

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

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

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО
Завідувач кафедри

(підпис) Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«__» _____ 2026 р.

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

Виконав:
студент IV курсу, групи ЗВ-21
Сердюк Олександр Сергійович

(підпис)

Керівник:
асистент, доктор філософії (PhD)
Лагодзінський Іван Миколайович

(підпис)

Консультант з організаційно-економічного розділу:
доцент, к.е.н., доцент
Нараєвський Сергій Вікторович

(підпис)

Консультант з охорони праці:
Зав. каф., д.т.н., професор
Левченко Олег Григорович

(підпис)

Рецензент:
доцент, к.т.н., доцент,
Блощинин Михайло Сергійович

(підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2026 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ
(підпис)

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Сердюку Олександру Сергійовичу

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

2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу – сталь S275JR. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Серійна програма виготовлення виробу – 150 шт. Умови виготовлення – цехові, температура експлуатації – від -40 °C до +50 °C.

4. Зміст пояснювальної записки:

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

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

1. Рама (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення рами (1 А1).
3. Установка для складання-зварювання поздовжніх швів рами (1 А1).
4. Установка для зварювання поздовжніх швів рами (1 А1).
5. Установка для складання-зварювання ребер жорсткості (1 А1).
6. Технологічний план виробничої дільниці (1 А1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний розділ	Нараєвський С. В., доцент		
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2026р.

Календарний план

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

Студент _____
(підпис)

Олександр СЕРДЮК

Керівник _____
(підпис)

Іван ЛАГОДЗІНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Дипломний проект представлено пояснювальною запискою на 132 сторінках, графічною частиною на 6 аркушах формату А1, літературних джерел – 34, містить 32 таблиці, 15 малюнків, 5 додатків

РАМА, ЗВАРНА КОНСТРУКЦІЯ, СТАЛЬ S275JR, МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ПРОЦЕС 135, MAG-ЗВАРЮВАННЯ, СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНА ОСНАСТКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СПОРЯДЖЕННЯ, СЕРІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО.

У дипломному проекті розроблено технологічний процес виготовлення зварної рами зі сталі S275JR в умовах серійного виробництва з річною програмою випуску 150 виробів. Виконано конструктивно-технологічний аналіз виробу, досліджено властивості основного матеріалу та його зварюваність, обґрунтовано вибір способу зварювання та параметрів технологічного процесу.

Для виготовлення конструкції запропоновано застосування механізованого зварювання плавким електродом у середовищі активних газів (процес 135 за ISO 4063) із використанням дроту G4Si1 та захисної газової суміші M21. Розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення виробу, визначено послідовність складальних і зварювальних операцій, а також заходи щодо забезпечення якості зварних з'єднань.

У роботі виконано проектування складально-зварювальної оснастки, що забезпечує точне базування та надійну фіксацію елементів рами під час складання і зварювання.

Проведено компонування зварювальної установки, обґрунтовано вибір основного технологічного обладнання та засобів технологічного спорядження для механізації виробничого процесу.

Запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення продуктивності праці, забезпечення стабільної якості зварних з'єднань, зменшення трудомісткості виготовлення виробу та покращення техніко-економічних показників виробництва.

ABSTRACT

The diploma project is presented with an explanatory note on 132 pages, a graphic part on 6 sheets of A1 format, 34 literary sources, contains 32 tables, 15 drawings, 5 add-ons

FRAME, WELDED STRUCTURE, S275JR STEEL, MECHANIZED WELDING, PROCESS 135, MAG WELDING, ASSEMBLY AND WELDING FIXTURE, TECHNOLOGICAL PROCESS, PRODUCTION TOOLING, SERIAL PRODUCTION.

This diploma project presents the development of a technological process for manufacturing a welded frame made of S275JR steel under serial production conditions with an annual output of 150 units. A design and technological analysis of the product was carried out, the properties and weldability of the base material were investigated, and the selection of the welding method and technological process parameters was substantiated.

For the fabrication of the structure, it is proposed to use mechanized gas metal arc welding with a consumable electrode in an active gas atmosphere (Process 135 according to ISO 4063) employing G4Si1 welding wire and M21 shielding gas mixture. A routing technological process for product manufacturing was developed, including the sequence of assembly and welding operations, as well as measures to ensure the quality of welded joints.

The project includes the design of an assembly and welding fixture that provides accurate positioning and reliable clamping of frame components during assembly and welding. The welding workstation layout was developed, and the selection of the main technological equipment and production tooling for process mechanization was justified.

