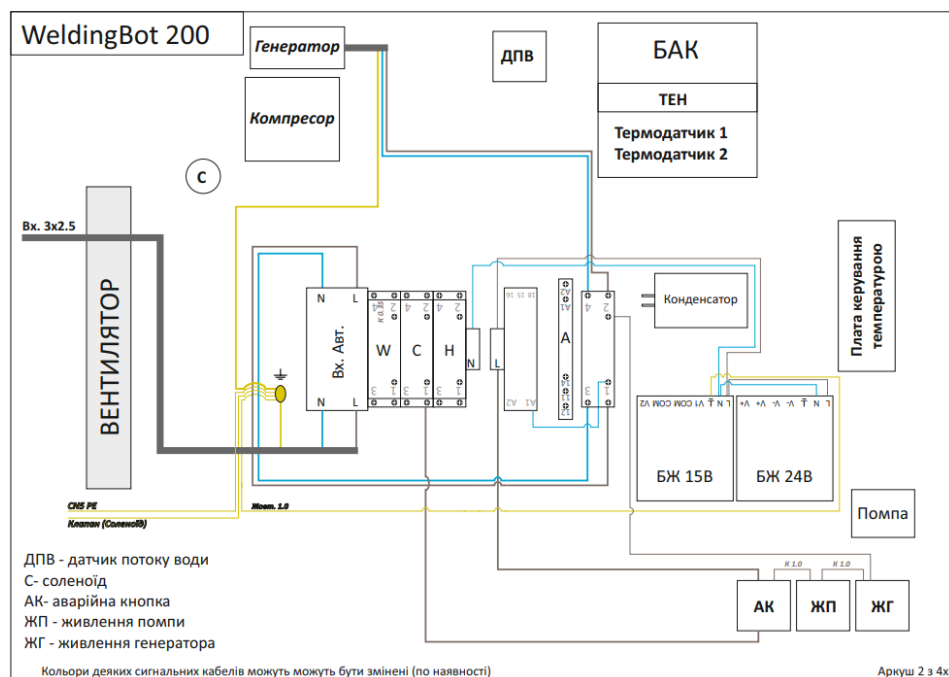


Рисунок 5.4 – Електрична схема системи живлення та керування зварювального комплексу WeldingBot 100

Лазерний генератор Maxphotronics, RAYCUS на рисунку 5.5 отримує електроживлення від чиллера через спеціалізований вихід «ЖГ».



Рисунок 5.5 – Лазерний генератор Maxphotronics, RAYCUS [11].

У складі системи живлення застосовуються два незалежні джерела:

- блок живлення 24 В – основне джерело живлення логічних та керувальних кіл генератора;
- блок живлення 15 В – додаткове живлення допоміжних електронних вузлів.

Підключення лазерного генератора до системи керування здійснюється через роз'єм CN5, який має таку конфігурацію контактів:

- +24 V – позитивне живлення 24 В;
- -24 V – негативне живлення 24 В;
- PE – захисне заземлення;
- +15 V – позитивне живлення 15 В;
- COM – спільний нульовий потенціал (загальна «земля» системи);
- -15 V – негативне живлення 15 В.

У конструкції лазерного генератора передбачено електромагнітний клапан (соленоїд), що виконує функцію керування подачею допоміжного газу, необхідного для технологічних процесів лазерного різання або зварювання.

Соленоїд оснащений:

- котушкою керування з виводами A1 та A2;

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– групою силових контактів 11, 12 та 14, які забезпечують комутацію лінії подачі газу залежно від стану керувального сигналу.

5.3 Електрична схема системи керування лазерним випромінюванням зварювального комплексу WeldingBot 100

На рисунку 5.6 наведено електричну схему системи керування лазерним випромінюванням зварювального комплексу WeldingBot 100, яка відображає структуру взаємодії між блоками керування, джерелами живлення та виконавчими елементами лазерної підсистеми.

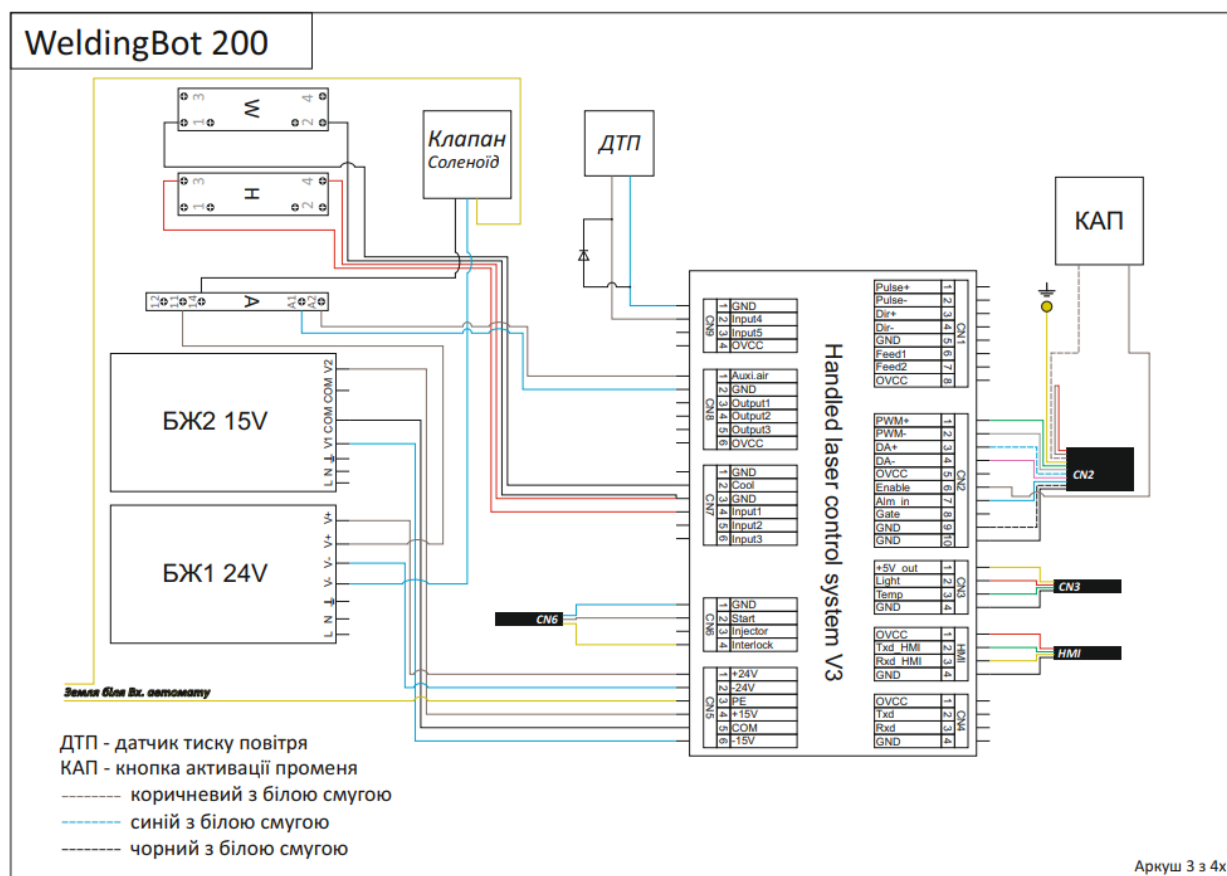


Рисунок 5.6 – Електрична схема системи керування лазерним випромінюванням зварювального комплексу WeldingBot 100

Робота клапана забезпечує стабільність газодинамічних умов у зоні формування лазерного променя та підтримує якість технологічного процесу.

Система керування лазерного генератора забезпечує координацію роботи основного променя, подачі газу, охолодження, сигналізації та взаємодії з оператором. Вона складається з набору електронних модулів та роз'ємів, кожен з яких виконує визначену функцію.

Живлення системи здійснюється через роз'єм CN5, який отримує напругу $\pm 24\text{ В}$ і $\pm 15\text{ В}$, а також сигнали захисного заземлення (PE) і загальної землі (COM).

Цифрові входи та виходи підключаються через роз'єм CN6, який включає сигнали запуску лазера (*Start*), керування газовим інжектором (*Injector*), а також ланцюг безпеки (*Interlock*). Роз'єм має також загальний контакт землі (GND).

Додаткові цифрові входи та виходи організовані через роз'єм CN7. Він містить три керуючі виходи (*Output1–Output3*), три сигнальні входи (*Input1–Input3*), живлення оптоізоляції (*OVCC*) та загальний контакт землі (GND).

Контроль стану лазерного генератора здійснюється через роз'єм CN8, який забезпечує моніторинг системи охолодження (*Cool*), допоміжного повітря (*Auxi.air*) та має контакт землі (GND). Додаткові входи доступні через роз'єм CN9, який включає два сигнальні входи (*Input4, Input5*), живлення оптоізоляції (*OVCC*) та землю (GND).

Головний керуючий роз'єм CN4 містить двадцять контактів і об'єднує кілька функціональних блоків.

Блок широтно-імпульсної модуляції (PWM) та імпульсного режиму роботи (Pulse) забезпечує регулювання потужності лазерного випромінювання залежно від заданих технологічних параметрів. Блок зв'язку реалізує обмін даними через UART-канали та окремі лінії підключення панелі оператора (HMI), що забезпечує керування режимами роботи установки та візуалізацію її стану.

Блок керування двигуном подачі формує цифрово-аналогові сигнали швидкості (DA+/DA–), сигнали напрямку руху (Dir+/Dir–) та дозвіл роботи двигуна (Enable), а також приймає сигнали з датчиків подачі (Feed1, Feed2) і

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснює керування затвором (Gate). Додатково передбачено контакти для керування підсвіткою, контролю температури, формування аварійних сигналів, живлення периферійних пристроїв напругою +5 В, а також загальні контакти заземлення та живлення оптоізоляції, що забезпечує електробезпеку та надійність роботи системи.

Панель оператора підключається до системи керування через роз'єм CN3 та виконує функції відображення поточного стану зварювального комплексу, індикації режимів роботи, аварійних повідомлень і параметрів технологічного процесу, а також забезпечує введення команд керування оператором. За допомогою панелі оператора здійснюється запуск і зупинка лазерного випромінювання, контроль допоміжних систем та оперативне реагування на зміну умов роботи установки.

Роз'єм CN2 призначений для підключення лазерного пістолета і забезпечує передачу керуючих та сигнальних ліній, зокрема сигналів активації лазерного променя, контролю подачі захисного газу та взаємодії з елементами безпеки, розміщеними безпосередньо на робочому інструменті. Таке рішення дозволяє реалізувати локальне керування випромінюванням безпосередньо з пістолета з одночасним дотриманням вимог безпеки.