The proposed technical solutions are aimed at increasing labor productivity, ensuring stable quality of welded joints, reducing manufacturing labor intensity, and improving the technical and economic performance of production.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1. Конструкторсько-технологічний аналіз рами	13
1.1. Опис конструкції виробу та ТУ на виготовлення.....	13
1.2. Характеристика основного матеріалу рами	14
1.3. Оцінка опірності металу зварного з'єднання до утворення тріщин ..	16
1.4. Складальні одиниці рами	19
1.5. Характеристика зварних з'єднань	21
1.6. Вибір типових способів зварювання.....	24
1.7. Вибір зварювальних матеріалів	27
1.7.1. Вибір захисного газу.....	28
1.7.2. Вибір електродного дроту.....	28
1.8. Вибір типів зварних з'єднань та підготовки кромки	30
1.9. Розрахунок режимів для зварювання способом	32
1.10. Опис технологічного процесу виготовлення	39
1.11. Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки....	42
2. Розробка складально-зварювальної оснастки	45
2.1. Технічні вимоги щодо оснастки	45
2.2. Вибір технологічних баз та схема базування заготовок	47
2.3. Розробка принципової схеми пристрою	49
2.3.1 Розрахунок гвинтового притискача.....	50
2.4. Компонування складально-зварювального пристрою	52
2.5. Опис роботи складально-зварювального пристрою.....	55
2.5.1 Робота пристрою для складання основного вузла рами.....	55
2.5.2 Робота пристрою для складання ребер жорсткості.....	56

					<i>ЗВ-21.12.00.000 ПЗ</i>			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сердюк О.С			<i>Технологія складання та зварювання рами</i>		Лит.	Арк.
Перевір.		Лагодзінський І.М.						8
								135
Н. контр.		Лисак В.В.					<i>КПІ ім. Ігоря Сікарського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона</i>	
Затверд.		Квасницький В.В.						

3. Компонування установки для зварювання	58
3.1. Обґрунтування вибору основного технологічного (зварювального) устаткування	58
3.2. Обґрунтування необхідності вибору засобів технологічного спорядження (ЗТС) для механізації або автоматизації зварювання одного (або декількох) із зварних швів виробу.....	59
3.3. Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок силових елементів засобів механізації та потужності приводного електродвигуна обраного обладнання	61
3.4. Обґрунтування вибору стандартних ЗТС	68
3.4.1 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок потужності приводного електродвигуна для механізмів позиціювання та пересування обладнання...	68
3.4.2 Розрахунок гідравлічного приводу двостоякового кантувача.....	74
3.5. Опис роботи зварювальної установки	77
3.6. Призначення способів контролю якості виготовлення зварного виробу	79
4. Проектування плану виробничої площі	83
4.1. Визначення типу виробництва.....	83
4.2. Визначення кількості обладнання	84
4.3. Розрахунок чисельності працюючих складально-зварювального цеху	87
4.3.1 Визначення кількості працюючих на ділянці.....	88
4.4. Основні вимоги для планування цеху.....	89
4.5. Визначення запасу матеріалів.....	90
4.6. Визначення необхідних вантажо-підіймальних засобів, проходів, проїздів	92
5. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	95
5.1. Енергетичний розділ.....	95
5.2. Організаційний розділ.....	98

5.2.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників.....	98
5.2.2 Визначення фондів заробітної плати.....	100
5.2.3 Розрахунок продуктивності праці.....	102
5.3 Економічний розділ.....	105
5.3.1 Розрахунок капітальних вкладень.....	105
5.3.2 Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення.....	111
6. ОХОРОНА ПРАЦІ	114
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	114
6.2 Інженерні рішення щодо забезпечення безпеки праці.....	116
6.2.1 Вимоги до технологічного процесу та виробничого приміщення.....	116
6.2.2 Вимоги до організації робочих місць.....	117
6.2.3 Вентиляція та забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища.....	116
6.2.4 Захист від шуму та вібрації.....	117
6.2.5 Електробезпека.....	119
6.2.6 Захист від теплового впливу та випромінювання.....	120
6.2.7 Засоби індивідуального захисту.....	120
6.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці.....	121
6.3.1 Інженерні рішення щодо організації безпечної роботи обладнання.....	121
6.3.2 Рішення щодо локалізації шкідливих виділень.....	121
6.3.3 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції.....	123
6.3.4 Обґрунтування прийнятого рішення.....	124
6.4 Пожежна безпека.....	125
ВИСНОВКИ.....	129
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	131
ДОДАТКИ.....	135

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування, транспортного та енергетичного обладнання характеризується постійним зростанням вимог до надійності, довговічності та економічності металоконструкцій. Одними з найбільш поширених несних елементів різноманітних машин, механізмів та технологічних комплексів є зварні рами, які сприймають значні статичні та динамічні навантаження і забезпечують просторову жорсткість усієї конструкції. Від якості виготовлення рами значною мірою залежать експлуатаційні характеристики обладнання, його ресурс та безпека роботи.

Застосування сучасних зварювальних технологій дає змогу забезпечити високу міцність і надійність відповідальних конструкцій, однак ефективність виробництва значною мірою визначається правильним вибором технологічного процесу, зварювального обладнання та складально-зварювальної оснастки. Особливої актуальності ці питання набувають в умовах серійного виробництва, де необхідно забезпечити стабільну якість виробів при мінімальних витратах матеріалів, часу та трудових ресурсів.