Роз'єм CN1 використовується для розширення функціональних можливостей системи керування та забезпечує підключення додаткових модулів, виконавчих механізмів і датчиків контролю технологічних параметрів. Це дозволяє масштабувати систему WeldingBot 100 відповідно до вимог конкретного виробничого процесу та інтегрувати її з додатковими підсистемами автоматизації.

До системи керування також підключено комплекс елементів безпеки, який забезпечує запобігання несанкціонованій або аварійній роботі лазерного випромінювання. КАП (кнопка активації променя) розташована на лазерному пістолеті та забезпечує дозвіл на випромінювання лазера лише за умови її натискання оператором. Підключення кнопки здійснюється через спеціально

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема з'єднань демонструє фізичне підключення всіх роз'ємів між основними компонентами лазерного комплексу, а саме генератором, системою керування, лазерним пістолетом та VGA-виходами, які використовуються для позиціонування. Генератор підключається до системи керування через роз'єми CN5, CN6, CN7, CN8 та CN9, при цьому забезпечується подача живлення, цифрових сигналів, а також контроль стану допоміжних систем. Система керування включає роз'єми CN1, CN2, CN3, CN4 та панель НМІ, через які здійснюється координація роботи лазера, передача команд від оператора та отримання зворотних сигналів від датчиків і виконавчих пристроїв. Лазерний пістолет підключається до системи через спеціальні роз'єми та кабелі, що забезпечують керування випромінюванням та активацією променя.

Принцип роботи системи базується на послідовності взаємопов'язаних операцій. Після подачі живлення через вхідний автомат запускається чиллер, який приводить в дію компресор, вентилятор і помпу, забезпечуючи охолодження води до робочої температури.

Датчик потоку води контролює циркуляцію, а термодатчики перевіряють температуру охолоджуючої рідини. У разі відсутності несправностей подається живлення на лазерний генератор, а система керування перевіряє стан ланцюгів безпеки та датчик тиску повітря. Після підтвердження готовності оператор активує лазер натисканням кнопки на пістолеті, система формує PWM-сигнал на генератор для регулювання потужності, і лазер випромінює промінь із заданими параметрами. Усі аварійні ситуації, такі як відсутність циркуляції води, перегрів або відсутність подачі повітря, автоматично призводять до відключення лазера, забезпечуючи безпеку обладнання та оператора.

Для підключення використовуються кабелі різного перетину відповідно до електричного навантаження. Силові лінії виконані кабелями $4 \text{ мм}^2 \times 2,5 \text{ мм}^2$, лінії середньої потужності — $1,0 \text{ мм}^2$, а сигнальні дроти — $0,35 \text{ мм}^2$. Жили кабелів маркуються стандартними кольорами: коричневий, синій, зелений, жовтий, червоний, чорний та білий.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЄКТУ

Стартап як форма підприємництва.

Стартап-проекти належать до форми малого ризикового (венчурного) підприємництва, яке впродовж останнього десятиліття демонструє стрімкий розвиток та суттєве зростання популярності. Важливим чинником цього процесу є зниження бар'єрів для виходу на ринок, насамперед завдяки розвитку цифрових технологій та глобальної мережі Інтернет. Саме Інтернет забезпечив доступність до цільової аудиторії, спростив комунікацію з потенційними інвесторами, пришвидшив пошук ресурсів та створив умови для оперативного виходу на міжнародні ринки.

Стартапи формують ключовий елемент інноваційної економіки, оскільки характеризуються високим рівнем мобільності, адаптивності та здатністю генерувати інноваційні рішення у короткі терміни. Водночас, венчурний характер діяльності зумовлює значний рівень невизначеності та ризику, що підтверджується статистичними даними: лише 10–20% стартапів досягають комерційної успішності. Незважаючи на це, саме стартапи стали основою для формування компаній, які нині визначають глобальні технологічні тенденції, зокрема:

- Apple Inc. – заснована у 1976 р. Стивом Джобсом, Стивом Возняком та Рональдом Вейном; починала свою діяльність як гаражний стартап, що розробляв персональний комп'ютер Apple I;

- Microsoft – створена у 1975 р. Біллом Гейтсом та Полом Алленом як стартап у сфері програмного забезпечення для персональних комп'ютерів;

- Tesla – започаткована у 2003 р. Мартіном Ебергардом і Марком Тарпеннінгом як стартап з розробки електромобілів, а подальший розвиток компанії був суттєво прискорений після залучення Ілона Маска.

Ці приклади демонструють, що за умови правильної стратегії розвитку, стартапи здатні трансформуватися у провідні корпорації та суттєво впливати на глобальні ринки.

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на високий рівень ризику у сфері стартап-підприємництва, необхідним етапом забезпечення його ефективності є проєктування, яке передбачає комплексну оцінку ринкової ситуації та потенціалу майбутнього продукту чи послуги. У межах даного магістерського дослідження буде реалізовано перший етап проєктування – маркетинговий аналіз стартап-проєкту, що включає:

- формування концепції та опису ідеї проєкту з визначенням сфер застосування майбутнього продукту/послуги;
- оцінку ринкових можливостей та конкурентного середовища;
- розробку стратегії виходу на ринок на основі системного аналізу ринкових умов.

Отримані результати мають слугувати підґрунтям для прийняття техніко-економічно обґрунтованих рішень щодо перспективності впровадження проєкту та його подальшого розвитку.

6.1 Маркетинговий аналіз стартап-проєкту з виготовлення плити перекриття

Опис ідеї проєкту.

Метою даного стартап-проєкту є впровадження сучасної технології лазерного зварювання для виготовлення металевих конструкцій з використанням зварювального апарата WeldingBot-100. Вказане обладнання забезпечує високоточне формування зварних швів, автоматизований контроль параметрів процесу та стабільну якість з'єднань, що є критично важливим у серійному та дрібносерійному виробництві. Запропонована технологія орієнтована на підвищення ефективності виготовлення металевих виробів при мінімізації собівартості, без втрати експлуатаційної надійності та ресурсу роботи конструкції.

Основною концепцією проєкту є використання системи лазерного зварювання на базі WeldingBot-100 для виробництва конструктивних

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементів, які можуть застосовуватись у різних галузях промисловості. Використання цього обладнання дозволяє досягти високого рівня точності з'єднань, суттєво зменшити потребу у додатковій механічній обробці та забезпечити повторюваність результатів при великій кількості виробів. Автоматизований характер технології підвищує продуктивність і виключає людський фактор, що особливо важливо у виробництвах з високими вимогами до якості та безпеки.

Технологія, що впроваджується, може бути масштабована та адаптована під різні типи металевих конструкцій – від рам та опорних елементів до корпусних деталей та складальних вузлів. Застосування лазерного зварювання забезпечує високу концентрацію тепла у зоні шва, мінімальні деформації та низький рівень термічного впливу на основний метал, що дає змогу використовувати більш тонкі матеріали та зменшити вагу виробу. Це створює додаткові конкурентні переваги на ринку та дозволяє інтегрувати технологію в сучасні виробничі лінії. Деталізований опис ідеї стартап-проєкту наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проєкту WeldingBot-100

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Впровадження технології лазерного зварювання з використанням комплексу WeldingBot 100, що забезпечує високу точність, міцність шва та низьку собівартість операції.	Меблеве виробництво	Зменшення маси конструкцій, естетичний шов, висока повторюваність
	СТО та металоконструкції	Надійність, жорсткість
	Аграрний сектор	Довговічність, стійкість до вібрацій та навантажень
	Рекламні конструкції	Висока точність геометрії, можливість виробництва складних форм

Отже, згідно з таблицею 6.1, можна зробити висновок, що потенційними ринками збуту продукції є компанії, які працюють у сфері меблевого виробництва, виготовлення та ремонту металоконструкцій, аграрного обладнання, а також підприємства, що спеціалізуються на створенні рекламних конструкцій. Зазначені сегменти ринку є найбільш зацікавленими у впровадженні технології лазерного зварювання, оскільки вона забезпечує високу точність, міцність з'єднань, естетичний вигляд шва та можливість виготовлення складних форм.

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг.

Для оцінювання конкурентоспроможності запропонованого стартап-проєкту з використанням лазерно-зварювального комплексу WeldingBot-100 доцільно визначити перелік ключових техніко-економічних характеристик:

– вартість обслуговування та експлуатації обладнання – це сукупність витрат, пов'язаних із використанням і підтримкою зварювального комплексу протягом його життєвого циклу. Лазерне обладнання WeldingBot-100 забезпечує автоматизоване регулювання параметрів, що зменшує частоту ручного втручання та витрати на експлуатацію;

– обсяг виробництва – кількість зварних виробів, яку можна виготовити за певний період. Використання автоматизованого лазерного зварювання забезпечує стабільну повторюваність швів і дозволяє ефективно планувати серійне та дрібносерійне виробництво;

– довговічність – здатність зварних з'єднань витримувати механічні навантаження, корозію та інші несприятливі фактори протягом тривалого часу. Завдяки високоточному лазерному променю WeldingBot-100 шви мають мінімальні термічні деформації та підвищену механічну міцність;

– трудомісткість виготовлення – загальна кількість часу та праці, необхідних для виготовлення виробу. Автоматизований процес зварювання зменшує участь людини та скорочує трудовитрати, порівняно з традиційними методами;

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– забезпечення герметичності конструкції – здатність зварних швів бути непроникними для рідин, газів або інших речовин. Точне регулювання параметрів променя гарантує щільність шва, що важливо для конструкцій, які підлягають герметизації;

– енергоефективність – здатність обладнання використовувати енергію максимально ефективно. Використання волоконного Yb-лазера забезпечує менше енергоспоживання на одиницю виробу порівняно з традиційними дуговими зварювальними апаратами;

– екологічність – здатність процесу мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Лазерне зварювання WeldingBot-100 знижує викиди шкідливих газів і зменшує необхідність додаткової обробки, що робить технологію екологічно більш чистою.

Визначивши основні порівняльні характеристики, окреслюємо коло потенційних конкурентів на ринку автоматизованого лазерного зварювання металоконструкцій:

– Trumpf GmbH – провідний німецький виробник промислових лазерних систем та роботизованих комплексів для високоточного зварювання металів;

– IPG Photonics – американська компанія, що спеціалізується на волоконних лазерах високої потужності, застосовуваних у промисловому зварюванні та обробці металів;

– Bystronic Laser AG – швейцарський виробник обладнання для лазерного різання та зварювання, відомий високою продуктивністю та точністю технологічних процесів.

Сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту наведено в таблиці 6.2.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

№ n/n	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конку- рентів			
		Мій Проект	Trumpf GmbH	IPG Photonics	Bystronic Laser AG
1.	Вартість обслуговування та експлуатації обладнання	N	N	S	W
2.	Обсяг виробництва	W	N	N	S
3.	Довговічність	S	N	W	N
4.	Трудомісткість виготовлення	S	W	W	N
5.	Забезпечення герметичності конструкції	S	N	N	S
6.	Енергоефективність	S	N	N	S
7.	Екологічність	N	W	W	S

Примітка. S (сильні) – показники, що мають кращі значення, ніж у конкурентів, N (нейтральні) – показники, що мають аналогічні значення; W (слабкі) – показники, що мають гірші значення.

На основі аналізу можна зробити висновок, що запропонований стартап-проект має значний потенціал для конкурентоспроможності. Лазерне зварювання забезпечує переваги у довговічності, трудомісткості виготовлення та герметичності конструкцій. Показник обсягу виробництва наразі є помірним, але його можна підвищити шляхом модернізації виробничих потужностей та впровадження серійного виробництва. В цілому технологія WeldingBot-100 забезпечує комплексне вирішення завдань із підвищеною точністю, енергоефективністю та екологічною безпекою, що робить проєкт перспективним для впровадження на ринку металоконструкцій.

6.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Проведемо технологічний аудит наведений в таблиці 6.3 ідеї проєкту для встановлення наявності та доступності технологій, необхідних для виробництва.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виробництво металевих конструкцій із застосуванням лазерного зварювання	131 спосіб зварювання (за ISO 4063).	Наявна	Доступна
	Використання механізованого оснащення для фіксації та кантування конструкцій	Наявна	Доступна
	Лазерне очищення поверхні та підготовка шва	Наявна	Доступна
	Неруйнівний контроль якості (візуально-вимірний)	Наявна	Доступна
	Технології заготівельного етапу (різання, підготовка кромки)	Наявна	Доступна

На підставі даних, представлених у таблиці 6.3, можна зробити висновок про те, що реалізація стартап-проєкту є можливою з використанням наявних технологій.

Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.

Використання лазерно-зварювального апарата WeldingBot-100 дозволяє вийти на сегмент виробництва високоточних металоконструкцій, що особливо актуально для таких галузей:

- виготовлення каркасів меблів;
- виробництво промислового обладнання;
- аграрне машинобудування;
- СТО та ремонтні підприємства;

- рекламні конструкції та малосерійні металовироби;
- виготовлення герметичних резервуарів та елементів трубопроводів.

Прогнозується стале зростання ринку лазерного зварювання, що обумовлено наступними факторами:

Позитивні чинники розвитку ринку:

- збільшення попиту на автоматизацію виробництва;
- поширення концепції «індустрія 4.0»;
- зростання вимог до якості та точності зварювання;
- зростання кількості підприємств малого та середнього бізнесу в

галузі металообробки.

Фактори, що можуть стримувати розвиток:

- нестабільність економічної ситуації в Україні;
- висока вартість початкового оснащення;
- потреба в кваліфікованих операторах та інженерах-технологах;
- необхідність дотримання стандартів ISO/ДСТУ у сфері зварювання.

Проведене попереднє дослідження ринку наведено у таблиці 6.4.

Цільовою аудиторією стартап-проєкту є промислові підприємства та сервісні компанії, що спеціалізуються на встановленні, технічному обслуговуванні та ремонті металоконструкцій, а також будівельні компанії, які потребують високоточних та надійних конструктивних елементів. Особливий інтерес до застосування лазерної технології зварювання (на базі обладнання WeldingBot-100) проявляється з боку виробництв, що прагнуть скоротити витрати на ручну працю, підвищити якість шва та забезпечити стабільну повторюваність технологічного процесу.

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, USD	600000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає, в зв'язку з збільшенням
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Інвестиції в закупівлю обладнання, наймання
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація згідно ДСТУ/ISO на кожний
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	9%

Відповідно до цього, визначено ключові потреби ринку, вимоги до продукту та поведінкові особливості потенційних клієнтів. Їх структуру представлено у таблиці 6.5.

Важливо чітко ідентифікувати потреби, очікування та експлуатаційні вимоги цільової аудиторії, оскільки саме вони визначають напрямки формування ефективної маркетингової стратегії та конкурентного позиціонування продукту на ринку. Комплексний підхід до аналізу споживачів дозволяє не лише розробити технічно досконалий та економічно обґрунтований продукт, але й сформувати систему післяпродажного супроводу, що включає технічну підтримку, сервісне обслуговування, навчання персоналу та адаптацію обладнання до конкретних виробничих умов замовника.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Високоточне зварювання металоконструкцій	Виробники меблевих каркасів та малих металовиробів	Орієнтація на ефективність, швидкі терміни виготовлення та мінімальну деформацію металу	Висока точність, естетичність шва
2	Необхідність у компактному та гнучкому зварювальному обладнанні	СТО та ремонтні підприємства	Запит на мобільність, просту інтеграцію в існуючі процеси	Універсальність, ремонтпридатність
3	Підвищення якості виробництва	Підприємства аграрного машинобудування	Увага до міцності зварних з'єднань, надійності технології та продуктивності	Стійкість швів, повторюваність результатів
4	Серійне та малосерійне виготовлення промислових елементів	Заводи з виробництва обладнання, трубопроводів та резервуарів	Суворе дотримання ISO/ДСТУ, контроль якост	Герметичність, відповідність стандартам
5	Швидке прототипування та виготовлення рекламних конструкцій	Рекламно-виробничі компанії	Часті зміни конструкцій, короткі цикли виробництва	Гнучкість, точність позиціонування

Складання таблиць факторів, що сприяють та перешкоджають ринковому впровадженню проєкту, приймати обґрунтовані рішення та розробляти ефективні стратегії; підвищити шанси на успіх; ефективно управляти ресурсами; демонструє обґрунтованість проєкту та підвищує довіру інвесторів. Фактори можливостей представимо у вигляді таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростаючий попит на точне зварювання металів	Підвищення вимог до точності, повторюваності та естетики зварних з'єднань	Розширення виробництва, закупівля обладнання WeldingBot-100
2	Автоматизація та «Індустрія 4.0»	Держава та бізнес стимулюють цифровізацію й автоматизацію виробництва	Інтеграція WeldingBot-100 у CNC та роботизовані системи
3	Зростання малого та середнього бізнесу у сфері металообробки	Збільшення кількості приватних цехів, СТО, ремонтних майстерень	Створення послуги «лазерне зварювання на замовлення»
4	Зниження енергоспоживання та витрат	Перехід від MIG/MAG до лазерного зварювання знижує витратність виробництва	Оптимізація собівартості і збільшення рентабельності
5	Розвиток меблевої та рекламної галузі	Постійний попит на точні металеві каркаси та складні конструкції	Орієнтація на серійне виробництво каркасів меблів та вивісок
6	Програми модернізації виробничих підприємств (ДК 016:2010, ISO, ДСТУ	Можливість отримання пільг, грантів, державних субсидій	Участь у програмах модернізації, сертифікація за ISO
7	Роботизація виробництва	Використання роботизованих маніпуляторів та CNC-рішень у зварюванні	Поступовий перехід до автоматизованих ліній

Фактори загроз представимо у вигляді таблиці 6.7

Таблиця 6.7 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Зниження попиту	Падіння закупівельного бюджету підприємств через економічний спад та військові дії	Перехід на виготовлення дрібносерійних металовиробів та зварювальних послуг «на замовлення»
2	Зростання конкуренції	Вихід на ринок нових виробників лазерного обладнання або покращення моделей у конкурентів	Підвищення якості продукції, оптимізація процесів, розробка унікальних технологічних рішень
3	Економічна нестабільність	Інфляційні процеси, коливання валютного курсу, зростання вартості комплектуючих для WeldingBot-100	Перегляд цінової політики, укладання довгострокових контрактів з постачальниками, страхування фінансових ризиків
4	Технологічні збої	Вихід з ладу лазерного обладнання, збої у програмному забезпеченні ЧПК та системі управління	Впровадження регламентного ТО, резервування обладнання, створення фонду ремонтних запасів
5	Руйнування виробничих потужностей	Ризик пошкодження виробництва, складів та офісів у результаті військових дій	Створення резервних виробничих зон, перенесення серверів у хмарну інфраструктуру, страхування майна
6	Перебої логістики	Затримки у постачанні електронних компонентів і металу для виготовлення конструкцій	Пошук альтернативних постачальників, створення запасів матеріалів та комплектуючих
7	Дефіцит кваліфікованих кадрів	Брак технологів та операторів лазерного обладнання, виїзд фахівців за кордон	Внутрішнє навчання персоналу, бронювання критичних спеціалістів, підвищення заробітної плати

Аналіз пропозиції передбачає комплексне дослідження конкурентного середовища, у межах якого функціонуватиме стартап-проект із впровадження лазерного зварювального обладнання WeldingBot-100. Визначення типу конкуренції, рівня галузевого протистояння, характеру конкурентних переваг та інтенсивності боротьби дозволяє оцінити реальні ринкові умови та ступінь загроз з боку існуючих технологічних рішень.

Такий аналіз забезпечує розуміння того, яким чином поведінка конкурентів, структурні особливості галузі металообробки та присутність імпортного обладнання можуть впливати на ринкову позицію проекту. Отримані результати дають змогу сформуванню ефективної ринкової стратегії, визначити ключові напрями диференціації та адаптувати технічні характеристики WeldingBot-100 до очікувань споживачів.

Нижче наведено ступеневий аналіз конкурентного середовища, сформований відповідно до вимог методичних рекомендацій (див. табл. 6.8).

Для отримання повної оцінки конкурентного середовища проведено аналіз галузі за моделлю п'яти сил М. Портера, яка дозволяє визначити інтенсивність конкуренції, ринкові бар'єри та ступінь впливу ключових ринкових агентів. Такий аналіз є особливо важливим для стартап-проекту, пов'язаного з впровадженням лазерно-зварювального апарата WeldingBot-100, оскільки технологія належить до інноваційного сегменту ринку металообробки, що характеризується швидкою еволюцією обладнання та високою динамікою попиту.

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	Тип конкуренції – монополістична конкуренція	Наявність значної кількості виробників та постачальників лазерного зварювального обладнання, що пропонують різні за характеристиками моделі.	Орієнтація на ефективність, швидкі терміни виготовлення та мінімальну деформацію металу
2	Рівень конкурентної боротьби – національний та міжнародний	Конкуренція між локальними виробниками та імпортерами постачальниками (ЄС, Китай). Багато компаній працює у форматі малих імпортерів дистриб'юторів.	Активне просування обладнання, участь у виставках, створення демонстраційних центрів, локальна наявність сервісних інженерів.
3	Галузевий тип конкуренції – внутрішньогалуз ева	Усі конкуренти працюють у сфері металообробного обладнання: зварювання, ріжучі системи, роботизація, ЧПК.	Модернізація технічних параметрів продукту, зменшення собівартості, вихід у суміжні сегменти (меблі, реклама, точні конструкції).