Актуальність теми дипломного проєкту обумовлена необхідністю вдосконалення технології виготовлення зварних рам із конструкційної сталі S275JR шляхом впровадження раціональних технологічних рішень, використання сучасного зварювального обладнання та спеціалізованої оснастки, що дозволяє підвищити продуктивність виробництва, зменшити вплив людського фактора та забезпечити високу повторюваність геометричних параметрів виробу.

Метою дипломного проєкту є розроблення технологічного процесу виготовлення зварної рами зі сталі S275JR [1], який забезпечує необхідну якість зварних з'єднань, точність складання конструкції та ефективність серійного виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– виконати аналіз конструкції виробу та оцінити його технологічність;

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дослідити властивості матеріалу та його придатність до зварювання;
- обґрунтувати вибір способу зварювання і параметрів технологічного процесу;
- розробити маршрут виготовлення виробу та визначити послідовність виконання технологічних операцій;
- спроектувати складально-зварювальну оснастку для забезпечення точного базування та фіксації деталей;
- обґрунтувати вибір зварювального обладнання та засобів технологічного спорядження;
- виконати компонування установки для зварювання та оцінити ефективність запропонованих технічних рішень.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення зварної рами із конструкційної низьколегованої сталі S275JR.

Предметом дослідження є технологічні та організаційні рішення, що забезпечують підвищення ефективності процесу складання та механізованого зварювання рами в умовах серійного виробництва.

Практичне значення роботи полягає у розробленні комплексу технологічних рішень щодо виготовлення зварної рами, які можуть бути використані під час проектування або модернізації виробничих ділянок зварювального виробництва. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення продуктивності праці, забезпечення стабільної якості зварних з'єднань та зниження виробничих витрат.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ

1.1 Призначення виробу

Об'єктом розроблення є зварна рама (рис. 1.1), призначена для використання як несний елемент технологічного або машинобудівного обладнання. Конструкція забезпечує сприйняття та передачу статичних і динамічних навантажень від установлених вузлів і механізмів до опорної поверхні, зберігаючи необхідну жорсткість і стабільність геометричних параметрів протягом усього терміну експлуатації.

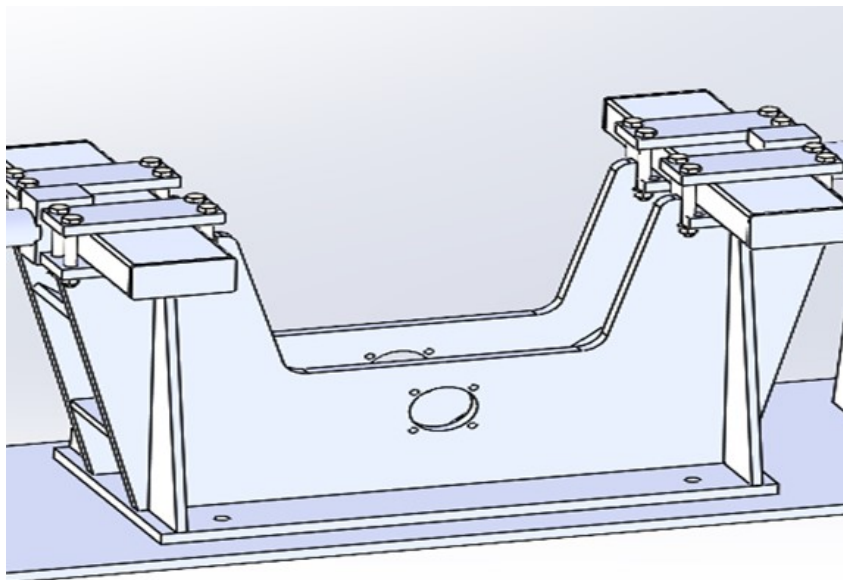


Рисунок 1.1 – 3D модель зварної рами

Рама належить до відповідальних зварних конструкцій, оскільки її технічний стан безпосередньо впливає на працездатність обладнання, точність взаємного розташування вузлів та безпечність експлуатації. Конструкція повинна забезпечувати достатню міцність при дії робочих навантажень, стійкість до деформацій і вібрацій, а також збереження геометричної точності після виконання складально-зварювальних операцій.

Основою виробу є масивна нижня опорна плита, до якої приварюються бічні несні елементи трапецієподібної форми. Верхня частина конструкції обладнана опорними майданчиками для встановлення технологічних вузлів. Усередині рами передбачено систему ребер та підсилювальних елементів, що підвищують жорсткість конструкції та забезпечують рівномірний розподіл навантажень між окремими елементами.

Завдяки раціональній конструктивній схемі рама характеризується високою жорсткістю при відносно простій технології виготовлення. Конструкція допускає виготовлення з використанням сучасних механізованих способів зварювання, що забезпечує високу продуктивність виробництва та стабільну якість зварних з'єднань.

Умовами експлуатації виробу передбачається сприйняття значних силових навантажень, тому до рами висуваються підвищені вимоги щодо міцності, точності складання, якості зварних швів та довговічності. Для забезпечення зазначених вимог під час виготовлення необхідно застосовувати технологічні процеси, які гарантують мінімальний рівень залишкових деформацій та напружень.

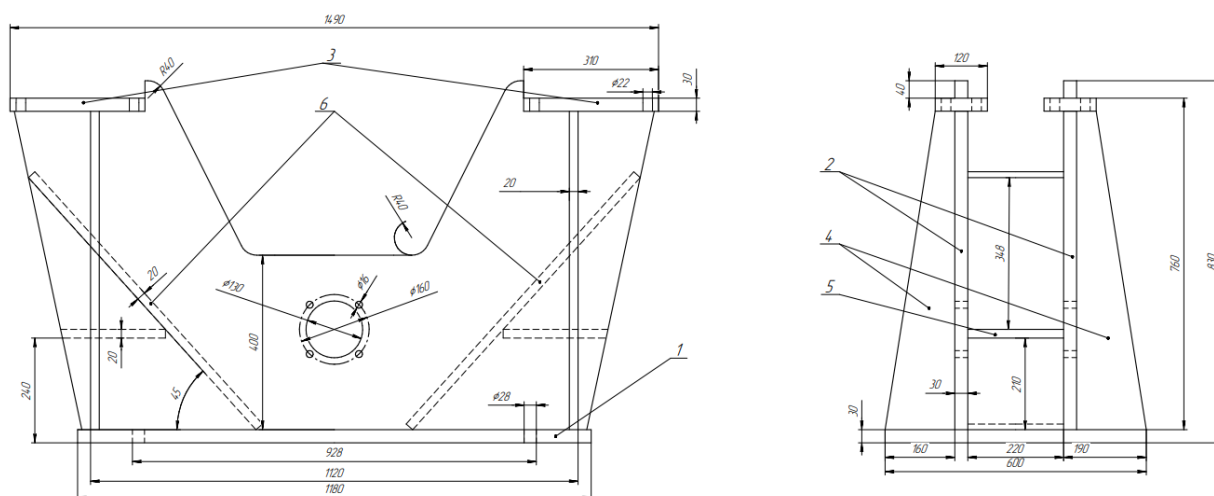
1.2 Опис конструкції виробу

Рама являє собою просторову зварну металоконструкцію, сформовану з листових та фасонних елементів із конструкційної низьколегованої сталі S275JR. Конструкція має симетричну будову відносно вертикальної площини, що проходить через її поздовжню вісь.

Габаритні розміри виробу становлять приблизно 1490 мм по довжині, 1180 мм по ширині та близько 880 мм по висоті. Основу конструкції утворює опорна плита товщиною 30 мм, яка виконує функцію головного базового елемента під час складання та подальшої експлуатації виробу. До плити приварюються дві

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У центральній частині виробу розташовані внутрішні підсилювальні елементи та поперечні зв'язки, призначені для підвищення жорсткості конструкції. Один із внутрішніх листових елементів має центральний отвір та систему монтажних отворів, що можуть використовуватися для встановлення технологічних вузлів або допоміжного обладнання.



Особливістю виробу є наявність великої кількості таврових з'єднань, що утворюються під час приварювання вертикальних стінок і ребер жорсткості до опорної плити. Найбільш відповідальним є зварне з'єднання між плитою товщиною 30 мм та вертикальною стінкою товщиною 20 мм, для якого передбачено підготовку кромки із забезпеченням повного проплавлення кореня шва.

Конструкція характеризується достатньо великою масою, що становить близько 630 кг, тому під час виготовлення необхідно використовувати засоби механізації транспортних і складальних операцій. Крім того, значна товщина окремих деталей потребує застосування багатошарового зварювання та спеціальних заходів щодо обмеження зварювальних деформацій.

Аналіз конструкції показує, що виріб є технологічним з точки зору можливості механізованого зварювання, однак вимагає використання спеціальної складально-зварювальної оснастки для забезпечення необхідної точності взаємного розташування елементів та стабільності геометричних параметрів після завершення зварювання.

1.3 Оцінка опірності металу зварного з'єднання до утворення тріщин

Матеріалом зварної рами відповідно до завдання на проектування є конструкційна низьколегована сталь S275JR згідно з вимогами стандарту EN 10025-2 [1, 2]. Даний матеріал широко застосовується у машинобудуванні, будівництві, енергетичному обладнанні та виробництві металоконструкцій завдяки поєднанню достатньо високих міцнісних характеристик, доброї технологічності та відносно невисокої вартості.

Сталь S275JR належить до групи нелегованих конструкційних сталей загального призначення та постачається у гарячекатаному стані. Позначення марки означає, що гарантована межа текучості матеріалу становить не менше 275 МПа, а індекс JR свідчить про забезпечення ударної в'язкості не менше 27 Дж за температури +20 °С.

Застосування сталі S275JR для виготовлення несних рамних конструкцій обумовлене її високою конструкційною міцністю, достатньою пластичністю та доброю здатністю до зварювання без необхідності використання складних технологічних заходів. Матеріал забезпечує надійну роботу виробу під дією статичних та змінних навантажень і характеризується високою експлуатаційною надійністю.