Продовження таблиці 6.8

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
4	Конкуренція за видами товарів – товарно-видова	Laser welding конкурує з MIG/MAG, TIG, плазмовим та дуговим зварюванням. Частина підприємств ще не готова переходити на лазер	Позиціонування WeldingBot-100 як енергоефективного та високошвидкісного рішення з мінімальною післяобробкою шва
5	Характер конкурентних переваг – переважно нецінова конкуренція	Ключову роль відіграють точність, повторюваність, стабільність шва, сервіс, гарантійний супровід, навчання персоналу.	Розвиток сервісного відділу, впровадження навчальних курсів, надання тестових демонстрацій обладнання.
6	Інтенсивність конкуренції – марочна конкуренція	Вибір обладнання залежить від репутації бренду, досвіду клієнтів, кількості встановлених систем, відгуків у галузі	Підсилення бренду WeldingBot, створення маркетингової комунікації, демонстрація реальних кейсів з виробництва.

У межах аналізу розглянуто такі складові:

- поточний рівень конкуренції серед виробників обладнання та компаній, що надають аналогічні послуги;
- загроза входу нових конкурентів та наявність бар'єрів;
- ринкова сила постачальників обладнання й витратних матеріалів;

- ринкова сила клієнтів, зокрема промислових підприємств, СТО, виробників меблів та ремонтних майстерень;
- наявність товарів-замінників, таких як традиційні методи зварювання або альтернативні технології (TIG, MIG/MAG, плазмове зварювання).

Отримані результати представлені у таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	WeldingTech UA, LaserTech, RedVerg, HSG Laser, інші виробники портативних лазерів	Низькі бар'єри входу: доступність китайських комплектуючих, зростання ринку	Концентрація постачальників лазерних джерел; залежність від імпорту оптики та електроніки	Клієнти можуть диктувати вимоги щодо ціни, сервісу, сертифікації	MIG/MAG, TIG, плазмове різка, контактне зварювання
Висновки	Інтенсивність боротьби — середня	Вхід можливий, потребує сертифікації та сервісної бази	Постачальники мають середню ринкову силу	Сила клієнтів — середня, оскільки існують альтернативи	Замінники створюють помірний тиск на технологію лазерного зварювання

Аналіз конкурентних умов у галузі лазерного зварювання показав, що ринок характеризується середнім рівнем конкурентної боротьби, наявністю альтернативних технологій (MIG/MAG, TIG, плазма), а також помірним тиском імпортного обладнання. Водночас рівень бар'єрів входження є невисоким, що створює можливості для появи нових учасників. Для забезпечення конкурентоспроможності проєкт повинен володіти низкою сильних характеристик: високою точністю зварювання, низькими

енергозатратами, стабільністю процесу, доступною вартістю експлуатації. Виходячи з цього, формується перелік факторів конкурентоспроможності таблиця 6.10.

Таблиця 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування значущості фактора
1	Точність та якість зварювання	У галузях меблевого виробництва, машинобудування та ремонтних підприємств критично важливими є точність, мінімальна деформація та естетика шва. Лазерне зварювання виграє у MIG/MAG та TIG за повторюваністю.
2	Енергоефективність процесу	Лазерне зварювання суттєво зменшує витрати електроенергії та допоміжних матеріалів порівняно з традиційними технологіями, що важливо в умовах високих тарифів та ризику блекаутів.
3	Швидкість і продуктивність	WeldingBot-100 забезпечує високу швидкість зварювання, що дозволяє підвищити обсяг виробництва та скоротити час виготовлення замовлень.
4	Вартість експлуатації та обслуговування	Низька собівартість процесу та мінімальна потреба в витратних матеріалах збільшують привабливість проєкту для МСБ
5	Універсальність застосування	Можливість роботи з нержавіючою сталлю, конструкційними сталями, тонкомірними деталями та трубними з'єднаннями розширює ринковий потенціал обладнання.
6	Сервісна підтримка і навчання персоналу	Для високоточного обладнання важливими є інструктаж, технічний супровід та гарантійне обслуговування — відсутність цього може унеможливити продаж.

На основі факторів конкурентоспроможності було виконано порівняльну оцінку сильних та слабких сторін проєкту. У таблиці 6.11. проставлені бали від –3 до +3, де позитивні значення означають перевагу над конкурентами, нуль — паритет, негативні — слабку позицію.

Таблиця 6.11 – Аналіз сильних та слабких сторін «WeldingBot100»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали
1	Точність та якість зварювання	+3
2	Енергоефективність	+2
3	Швидкість і продуктивність	+2
4	Вартість експлуатації	+1
5	Універсальність застосування	+1
6	Сервісна підтримка та навчання	0
7	Автоматизація, інтеграція з робототехнікою	+3

Складання таблиць із факторами, що сприяють та перешкоджають впровадженню проєкту, є важливим інструментом стратегічного планування, оскільки дозволяє оцінити реальні ринкові умови та спрогнозувати ефективність майбутніх дій компанії.

SWOT-аналіз є ключовим етапом оцінювання ринкової стійкості проєкту та визначення стратегії його розвитку. Структура SWOT-аналізу включає наступні компоненти:

- сильні сторони (Strengths) – внутрішні характеристики, що забезпечують конкурентні переваги;
- слабкі сторони (Weaknesses) – внутрішні чинники, що обмежують розвиток проєкту;
- можливості (Opportunities) – зовнішні фактори, що можуть сприяти розвитку;

– загрози (Threats) – зовнішні ризики, які несуть потенційну небезпеку бізнесу.

Проведення SWOT-аналізу є завершальним етапом ринкового дослідження та дозволяє сформулювати альтернативні сценарії поведінки на ринку, визначити оптимальний момент запуску виробництва та оцінити рівень готовності проєкту до масштабування.

У наступному підрозділі представлено SWOT-аналіз виробництва металоконструкцій із застосуванням лазерно-зварювального апарата WeldingBot-100 таблиця 6.12.

Таблиця 6.12 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

<u>Сильні сторони:</u> 1. Висока точність та якість зварювання. 2. Забезпечення герметичності та міцності конструкцій. 3. Енергоефективність і економія матеріалів 4. Можливість автоматизації та інтеграції в CNC-системи.	<u>Слабкі сторони:</u> 1. Значні початкові інвестиції на закупівлю обладнання. 2. Залежність від кваліфікованого персоналу. 3. Відносно невеликі обсяги виробництва на початковому етапі. 4. Необхідність виконання вимог ISO/ДСТУ (сертифікація).
<u>Можливості:</u> 1. Розвиток конструкцій у меблевій та промисловій галузі. 2. Державні програми модернізації промисловості та інфраструктури. 3. Впровадження інноваційних технологій та індустрії 4.0. 4. Роботизація та автоматизація технологічних процесів.	<u>Загрози:</u> 1. Зниження попиту через економічну нестабільність. 2. Посилення конкуренції на ринку обладнання. 3. Перебої логістики та постачання комплектуючих. 4. Технологічні збої (поломка апарата, ПО). 5. Ризик руйнування виробничих потужностей внаслідок бойових дій. 6. Втрата кваліфікованих кадрів. 7. Втрата кваліфікованих кадрів

З урахуванням помірного рівня конкуренції та наявності технологічних переваг, для реалізації проєкту доцільно застосувати активну ринкову стратегію. Такий підхід передбачає агресивне просування на ринок, адаптацію до змін зовнішнього середовища та врахування техніко-економічних факторів при масштабуванні виробництва.

Ключові ознаки активної ринкової стратегії:

- постійний моніторинг ринку та конкурентів;
- швидка адаптація до змін попиту та технологій;
- впровадження інновацій та цифрових рішень;
- відкритість до автоматизації та роботизації;
- активне використання маркетингових інструментів.

Умови для успішної реалізації стратегії:

- інвестиції в дослідження та розробку (R&D);
- гнучкість управління та готовність до змін;
- навчання персоналу та розвиток компетенцій;
- робота з державними програмами підтримки промисловості.

Таким чином, активна ринкова стратегія є найбільш обґрунтованим рішенням для виходу на ринок із системами лазерного зварювання на базі WeldingBot-100. Строки виведення стартап-проєкту на ринок та оптимальний час його реалізації з урахуванням конкурентного середовища представимо у таблиці 6.13.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Проведення маркетингового аналізу ринку лазерного зварювання (сегменти, конкуренти, попит)	Середня	1-2 місяці
2	Пошук інвесторів та презентація інвестиційної пропозиції (демонстрація WeldingBot-100)	Висока	3-5 місяці
3	Організація виробничого середовища для запуску проєкту (закупівля комплектуючих, підготовка приміщення)	Середня	2-3 місяці
4	Проведення рекламної кампанії (онлайн-просування, демонстраційні відео, участь у виставках)	Середня	1-2 місяці
5	Початок комерційної реалізації продукції та послуг лазерного зварювання	Висока	3 місяці
6	Збір відгуків клієнтів та проведення аналізу задоволеності	Низька	1 місяць
7	Опрацювання отриманих даних та корекція бізнес-моделі	Висока	1 тиждень
8	Адаптація проєкту та розширення функціоналу (впровадження додаткових насадок, режимів, сервісів)	Висока	1-2 місяці

6.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії спрямоване на визначення оптимальної моделі виходу стартап-проекту на ринок з урахуванням структури попиту, конкурентного середовища, сильних сторін лазерно-зварювального комплексу WeldingBot-100, а також бар'єрів входу та ринкових можливостей. Основою стратегії є попередній ринковий аналіз, результати якого показали наявність зростаючого попиту на високоточне лазерне зварювання, збільшення кількості малих виробничих підприємств, а також активну автоматизацію виробництва в Україні. Вибір цільових груп потенційних споживачів наведено в таблиці 6.14:

Таблиця 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ n/n	Опис профілю цільової групи	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит у сегменті	Інтенсивність конкуренції	Простота входу у сегмент
1	Малі та середні металообробні цехи (виробництво рам, каркасів, дрібних конструкцій))	Висока – потребують підвищення точності та продуктивності	Стабільно високий	Середня	Висока
2	Виробники меблевих металевих каркасів	Висока – критична точність та чистота шва	Високий, сезонно змінний	Висока	Середня
3	СТО та ремонтні підприємства (зварювання деталей авто та обладнання)	Середня – залежить від фінансування	Середній	Низька	Висока
4	Виробники рекламних конструкцій	Висока – потрібні акуратні шви та геометрія	Середній	Низька	Висока

Обрані цільові групи:

- 1) Малі та середні металообробні цехи
- 2) Виробники меблевих каркасів
- 3) Рекламні та ремонтні підприємства

Стратегія охоплення ринку: диференційований маркетинг (різні програми під 3 сегменти). В таблиці 6.15 наведено визначення базової стратегії розвитку.