Хімічний склад сталі S275JR наведено в таблиці 1.1.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі S275JR [1-3]

Елемент	C	Mn	Si	P	S	N
Вміст, %	≤0,21	≤1,50	≤0,50	≤0,035	≤0,035	≤0,012

Низький вміст вуглецю є одним із головних факторів, що визначають добру зварюваність сталі. Обмежений вміст сірки та фосфору сприяє зменшенню схильності металу до утворення гарячих тріщин під час кристалізації металу шва. Марганець позитивно впливає на міцнісні характеристики та одночасно знижує шкідливий вплив сірки на структуру металу.

Механічні властивості сталі S275JR наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі S275JR [3]

Показник	Значення
Межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	≥ 275
Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	410–560
Відносне видовження δ , %	≥ 22
Ударна в'язкість KCV, Дж	≥ 27
Модуль пружності E, ГПа	210

Наведені характеристики свідчать про те, що сталь має достатній запас міцності та пластичності для виготовлення відповідальних несних конструкцій, які працюють під дією складних навантажень.

Одним із основних критеріїв оцінки зварюваності конструкційних сталей є вуглецевий еквівалент, який характеризує схильність металу до утворення загартованих структур у зоні термічного впливу та виникнення холодних тріщин.

Для оцінки зварюваності визначимо вуглецевий еквівалент за формулою Міжнародного інституту зварювання (IIW):

$$Ceq = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Для сталі S275JR приймаємо максимальні значення основних елементів:

$$C = 0,21 \ %;$$

$$Mn = 1,50 \ %;$$

$$Cr = Mo = V = Ni = Cu = 0.$$

Тоді:

$$C_{eq} = 0,21 + 1,50/6 = 0,46$$

Отримане значення вуглецевого еквівалента становить приблизно 0,46 %, що відповідає добрій зварюваності матеріалу. При такому рівні C_{eq} виконання зварювання можливе без застосування спеціальних технологічних заходів для деталей невеликої товщини.

Разом із тим конструкція рами містить елементи товщиною 20 та 30 мм, а найбільш відповідальне з'єднання являє собою тавровий стик із повним проплавленням кореня шва. За таких умов у процесі багатошарового зварювання можливе виникнення значних температурних градієнтів і залишкових напружень. З метою зниження швидкості охолодження та запобігання утворенню несприятливих структур можливим (проте не обов'язковим) є застосування попереднього підігріву (в межах 80–120°C) перед виконанням корневих проходів.

Під час зварювання сталі S275JR можливе використання більшості сучасних способів зварювання плавленням, зокрема ручного дугового зварювання покритими електродами, механізованого зварювання плавким електродом у захисних газах, автоматичного зварювання під флюсом та роботизованого MAG-зварювання.

Для виготовлення даної рами найбільш раціональним є застосування механізованого зварювання плавким електродом у середовищі активних газів (процес 135 за ISO 4063 [4]). Даний спосіб забезпечує високу продуктивність,

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стабільну якість формування шва, добру повторюваність параметрів та можливість механізації виробничого процесу. Крім того, використання суцільного дроту типу G4Si1 дозволяє отримувати метал шва з механічними властивостями, що не поступаються властивостям основного металу.

Таким чином, аналіз властивостей сталі S275JR показав, що обраний матеріал повністю відповідає умовам експлуатації виробу та характеризується доброю технологічною зварюваністю [8]. Комплекс механічних властивостей, відносно невисокий вуглецевий еквівалент та відсутність схильності до утворення холодних тріщин дозволяють рекомендувати дану сталь для виготовлення рами методом механізованого MAG-зварювання із забезпеченням високої якості та надійності зварних з'єднань.

1.4 Складальні одиниці рами

Відповідно до складального креслення виріб являє собою просторову зварну конструкцію, що складається з ряду листових деталей, об'єднаних між собою за допомогою зварних з'єднань. Для раціональної організації технологічного процесу виготовлення (рис. 1.3) конструкцію доцільно розділити на окремі складальні одиниці, які формуються послідовно на різних етапах складання.

До складу рами входять такі основні елементи (рис. 1.2):

- нижня опорна плита;
- бокові несучі стінки;
- верхні опорні накладки;
- ребра жорсткості;
- внутрішня монтажна плита;
- розпорка.

Основною складальною одиницею виробу є базова рама, яка формується на основі нижньої опорної плити. Саме ця деталь використовується як головна

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічна база під час виконання складальних операцій і визначає просторове положення всіх інших елементів конструкції.

На першому етапі складання до опорної плити встановлюються та фіксуються бокові несучі стінки. Дані елементи формують основний силовий контур виробу та забезпечують сприйняття експлуатаційних навантажень. Для забезпечення необхідної точності складання положення стінок контролюється за допомогою спеціальних базуючих елементів і шаблонів.

Після формування зовнішнього контуру конструкції встановлюється внутрішня розпорка, яка забезпечує внутрішню жорсткість конструкції. Одночасно монтуються внутрішні монтажні плити, що також забезпечують взаємну фіксацію бокових стінок та підвищують просторову жорсткість конструкції.