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції проекту	Базова стратегія розвитку
1	Вихід на ринок сегментів МСБ з laser-as-a-service і продажем обладнання	Диференційований маркетинг	Висока точність, низька собівартість зварювання, мобільність, енергоефективність	Стратегія фокусування + інноваційне лідерство

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки наведено в таблиці 6.16:

Таблиця 6.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект “першопрохідцем”?	Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні. Ринок вже частково сформований: існують іноземні виробники лазерних установок (Raylogic, Han's Laser, SmartWeld).	Компанія фокусується на специфічних нішевих сегментах (виробники меблевих каркасів, рекламних конструкцій.	Ні. Компанія робить ставку на власні переваги: висока точність, енергоефективність, цифровізація.	Стратегія зайняття конкурентної ніші (нішера)

Визначення стратегії позиціонування наведено в таблиці 6.17:

Таблиця 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо- жні позиції WeldingBot-100	Асоціації бренду (позиція проекту)
1	Висока точність, чистий шов, мобільність, низька собівартість	Інноваційне лідерство	Точність $\pm 0,2$ мм, низьке тепловкладення, компактність, енергоефективніст ь	“Точність”, “Інноваційність ”, “Готовність до автоматизації”

6.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Маркетингова програма спрямована на формування цінності продукту WeldingBot-100 для потенційних споживачів, визначення його ринкових переваг, системи збуту та комунікацій. Вона базується на результатах проведеного аналізу конкурентоспроможності, SWOT-аналізу та оцінки вимог цільових груп клієнтів.

Першим етапом є визначення ключових переваг концепції товару наведені в таблиці 6.18, які формують сприйняття продукту на ринку та визначають його унікальність порівняно з конкурентами.

Таблиця 6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Потреба у високоточному та чистому зварюванні	Отримання стабільних та естетичних швів без бризок	Висока точність променя, мінімальна деформація металу, повторюваність результатів

Продовження таблиці 6.18

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
2	Потреба у зниженні виробничих витрат	Зменшення витрат електроенергії та витратних матеріалів	Висока енергоефективність, менше споживання газу, нижча собівартість порівняно з MIG/MAG
3	Потреба у прискоренні виробництва	Вища продуктивність процесу зварювання	Швидкість зварювання у 3–5 разів більша, можливість роботи в автоматизованих лініях
4	Потреба у роботі з тонкими деталями	Можливість зварювання делікатних та малих конструкцій	Дуже мала зона термічного впливу, відсутність прожогів та перегріву
5	Потреба в універсальному обладнанні	Використання в різних галузях і типах виробництв	Компактність, сумісність із роботами та CNC, широкий спектр застосуван
6	Потреба у зменшенні браку	Стабільна якість швів при серійному виробництві	Інтелектуальна система контролю параметрів, автоматичні захисти
7	Потреба у відповідності стандартам	Можливість сертифікації та роботи у вимогливих галузях	Відповідність ISO, ДСТУ, безпечний лазерний модуль та контроль якості

Формування трирівневої маркетингової моделі товару.

Для комплексного представлення функціональних можливостей та ринкової цінності лазерно-зварювального апарата WeldingBot-100 доцільно застосувати методологію трирівневої моделі товару. Така модель дозволяє розглядати продукт не лише як технічний виріб, а як структурований комплекс матеріальних, експлуатаційних та сервісних характеристик, що формують кінцеву споживчу вигоду.

На першому рівні — «товар за задумом» — визначається фундаментальна потреба споживача, яку має задовольняти продукт. Для

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадку WeldingBot-100 це потреба у високоточному, енергоефективному та стабільному виконанні зварювальних операцій із підвищеними вимогами до геометричної точності та повторюваності. Додатково визначаються ключові властивості, що формують основну корисність виробу: технічні, ергономічні, технологічні, надійнісні та експлуатаційні характеристики.

Другий рівень – «товар у реальному виконанні» — описує фактичну технічну реалізацію продукту: конструктивну схему, функціональні вузли, елементну базу, типи застосованих технологій, програмно-апаратний комплекс, технічні параметри та стандарти якості, під якими працює обладнання.

Третій рівень – «товар із підкріпленням» — охоплює додаткові характеристики та послуги, які супроводжують користування обладнанням: технічний супровід, гарантійне та післягарантійне обслуговування, консалтинг щодо вибору режимів зварювання, навчання операторів, калібрування системи, а також програмно-сервісні рішення.

Таким чином, трирівнева модель товару дозволяє системно охарактеризувати WeldingBot-100 з точки зору його технічної сутності, практичного застосування та ринкової привабливості, синтезуючи всі аспекти, що визначають його споживчу цінність. Узагальнені результати наведено у таблиці 6.19.

Таблиця 6.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Базова потреба: високоточне, швидке та енергоефективне зварювання металевих конструкцій. Забезпечення мінімальної деформації, високої естетики шва та універсальності застосування. Основна функціональна вигода: отримання зварних з'єднань промислової якості з мінімальною підготовкою та стабільною повторюваністю результату. Властивості / характеристики: М/Нм (матеріальні / нематеріальні): матеріальні – лазерний генератор, система охолодження, ЧПК-керування; нематеріальні – програмне забезпечення, алгоритми стабілізації променю, технічна підтримка.

Продовження таблиці 6.19

Рівні товару	Сутність та складові
II. Товар у реальному виконанні	Марка: <i>WeldingBot-100</i> (виробник: відповідно до проєкту). Фактичні фізичні характеристики: лазерний блок, джерело живлення, оптоволоконний кабель, охолоджувач, руків'я, сопла, панель управління та комплект витратних матеріалів.
III. Товар із підкріпленням	До продажу: технічні консультації, налаштування параметрів, допомога у виборі режимів, демонстрація випробувань. Після продажу: гарантія, сервісне обслуговування, дистанційна діагностика, оновлення ПЗ, можливість модернізації, навчання операторів. Захист від копіювання: власне ПЗ та алгоритми стабілізації променя, унікальна система охолодження, внутрішні калібрувальні параметри, конфігурація ЧПК, фірмові технологічні карти.

Після формування трирівневої маркетингової моделі товару важливо визначити механізми, що забезпечуватимуть захист проєкту від копіювання та підвищуватимуть його довгострокову конкурентоспроможність. Для обладнання типу *WeldingBot-100* питання захисту є критичним, оскільки ринок лазерних зварювальних систем характеризується високою технологічною конкуренцією та активним копіюванням функціональних рішень.

Захист може бути реалізований за декількома напрямками.

По-перше, захист інтелектуальної власності стосується унікальних алгоритмів керування зварювальним процесом, зокрема регуляції потужності лазера, стабілізації дуги, контролю глибини проплавлення та датчиків корекції траєкторії. Такі алгоритми можуть бути зареєстровані як програмні рішення або патентні розробки, що унеможливило б їх легальне копіювання конкурентами.

По-друге, доцільно впровадити елементи ноу-хау, що не підлягають відкритому патентуванню, але забезпечують технологічну перевагу. У випадку *WeldingBot-100* такими елементами є:

– оптимізовані параметри колімації лазерного променя;

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- власні режимні карти для різних типів металів;
- конструктивні рішення охолодження лазерного модуля;
- внутрішні алгоритми захисту від перегріву та перенавантаження.

Третім блоком є комплексна захищеність на рівні другого та третього рівнів товару, що поєднує фізичні та сервісні характеристики:

- фірмовий дизайн корпусу та ергономіка;
- маркування, унікальні серійні номери, QR-паспорти виробу;
- наявність офіційного сервісного супроводу і програмного оновлення;
- використання компонентів, які складно повторити у кустарних умовах.

Комплекс таких заходів забезпечує стійкий бар'єр для потенційних копій, зменшує ризики появи контрафакту, а також підсилює ринкову позицію продукту завдяки створенню унікальної ціннісної пропозиції, яку неможливо повністю відтворити конкурентами без доступу до внутрішніх технологічних напрацювань.

6.5 Визначення меж встановлення ціни

На цьому етапі здійснюється визначення допустимих меж ціноутворення для стартап-проекту, що базується на впровадженні лазерно-Зварювального апарата WeldingBot-100.

Аналіз проводиться шляхом порівняння трьох ключових показників:

- рівень цін на товари-замінники — традиційні зварювальні апарати (MIG/MAG, TIG), які забезпечують нижчу точність і економічність;
- рівень цін на товари-аналоги — інші моделі лазерних зварювальних систем;
- рівень доходів цільової групи — малий та середній бізнес у сфері металообробки.

Визначення меж встановлення ціни на послуги лазерного зварювання за допомогою комплексу WeldingBot-100 наведені в таблиці 6.20:

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.20 – Визначення меж встановлення ціни на послуги лазерного зварювання за допомогою комплексу WeldingBot-100

№	Послуги-замінники (традиційні технології)	Послуги-аналоги (лазерне зварювання на ринку)	Цільові споживачі та їх рівень доходів	Межі встановлення ціни на послуги стартапу
1	200–600 грн/м шва MIG/MAG, TIG• Використовується у меблевому виробництві, ремонті металоконструкцій, агросфері	800–2500 грн/м шва Лазерне зварювання у приватних майстернях та сервісних центрах• Висока точність, але без автоматизації	70 000–300 000 грн/міс МСБ у сфері металоконструкцій• Меблеві фабрики, аграрні підприємства, виробники рекламних конструкцій	Нижня межа — 900 грн/м шва (собівартість + мінімальна маржа)Верхня межа — 1 700 грн/м шва (рівень ринку + переваги точності)Рекомендована ціна — 1 300 грн/м шва

6.6 Формування системи збуту

Система збуту повинна забезпечувати можливість придбання обладнання клієнтами як напряму, так і через дилерську мережу. Особливістю ринку високоточного обладнання є потреба клієнта у:

- технічній консультації;
- навчанні оператора;
- післяпродажному сервісі;
- швидкій поставці та доступності запчастин.

На підставі цього формується оптимальна структура каналу збуту таблиця 6.21.

Таблиця 6.21 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Потреба у сервісі, навчанні та гарантійному обслуговуванні	Консультації, демонстрація, навчання оператора, гарантійний сервіс	Однорівневий канал	Прямий збут (сайт, менеджери)
2	Частина МСБ хоче купувати через локальних дилерів	Підтримка дилерів, сервісні центри, логістика	Дворівневий канал	Дилерська мережа + сервісні центри

6.7 Концепція маркетингових комунікацій

Маркетингові комунікації стартап-проєкту спрямовані на формування у споживачів чіткої та технічно обґрунтованої уяви про можливості лазерно-зварювального апарату WeldingBot-100, його переваги та конкурентну цінність. Основне завдання комунікацій — забезпечити зрозуміле позиціонування продукта, підвищити рівень довіри до технології та стимулювати прийняття рішення про покупку.

Комунікації повинні:

- підтримувати позиціонування обладнання як високоточного, інноваційного та енергоефективного зварювального рішення;
- пояснювати технологічні переваги WeldingBot-100 над традиційними способами (MIG/MAG, TIG): якість шва, точність, менша деформація металу, швидкість процесу;
- формувати довіру за рахунок демонстрацій якісних швів, прикладів застосування, тестових зразків і відгуків клієнтів;

– надати доступну інформацію для різних груп споживачів — від інженерів до власників невеликих майстерень;

– використовувати ефективні канали комунікацій, орієнтовані на фактичне середовище перебування потенційних клієнтів: соцмережі, YouTube, галузеві виставки, професійні форуми та технічні спільноти.

Таке поєднання дозволяє забезпечити впізнаваність, сформувати довіру до технології лазерного зварювання та забезпечити стабільний інтерес з боку цільової аудиторії наведено в таблиці 6.22.

Таблиця 6.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій	Ключові позиції позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Хочуть бачити реальні приклади роботи обладнанн)	YouTube, TikTok, Instagram, сайт	Висока точність, низькі витрати, швидкість	Пояснити користь лазерного зварювання)	«Ідеальний шов без шліфування. WeldingBot-100 — точність у кожній деталі.»
2	Бізнес-клієнти потребують гарантій, сервісу та інженерної підтримки	B2B-зустрічі, виставки, технічні презентації	Надійність, сервіс, технологічна перевага	Підкреслити професійність та стабільність обладнання	«Професійне рішення для серійного виробництва та МСБ.»

Висновки до розділу: У результаті проведеного маркетингового аналізу стартап-проєкту лазерно-зварювального комплексу WeldingBot-100 встановлено наступне.

Проведений аналіз попиту показав, що на ринку наявна чітко сформована потреба у високоточному та енергоефективному зварювальному обладнанні. Динаміка ринку демонструє стабільне зростання, а середня рентабельність галузі перевищує банківську ставку за вкладеннями, що

підтверджує економічну доцільність комерціалізації проєкту. Формування попиту підтримується тенденціями до автоматизації, цифровізації виробництва, переходу на малодеформаційні технології та зростанням обсягу індивідуальних і серійних замовлень у сфері металообробки.

Аналіз потенційних груп клієнтів засвідчив, що обладнання є перспективним для широкого спектра сегментів — від малих приватних майстерень до промислових підприємств, що здійснюють серійне виготовлення металоконструкцій. Бар'єри входження на ринок є помірними, а конкурентна боротьба — контрольованою, що дає можливість для ефективного позиціонування проєкту. Оцінка конкурентного середовища та аналіз за моделлю М. Портера підтвердили наявність конкурентоспроможних характеристик WeldingBot-100, зокрема: високу точність, низьку собівартість процесу, широкий спектр застосування, можливість інтеграції у CNC-системи та роботизовані комплекси.

Порівняння сильних і слабких сторін проєкту дозволило визначити оптимальну альтернативу ринкового впровадження. З урахуванням ймовірності отримання ресурсів та строків реалізації найбільш доцільною є стратегія швидкого виходу на ринок через демонстраційні зразки, партнерські програми та активні маркетингові комунікації, що забезпечує найкраще співвідношення термінів і доступності ресурсів.

За результатами аналізу визначено, що подальша імплементація стартап-проєкту є доцільною. Проєкт має стабільну техніко-економічну базу, високий ринковий потенціал, можливість масштабування та достатній запас конкурентних переваг для успішного виходу на ринок і довгострокової роботи в умовах сформованого конкурентного середовища.

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Технологія складання та зварювання лазерного зварювального апарату WeldingBot-100 належить до робіт з підвищеним рівнем техногенного ризику. Процес виробництва включає операції механічного складання металевої рами з профільних труб, монтажу вузлів лазерної оптики, електронних модулів керування, системи охолодження, газопостачання та проведення лазерного зварювання. Зазначені операції виконуються із застосуванням високотемпературного лазерного випромінювання, електричного обладнання підвищеної потужності, балонів зі стисненими технічними газами (аргон, кисень, CO₂) та компонентів, що містять охолоджуючі рідини. Усі ці фактори формують комплекс небезпечних і шкідливих виробничих впливів, що можуть спричинити травмування персоналу, пошкодження обладнання або виникнення пожежо- та вибухонебезпечних ситуацій.

Метою даного розділу є обґрунтування комплексу заходів з охорони праці та техногенної безпеки під час складання та зварювання лазерного апарату WeldingBot-100, а також визначення вимог до організації безпечної роботи персоналу у разі виникнення аварійних та надзвичайних ситуацій на виробничій дільниці. Для реалізації зазначеної мети у розділі:

- проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для процесів складання металевої конструкції, монтажу оптичних елементів та лазерного випромінювання;

- визначено технічні, технологічні та організаційні заходи щодо запобігання впливу небезпечних факторів або зниження їх рівнів до показників, що відповідають нормативним вимогам ДСТУ, ДБН, НПАОП та Правилам охорони праці при зварювальних роботах;

- обґрунтовано вимоги до системи вентиляції та локального відсмоктування продуктів лазерного випаровування металу, які утворюються під час роботи зварювальної головки.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори

Узагальнений перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для механізованого зварювання в захисних газах, наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при зварюванні і споріднених процесах [12].

ШНВФ для механізованого 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		xx
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

де xx – інтенсивний фактор; x – помірний фактор; (-) – незначний фактор чи його відсутність

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час складання та лазерного зварювання апарату WeldingBot-100 зумовлені специфікою технологічного процесу та характером застосовуваного обладнання. До фізичних факторів належать ризики травмування робітників унаслідок взаємодії з рухомими та обертовими частинами механізмів, що використовуються для фіксації і переміщення металевої рами, встановлення оптичних модулів і монтажу зварювальної головки. Під час монтажних операцій існує небезпека падіння або зміщення складальних елементів, що може спричинити удари, защемлення та інші травми. Додатковим чинником є підвищена температура металу та прилеглих поверхонь у зоні лазерного впливу, яка здатна викликати опіки у разі випадкового торкання деталей, що не встигли охолонути після зварювання.

Особливу небезпеку становить оптичне випромінювання лазера у видимому, ультрафіолетовому та інфрачервоному діапазонах. Навіть відбитий промінь здатний спричиняти фотохімічні ураження сітківки, опіки очей і шкіри, а тривалий контакт з інтенсивним інфрачервоним випромінюванням може призвести до катаракти або локальних термічних пошкоджень. У процесі експлуатації установок, що забезпечують роботу лазерного джерела, систем охолодження та вентиляційного обладнання, створюється підвищений рівень шуму, який негативно впливає на нервову систему, призводить до стомлюваності та зниження концентрації уваги працівників. Небезпека також пов'язана з локальною вібрацією ручного монтажного та слюсарного інструменту, що за тривалого впливу здатна провокувати порушення периферичної нервової системи та опорно-рухового апарату. Окремим і критичним фактором є можливість ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції кабелів високовольтних модулів лазера, неправильного заземлення або недотримання правил підключення та технічного обслуговування силового обладнання.

Хімічні фактори на дільниці складання та лазерного зварювання апарату WeldingBot-100 пов'язані з продуктами термічної дії лазерного променя на

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метал. Під час зварювання відбувається інтенсивне випаровування металу з утворенням дрібнодисперсного зварювального аерозолі, який містить оксиди заліза, марганцю, кремнію та інших легувальних елементів, що входять до складу конструкційної сталі. У зоні впливу лазерного випромінювання, внаслідок розщеплення кисню та азоту повітря, формуються озон і оксиди азоту. Ці речовини мають виражену токсичну та подразнювальну дію, здатні проникати в глибокі відділи дихальної системи, спричиняючи бронхоспазм, запальні процеси та хронічні респіраторні захворювання. У разі недостатньої подачі захисного газу можливе утворення монооксиду вуглецю, який зв'язується з гемоглобіном і порушує процес транспорту кисню у крові, що може призвести до гострого отруєння.

Додаткове хімічне навантаження пов'язане із застосуванням допоміжних матеріалів. Під час підготовки поверхонь до складання використовуються знежирювальні засоби на основі органічних розчинників, пара та аерозоль яких справляють подразнювальний і сенсibiliзуючий вплив. Монтажні мастила, лакофарбові матеріали, антикорозійні покриття та охолоджувальні рідини, що застосовуються в системі охолодження лазера, також утворюють пари і газоподібні суміші, які за умов недостатньої вентиляції накопичуються в робочій зоні та чинять токсичний вплив на органи дихання, шкіру та слизові оболонки оператора.

До психофізичних чинників належать підвищені вимоги до точності зорово-рухової координації під час суміщення оптичних елементів, налаштування фокусної відстані лазерного променя та контролю параметрів зварного шва. Монтажні операції виконуються у вимушених робочих позах і супроводжуються значним статичним навантаженням, що призводить до швидкого фізичного стомлення. Психоемоційне напруження зумовлене високою відповідальністю за якість виконуваних робіт, адже помилки в технологічному процесі можуть спричинити відмову системи, пошкодження оптичних вузлів або втрату працездатності всього апарату. У комплексі ці фактори формують підвищений ризик професійних захворювань і помилок

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оператора, що потребує впровадження системних заходів безпеки на всіх етапах складання та зварювання.

7.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Планування виробничої ділянки, на якій здійснюється складання та зварювання корпусних елементів апарату WeldingBot-100, передбачає функціональний поділ простору на зони підготовки деталей, механічного складання, дугового зварювання за процесом MIG 131 та тимчасового зберігання готових вузлів. Маршрути транспортного переміщення заготовок прокладено таким чином, щоб уникнути перетину з евакуаційними шляхами, а ширина проходів забезпечує безпечне пересування персоналу та вантажопідіймальних засобів. Евакуаційні виходи розташовані з протилежних сторін приміщення, і двері на шляхах евакуації відкриваються у напрямку руху людей відповідно до вимог НАПБ А.01.001–2014 [13] та ДБН В.1.1–7:2016 [14].

Зона зварювання відділяється від інших виробничих ділянок негорючими огорожувальними елементами, які локалізують тепловий вплив та іскріння, характерні для дугового зварювання. Мікроклімат підтримується за параметрами ДСН 3.3.6.042–99 [4], що забезпечує стабільні умови роботи зварювального обладнання та сприяє зниженню концентрації шкідливих аерозолів.

Система вентиляції поєднує загальнообмінну припливно-витяжну систему з локальними відсмоктувачами, встановленими безпосередньо над точкою горіння дуги у процесі MIG-зварювання. Зонтоподібні витяжні блоки забезпечують видалення зварювального аерозолу, озону, оксидів азоту та парів металів до допустимих концентрацій згідно з ДСН 3.3.6.042–99 та вимогами НПАОП 28.52–1.31–13 [15]. Своєчасне видалення газів є критичним, оскільки при зварюванні сталей у суміші Ar 75% + CO₂ 25% утворюються

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оксиди азоту, озон, вуглекислий газ, пари марганцю та інші токсичні компоненти, які чинять подразнювальну та нейротоксичну дію.