На наступному етапі до рами приварюються ребра жорсткості. Їх призначення полягає у зменшенні деформацій під дією зовнішніх навантажень та підвищенні загальної жорсткості виробу. Завершальними елементами складання є верхні опорні майданчики, які використовуються для встановлення та кріплення обладнання в процесі експлуатації рами.

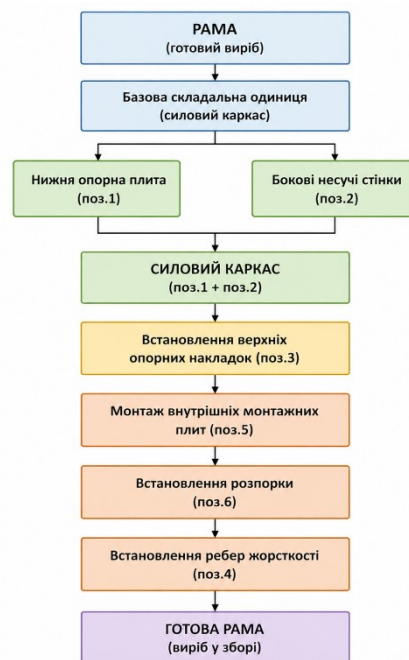


Рисунок 1.3 – Схема складання рами

У процесі виготовлення переважають таврові та кутові зварні з'єднання, що виконуються механізованим/автоматизованим зварюванням плавким електродом у середовищі активних газів. Найбільш відповідальним є з'єднання вертикальних стінок із нижньою плитою. Якість зварних з'єднань повинна відповідати рівню С згідно з вимогами ISO 5817 [5].

Таким чином, конструкція рами має виражену ієрархічну структуру складання, при якій спочатку формується базовий силовий контур виробу, а надалі встановлюються внутрішні та допоміжні елементи. Така послідовність забезпечує зручність виконання складальних операцій, підвищує точність взаємного розташування деталей та створює умови для отримання стабільної якості зварних з'єднань.

1.5 Характеристика зварних з'єднань

Зварне з'єднання №1 призначене для приєднання бокових несучих стінок до нижньої опорної плити (поз. 1) (рис. 1.4) та належить до основних силових вузлів конструкції. Саме через це з'єднання здійснюється передача навантажень від вертикальних елементів каркаса на базову плиту, тому до нього висувуються підвищені вимоги щодо міцності та геометричної точності.

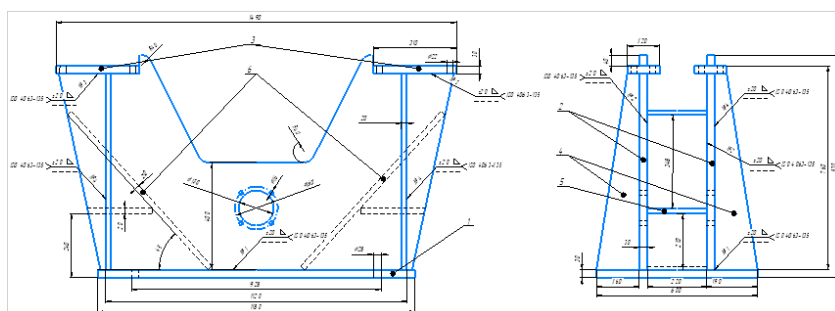


Рисунок 1.4 – Положення зварних швів на виробі

Конструктивно з'єднання являє собою тавровий вузол, утворений листовими елементами зі сталі S275JR. Товщина деталей становить 20 мм для

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

бокових стінок та 20 мм для нижньої опорної плити. Для забезпечення надійності роботи конструкції передбачено виконання двосторонніх кутових швів. Підготовка кромок 3.1.1 здійснюється відповідно до ДСТУ EN ISO 9692-1 [7].

Зварювання виконується механізованим способом у середовищі захисних газів (MAG, процес 135 згідно з ISO 4063 [4]). Як присадний матеріал застосовується суцільний дріт ER70S-6 (G4Si1) діаметром 1,2 мм, а захисним середовищем служить газова суміш Ar + 18 % CO₂ (M21). Застосування зазначених матеріалів забезпечує стабільне горіння дуги, достатню глибину проплавлення та формування шва з необхідними механічними властивостями.

Основна частина зварювальних робіт виконується у положенні РВ відповідно до ISO 6947 [6]. Обраний спосіб зварювання характеризується високою продуктивністю та дозволяє отримати якісні з'єднання при серійному виготовленні конструкцій. Якість швів повинна відповідати рівню С згідно з ISO 5817 [5].

Матеріал конструкції належить до низьковуглецевих конструкційних сталей, які відзначаються доброю зварюваністю та не потребують спеціальних технологічних заходів при виконанні зварювання за нормальних виробничих умов. Таким чином, зварне з'єднання №1 забезпечує формування жорсткого несучого каркаса виробу та гарантує надійну роботу рами під час експлуатації.