Освітлення організовано як комбіноване: природне світло доповнюється промисловими LED-світильниками з рівнем освітленості, нормованим за ДБН В.2.5–28:2018 [16]. Розташування світильників виключає появу відблисків у зоні шва, що особливо важливо при контролі геометрії зварювального валу.

Рівень акустичного впливу, створюваний вентиляційними установками та механізованими зварювальними джерелами, контролюється згідно з ДСН 3.3.6.037–99 [17]. Для найбільш шумних агрегатів передбачені шумозахисні кожухи та рознесення обладнання у просторі.

Електротехнічна частина дільниці виконується відповідно до НПАОП 40.1–1.21–98 [18]. Джерела MIG-зварювання підключаються до виділених ліній живлення, обладнаних автоматами захисного вимкнення. Металеві корпуси установок, стенди, маніпулятори та елементи оснастки підключені до системи захисного заземлення, а регламент технічного обслуговування включає перевірку ізоляції кабелів, вимірювання опору заземлюючих провідників і функціонування пристроїв аварійного вимкнення.

Технологія складання корпусних елементів WeldingBot-100 базується на механізованому процесі дугового зварювання MIG 131, який забезпечує стабільне горіння дуги, низький рівень розбризкування металу, відносно малу зону термічного впливу та повторюваність режимів. Використання стаціонарних складальних стендів запобігає зміщенню конструкційних елементів під дією маси та термічних деформацій. Транспортування габаритних деталей здійснюється мостовими кранами та тельферами, що відповідає вимогам НПАОП 0.00–1.80–18 [19].

Щоб забезпечити захист очей та обличчя електрозварника від випромінювання дуги, бризків розплавленого металу та іскор, пропонується використовувати зварювальну маску хамелеон Mächtz MWH-2/254 (див. рис. 7.1), яка відповідає вимогам стандартів: ДСТУ EN 175-2001 [20] та ДСТУ EN 169-2001 [21].

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 7.1 – Зварювальна маска Mächtz MWH-2/254 [22]

Технічні характеристики зварювальної маски Mächtz MWH-2/254 наведені у таблиці 7.2:

Таблиця 7.2 – Технічні характеристики зварювальної маски Mächtz MWH-2/254 [22]

Джерело живлення світлофільтра	Сонячна панель + дві Li-ion батареї
Тип батареї	CR 2032
Кількість сенсорів	2
Розмір світлофільтра, мм	110×90×10
Розмір оглядового вікна, мм	93×43
Затемнення в світлому стані	DIN 4
Затемнення в темному стані	DIN 9-13
Час затемнення, с	1/25000
Час освітлення, с	0,1-1
Оптичний клас світлофільтра	1/1/1/2
Маса нетто/брутто, кг	0,5/0,7

Для забезпечення захисту рук призначено використовувати рукавиці Heavy Duty Regular L на рисунку 7.2, які відповідають вимогам стандарту ДСТУ EN 420-2017 [23]. Ці міцні та гнучкі зварювальні рукавиці виготовлені з коров'ячої шкіри товщиною 1,3 мм, котра забезпечує стійкість до зношування

та високих температур. Вони мають посилену конструкцію великого пальця та пошиті кевларовою ниткою. Внутрішня частина манжети виготовлена з вогнетривкої бавовни, а долоні – з флісу.



Рисунок 7.2 – Рукавиці Heavy Duty Regular L [24]

Для забезпечення безпеки голови під час зварювання великогабаритних виробів в умовах підвищеної небезпеки рекомендується використання захисна каска (див. рис. 7.3), які відповідають вимогам стандарту ДСТУ EN 397:2001 [25].



Рисунок 7.3 – Каска для захисту голови VOREL [26]

7.3 Розрахунок місцевої вентиляції

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією L_m , визначають, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0,$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, m^2 ;
 V_0 – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі, m/s .

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою. Для нашого випадку $F_0 = 0,01 m^2$.

Значення V_0 знаходять, виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x в зоні зварювання або різання на відстані x (м) від центра всмоктуючого отвору ($V_x = 0,3 m/s$, оскільки відбувається зварювання в інертних газах).

Швидкість всмоктування повітря з екраном розраховується за формулою:

$$V_0 = 8 \cdot V_x \cdot \left(\frac{x}{d} \right)^2,$$

де $d = 0,1 m$ – діаметр входного отвору.

Розрахуємо швидкість повітря в отворі відсмоктувача:

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_0 = 8 \cdot V_x \cdot \left(\frac{x}{d} \right)^2 = 8 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{3}{0,1} \right)^2 = 36 \text{ м/с.}$$

Отже, об'єм повітря, який необхідно видаляти вентиляцією:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 = 3600 \cdot 0,01 \cdot 36 = 1296 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

На рисунку 7.4 наведено схему місцевої витяжної вентиляції типу зонт

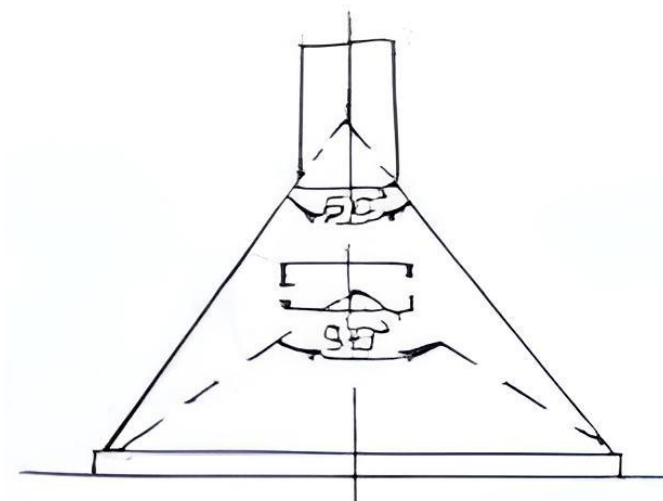


Рисунок 7.4 – Конструкція місцевої витяжної вентиляції типу зонт

7.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Виробниче приміщення дільниці складання та зварювання корпусних елементів апарату WeldingBot-100, згідно з вимогами ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [27], належить до категорії Г за вибухопожежною небезпекою. До цієї категорії відносять об'єкти, де обробляються та зберігаються переважно негорючі матеріали — металеві заготовки, рами, складальні оснастки, які під час дугового зварювання перебувають у нагрітому стані та супроводжуються виділенням теплової енергії, іскор та продуктів згоряння. Допоміжні горючі матеріали застосовуються у кількостях, визначених нормативами, і не

впливають на категорію приміщення, але їх наявність враховується при проєктуванні систем пожежної безпеки.

Відповідно до ДНАОП 0.00-1.21-98 [28] та ДНАОП 0.00-1.32-01 [29], у межах приміщення формується вибухонебезпечна зона II–Па, характерна для місць, де в процесі зварювання утворюються металевий пил та тверді залишки шлаку. За величиною безпечного експериментального зазору між фланцями оболонки приміщення належить до категорії ПА, а за показником температури самозаймання сумішей — до групи Т1 (ТС), у якій температура самозаймання перевищує 450 °С. Будівля дільниці прийнята I ступеня вогнестійкості, що означає здатність несучих конструкцій зберігати міцність не менше ніж 2,5 години, а поширення вогню по внутрішніх перегородках обмежується нормативною довжиною.

Технологічний регламент складання корпусу та дугового зварювання MIG 131 передбачає реалізацію комплексу заходів, спрямованих на недопущення виникнення джерел займання та накопичення горючих сумішей. Металеві конструкції будівлі, корпуси джерел зварювального струму, стенди, каретки й оснастка об'єднані в єдину систему захисного заземлення. Для вирівнювання потенціалів застосовуються шини та перемички, що запобігають електростатичним розрядам.

Підтримання належного протипожежного стану забезпечується систематичним прибиранням дільниці. Регламентом встановлено періодичне очищення зварювальних постів, вентиляційних повітроводів і робочих поверхонь від бризок металу, окалини, пилу та інших горючих відходів із подальшим видаленням у спеціалізовані контейнери. У підготовчих операціях упроваджується заміна легкозаймистих розчинників на технічні мийні засоби з вищою температурою спалаху. Використані серветки й обтиральні матеріали зберігаються у металевих ємностях із кришками й регулярно утилізуються.

Система первинного протипожежного захисту дільниці підбирається відповідно до можливих класів пожеж. На робочих місцях передбачено використання:

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– для горючих рідин та матеріалів (клас В) — повітряно-пінних і порошкових переносних вогнегасників типу ОВП-10 та ОП-10;

– для електроустановок під напругою (клас Е) — порошкових ОП-5, ОП-10 та вуглекислотних ОУ-5, ОУ-8, які не проводять електричний струм і дозволені для гасіння зварювального обладнання.

У зоні виконання зварювальних операцій встановлюються протипожежні щити, укомплектовані необхідним інвентарем: пожежними ломами, відрами, штиковими лопатами, азбестовими покривалами та запасом сухого піску. Наявність інструменту та придатність вогнегасників підлягають періодичному контролю.

Система пожежної сигналізації передбачає автоматичне виявлення пожежонебезпечних ситуацій за допомогою теплових та димових сповіщувачів. У разі появи полум'я, запаху горіння, задимлення або спрацювання сигналізації працівник негайно припиняє зварювання, відключає джерело зварювального струму та електрообладнання штатними засобами, перекриває подачу газу й вимикає вентиляцію, яка може сприяти поширенню вогню. Після цього він повідомляє керівника зміни та телефонує за номером 101, повідомляючи адресу, номер дільниці, місце загоряння та наявні балони й матеріали, що можуть становити небезпеку.

Гасіння невеликих осередків займання допускається лише за умови відсутності загрози для життя та можливості їх локалізації первинними засобами пожежогасіння. Усі інші працівники зобов'язані залишити приміщення згідно зі схемами евакуації, зачиняючи двері для обмеження поширення диму. Керівник дільниці відповідає за повноту евакуації та передає підрозділам ДСНС інформацію про обстановку.

У разі подачі сигналу «Повітряна тривога» оператор WeldingBot-100 зупиняє подачу зварювального струму, перекриває вентилі балонів, відсуває горючі матеріали від постів і переводить обладнання у безпечний стан. Після цього персонал організовано прямує до укриття відповідно до встановленого маршруту без використання ліфтів. Повернення до робочої зони дозволяється

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лише після оголошення сигналу «Відбій повітряної тривоги» й перевірки обладнання на відсутність пошкоджень.