Зварне з'єднання №2 використовується для кріплення внутрішніх монтажних плит (поз. 5) та розпорки (поз. 6) до бокових несучих стінок (поз. 2). Дане з'єднання виконує допоміжну несучу функцію та забезпечує можливість подальшого встановлення технологічного обладнання або вузлів, що монтуються всередині конструкції.

За конструктивним виконанням з'єднання належить до таврових та реалізується кутовими швами. Товщина з'єднуваних деталей становить 20 мм, що дозволяє виконувати зварювання без складної підготовки крайок. Катет шва призначається відповідно до товщини елементів і забезпечує необхідну несучу здатність вузла.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зварювання здійснюється процесом MAG 135 із використанням дроту ER70S-6 та захисної суміші M21. Завдяки високій стабільності процесу забезпечується рівномірне формування шва по всій довжині з'єднання та мінімізується ймовірність виникнення дефектів.

Виконання робіт передбачається переважно у положенні РВ. Контроль якості здійснюється візуально-вимірювальним методом, а готові шви повинні відповідати вимогам ISO 5817 [5], рівень якості С.

Зварне з'єднання №3 призначене для приварювання верхніх опорних накладок (поз. 3) до бічних несучих стінок рами (поз. 2). Дане з'єднання належить до відповідальних вузлів конструкції, оскільки через опорні накладки передаються навантаження від встановленого обладнання на основний каркас виробу.

За конструктивним виконанням з'єднання є тавровим і реалізується кутовими швами по контуру прилягання накладки до бічної стінки. Така схема забезпечує рівномірну передачу зусиль та достатню жорсткість вузла при експлуатації виробу. Товщина з'єднуваних елементів становить 20 мм, що дозволяє виконувати зварювання без складної підготовки кромek відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 9692-1 [7].

Для виконання зварювання застосовується механізований процес MAG (135 за ISO 4063 [4]). Як електродний матеріал використовується суцільний дріт ER70S-6 (G4Si1), а захисним середовищем є газова суміш Ar + 18 % CO₂ (M21). Застосування такого поєднання забезпечує стабільність дугового процесу, належне формування кутового шва та необхідні механічні властивості металу з'єднання.

Зварювання виконується переважно в положенні РВ згідно з ISO 6947 [6]. Катет кутового шва приймається залежно від товщини деталей і становить 8 мм, що забезпечує необхідну несучу здатність та стійкість вузла до дії статичних і вібраційних навантажень.

Якість виконання швів повинна відповідати рівню С за ISO 5817 [5]. Після завершення зварювання проводиться візуально-вимірювальний контроль для

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевірки геометричних параметрів шва та відсутності недопустимих дефектів. Особливу увагу приділяють відсутності підрізів, непроварів та пор, які можуть негативно впливати на роботу опорних елементів.

Зварне з'єднання №4 призначене для приварювання ребер жорсткості (поз.4) до елементів каркаса рами. Основною функцією цього вузла є підвищення просторової жорсткості конструкції та зменшення деформацій, які можуть виникати під дією експлуатаційних навантажень.

Конструктивно з'єднання виконано у вигляді кутових швів таврового типу. Товщина ребер жорсткості становить 20 мм, що дозволяє здійснювати їх приварювання без додаткової механічної підготовки кромek. Для забезпечення рівномірного розподілу напружень шви розташовуються симетрично відносно площини ребра.

Зварювання здійснюється механізованим способом MAG із застосуванням дроту ER70S-6 та газової суміші Ar + 18 % CO₂. Обраний технологічний процес забезпечує високу продуктивність робіт і стабільну якість зварних з'єднань.

Зварювання ребер жорсткості виконується у положенні РВ, що створює сприятливі умови для формування рівномірного валика шва. Якість готових з'єднань повинна відповідати рівню С за ISO 5817 [5]. Враховуючи добру зварюваність сталі S275JR, виконання цих з'єднань не потребує попереднього підігріву чи спеціальної термічної обробки.

Отже, зварні з'єднання рами характеризуються достатньою технологічністю, забезпечують необхідну міцність і жорсткість конструкції та можуть бути виконані із застосуванням стандартного обладнання для механізованого MAG-зварювання.

1.6 Вибір типових способів зварювання

Вибір способу зварювання для виготовлення рами здійснюється з урахуванням конструктивних особливостей виробу, властивостей основного

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

металу, просторового положення швів, обсягу виробництва та вимог до якості зварних з'єднань.

Основним матеріалом конструкції є низьколегована конструкційна сталь S275JR, яка характеризується доброю зварюваністю та не потребує застосування спеціальних технологічних заходів під час виконання зварювання за звичайних виробничих умов. Це дозволяє використовувати широкий спектр сучасних способів дугового зварювання.

Конструкція рами складається з листових деталей товщиною 20 мм та 30 мм і містить значну кількість таврових та кутових з'єднань. Більшість швів розташована у положеннях, зручних для виконання механізованого зварювання. Виріб має відносно просту просторову форму та забезпечує достатній доступ до зон зварювання, що створює сприятливі умови для застосування високопродуктивних способів зварювання.