Допуск працівників до роботи здійснюється лише після проходження вступного та первинного інструктажів, під час яких їх ознайомлюють із вимогами безпечного виконання робіт, правилами взаємодії з джерелами дугового зварювання, порядком дій у надзвичайних ситуаціях і правилами використання індивідуальних засобів захисту. Повторний інструктаж проводиться з установленою періодичністю, а також під час зміни технологічних умов, модернізації обладнання або після інцидентів, що впливають на стан безпеки. Працівники, які не пройшли навчання або не підтвердили знання вимог безпеки, до виконання робіт не допускаються.

Висновки по розділу: у ході виконання даного розділу встановлено, що процес складання та дугового зварювання корпусних елементів апарату WeldingBot-100 належить до виробничих операцій підвищеної небезпеки, оскільки здійснюється в умовах дії комплексу фізичних, хімічних, електротехнічних та психофізіологічних факторів. Проведений аналіз дозволив ідентифікувати небезпечні впливи, характерні для механізованого процесу зварювання MIG 131 у суміші $\text{Ar } 75\% + \text{CO}_2 25\%$, а також ризики, що виникають під час монтажу конструкційних елементів, роботи зі зварювальною оснасткою та експлуатації вантажопідіймального обладнання.

Враховуючи вимоги чинних нормативних актів України у сфері охорони праці, пожежної та техногенної безпеки, сформовано комплекс інженерних, технологічних і організаційних заходів. Обґрунтовано доцільність вибору категорії приміщення за вибухопожежною небезпекою, визначено характер вентиляційних потоків і параметри комбінованого освітлення, а також розроблено заходи з електробезпеки та захисту від ураження електричним струмом.

Проведено розрахунок продуктивності місцевої витяжної вентиляції з урахуванням специфіки процесу MIG-зварювання та геометрії відсмоктувальних пристроїв. Вибір засобів індивідуального захисту оператора

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснено із застосуванням сучасних рішень, що відповідають європейським і національним стандартам та гарантують захист від газо-аерозольних викидів і теплового впливу дугового розряду.

Окрему увагу приділено заходам реагування на надзвичайні ситуації. Визначено категорію виробничого приміщення, виділено вибухонебезпечні зони та обґрунтовано добір первинних засобів пожежогасіння. Сформовано алгоритм дій персоналу у разі виникнення пожежі, спрацювання пожежної сигналізації або подачі сигналу «Повітряна тривога», а також порядок проведення навчання, перевірки знань і періодичних інструктажів з охорони праці, пожежної безпеки та цивільного захисту.

Таким чином, запропоновані заходи забезпечують створення безпечних умов праці на ділянці складання та зварювання апарату WeldingBot-100, мінімізують виробничі ризики та гарантують відповідність технологічного процесу вимогам чинного законодавства України у сфері охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation [Електроний ресурс] // Microwave Amplification. – Режим доступу: <https://www.britannica.com/technology/maser> (дата звернення: 09.10.2025). – Назва з екрану.

2. Перші лазери та їх розвиток [Електроний ресурс] // Лазери і розвиток. – Режим доступу: <https://ua.fiber-optical-transceivers.com/info/do-you-know-anything-about-laser-49859741.html> (дата звернення: 09.10.2025). – Назва з екрану.

3. Лазерне устаткування [Електроний ресурс] // Лазерне устаткування. – Режим доступу: <https://zvarka.info/shho-takeustatkuvannya-dlya-lazernogo-zvaryuvannya-i-yak-jogo-vikoristati/> (дата звернення: 09.10.2025) – Назва з екрану.

4. WeldingBot100 [Електроний ресурс] // WeldingBot100. – Режим доступу: <https://bot-ua.com/shop/dlya-metalu/weldingbot-100/> (дата звернення: 09.10.2025) – Назва з екрану.

5. S235. [Електроний ресурс] // S235. – Режим доступу: https://metinvest-smc.com/ru/steel/stal-s235-jr/?srsId=AfmBOorWGOlGISOx_Tcc0nm4ut_Isjoo5PKU6vkiZcu_KrMs6tDmFdCk (дата звернення: 09.10.2025) – Назва з екрану.

6. Al6063-T5 [Електроний ресурс] // Al6063-T5. – Режим доступу: https://efcon.com.ua/?gad_source=1 (дата звернення: 09.10.2025) – Назва з екрану.

7. PATON ProMIG [Електроний ресурс] // PATON ProMIG. – Режим доступу: https://romb.ua/ua/svarochnyj-poluavtomat-paton-promig-270-15-4400v-8-6-kva-350-a-3f1024027022.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=23278740236&utm_term=&utm_content=784638518835&gad_source=1&gad_campaignid=23278740236&gbraid=0AAAAADCHaUOJG8JwaqjOgPHBMTsGfZeF&gclid=CjwKCAiA86_JBhAIEiwA4i9Ju0167Vxtl0e0_oHOJjMPAM

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

[tXw85V81SVkhQ8NUmppw_r8c6iUEkFnRoCBewQAvD_BwE](#) (дата звернення: 09.10.2025) – Назва з екрану.

8. Режими зварювання (MIG/MAG) [Електронний ресурс] // MIG/MAG.
– Режим доступу: https://binpo.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F-%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%D0%9CIG_%D0%9C%D0%90G_GMAW.pdf
(дата звернення: 20.10.2025) – Назва з екрану.

9. Компресор ротаційний Panasonic 2V34S225AUA [Електронний ресурс] // Panasonic. – Режим доступу: <https://sholod.com.ua/ua/zapchasti-dlja-kondicionerov/kompressori-bytovogo-kondicionera/panasonic2v34s225aua-bytovogo-225u>
(дата звернення: 20.10.2025) – Назва з екрану.

10. Конденсатор Hispania HCAS-163 [Електронний ресурс] // Hispania.
– Режим доступу: https://frostland.com.ua/product/21264/?srsId=AfmBOoq_MMft0EhpZMg5mN5vXpzAaY_6Bix-zG1rdrSGYg9p5-QW8FsIq (дата звернення: 20.10.2025) – Назва з екрану.

11. Лазерний генератор Maxphotonics [Електронний ресурс] // Maphoton.
– Режим доступу: https://prom.ua/ua/p2334586410-lazernyj-generator-istochnik.html?utm_source=google_pmax&utm_medium=cpc&utm_content=pmax&utm_campaign=Pmax_cpa_elektrooborudovanie_5309924870&gad_source=1&gad_campaignid=22824441564&gbraid=0AAAAADBxJSVrVKQkgqo8_YTsZ_F9R6BaP&gclid=CjwKCAiA86_JBhAIEiwA4i9Ju8_oz4_WWo4Yxz8pPvyC6iV1a8dh0tE73goRaZmJwxhcyWd8DxKmUxoCPRYQAvD_BwE (дата звернення: 09.10.2025) – Назва з екрану.

12. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» (зварювальні та споріднені спеціалізації) / КПП ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. Г. Левченко. — Електронні

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

текстові дані (1 файл: 110 Кбайт). — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 30 с.

13. НАПБ А.01.001–2014 Правила пожежної безпеки в Україні [Чинний від 30–12–2014]. Вид. офіц. Київ, 2014.

14. ДБН В.1.1–7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Чинний від 01–06–2016]. Вид. офіц. Київ, 2016.

15. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Чинний від 01–12–1999]. Вид. офіц. Київ, 1999.

16. НПАОП 28.52–1.31–13. Правила охорони праці під час зварювання металів. [Чинний від 06–12–2013]. Вид. офіц. Київ, 2013.

17. ДБН В.2.5–28:2018 Природне і штучне освітлення [Чинний від 01–12–1999]. Вид. офіц. Київ, 1999.

18. ДСН 3.3.6.037–99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Чинний від 01–12–1999]. Вид. офіц. Київ, 1999.

19. НПАОП 40.1–1.21–98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Чинний від 09–01–1998]. Вид. офіц. Київ, 1998.

20. НПАОП 0.00–1.80–18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання [Чинний від 27–06–2018]. Вид. офіц. Київ, 2018.

21. ДСТУ EN 175-2001. Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів. [Чинний від 01–07–2002]. Вид. офіц. Київ, 2002.

22. ДСТУ EN 169-2001. Засоби індивідуального захисту очей. [Чинний від 01–07–2002]. Вид. офіц. Київ, 2013.

23. Mächztz [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://machtz.com.ua/products/svarochnaya-mask-mchztz-mwh-2254?utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=Svarochnue_maski&utm_content=Shopping&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwyJqzBhBaEiwAWDRJVCCp8SwjbVm2royyvvyhMLOu9cWUQtOr10cKd0dsHR2KcDByft3KrBoCmUUQAvD_BwE_medium=cpc&utmkl (дата звернення: 25.10.2025) – Назва з екрану.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123

24. ДСТУ EN 420:2017. Рукавички захисні. Загальні вимоги та методи випробування. [Чинний від 06–12–2017]. Вид. офіц. Київ, 2017.

25. Промпоставка [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://prompоставka.in.ua/ua/p1702811583-rukavitsy-dlya-svarki.html>prom.ua/ua/p233456pua (дата звернення: 09.10.2025) – Назва з екрану.

26. ДСТУ EN 397-2001. Каски захисні промислові. [Чинний від 07–10–2001]. Вид. офіц. Київ, 2001.

27. Rozetka [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://rozetka.com.ua/ua/vorel_74172_v/p426102507/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw65_zBhBkEiw_AjrqRMHsDhNQvB0Su5LTFrj_4JK5WTv0F0rgLDedJzgNbfuzoNm4c6Kbo7hoCXXMQAvD_BwE (дата звернення: 09.10.2025) – Назва з екрану.

28. ДСТУ Б В.1.1–36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Чинний від 01–10–2016]. Вид. офіц. Київ, 2016.

29. ДНАОП 0.00–1.21–98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Чинний від 09–01–1998]. Вид. офіц. Київ, 1998.

					НЗ41мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					H341мп.12.05.000 ПЗ	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Прим.
				Документація		
A1			H34 1мп. 12.01.000СК	Зварювання рами WeldingBot100	1	
				Складальні одиниці		
		1		Профільна труба 20х20х540 мм	11	
		2		Профільна труба 20х20х680 мм	2	
		3		Кутик 20х20х500 мм	2	
		4		Кутик 20 х20х645 мм	2	
		5		Пластина для керування	1	
		6		Профільна труба 20х20х195 мм	2	
		7		Профільна труба 20х20х669 мм	2	
		8		Профільна труба 20х20х794 мм	2	
		9		Профільна труба 20х20х770 мм	2	
		10		Профільна труба 20х20х130 мм	2	
		11		Профільна труба 20х20х325 мм	2	
		12		Підтримка	14	
		13		Пластина для роликів	4	
		14		Профільна труба 20х20х475 мм	2	
		15		Кутик 20х20х290 мм	2	
		16		Кутик 20х20х285 мм	2	
		17		Підтримка задня	2	