Враховуючи програму випуску 150 виробів на рік, виробництво можна віднести до серійного. За таких умов особливого значення набувають продуктивність процесу, стабільність якості зварних з'єднань та можливість механізації технологічних операцій.

Залежно від товщини металу та умов виконання робіт для зварювання конструкцій зі сталі S275JR можуть застосовуватися різні способи дугового зварювання. Оцінка найбільш поширених способів наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Типові способи зварювання конструкційної сталі S275JR

№	Матеріал	Ручне дугове зварювання (111)	MAG (135)	MIG (131)	Автоматичне флюсом (121)	під TIG (141)	Плазмове	Лазерне
1	S275JR	+	++	(+)	++	(+)	(+)	(+)

Примітка:

«++» – рекомендований спосіб;

«+» – можливе ефективне застосування;

«(+）」 – застосування обмежене технічними або економічними чинниками.

Також, що треба взяти до уваги є положення деталей під час зварювання, доступ до зони обробки, протяжність і конфігурація швів [6,7] (рис. 1.5).

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ручне дугове зварювання покритими електродами є універсальним способом виготовлення металоконструкцій і забезпечує необхідну якість зварних з'єднань. Проте при виготовленні рами значної маси його застосування призводить до збільшення трудомісткості робіт та тривалості виробничого циклу.

Аргонодугове зварювання неплавким електродом (TIG) дозволяє отримувати високоякісні зварні з'єднання, однак характеризується низькою продуктивністю при зварюванні металу товщиною від 20 мм до 30 мм та тому не є раціональним для серійного виробництва даного виробу.

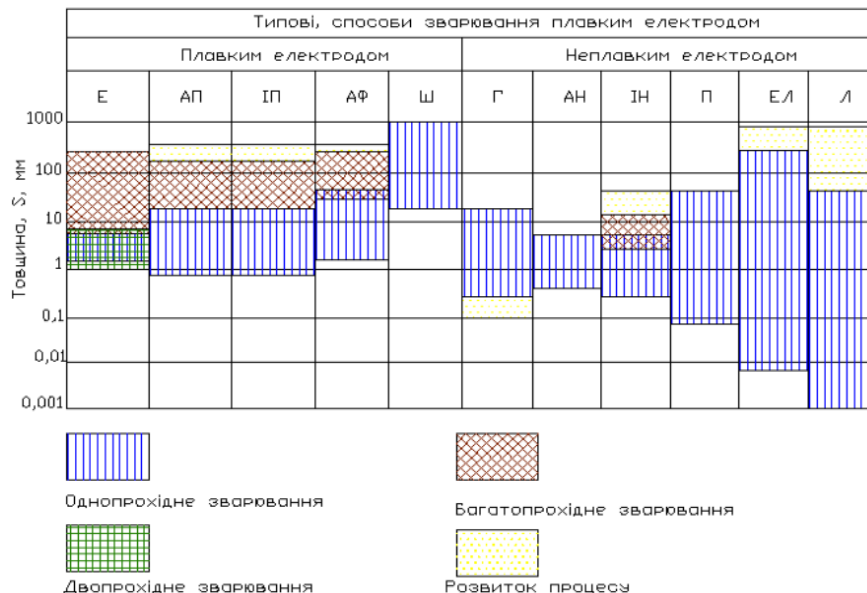


Рисунок 1.5 – Діаграма діапазонів товщин металу, що зварюється типовими способами за один, два і багато проходів

Автоматичне зварювання під флюсом забезпечує високу продуктивність та глибоке проплавлення металу. Разом з тим значна частина швів рами є кутовими та розташована у просторових вузлах складної конфігурації, що обмежує можливість використання цього способу без додаткового спеціалізованого обладнання.

Механізоване дугове зварювання плавким електродом у середовищі активних газів (MAG) поєднує високу продуктивність, добру якість формування шва та можливість виконання як протяжних, так і коротких кутових з'єднань.

Даний спосіб добре пристосований до умов серійного виробництва та дозволяє забезпечити стабільну якість зварних з'єднань при відносно невисоких виробничих витратах.

На підставі проведеного аналізу для подальшого розгляду доцільно прийняти два найбільш перспективні способи зварювання:

- механізоване дугове зварювання плавким електродом у середовищі активних газів (MAG, процес 135) [4, 29];
- автоматичне дугове зварювання під флюсом (процес 121).

Обидва способи забезпечують необхідний рівень якості зварних з'єднань для конструкцій зі сталі S275JR та можуть бути використані при виготовленні рами. Остаточний вибір технології буде виконано на підставі аналізу технологічних можливостей, особливостей конструкції виробу та техніко-економічних показників виробництва.

1.7 Вибір зварювальних матеріалів

Вибір зварювальних матеріалів є одним із визначальних етапів розроблення технологічного процесу виготовлення рами, оскільки від їх властивостей залежать механічні характеристики зварних з'єднань, технологічність процесу та експлуатаційна надійність конструкції в цілому.

Матеріалом виробу є конструкційна низьколегована сталь S275JR згідно з EN 10025-2. Дана сталь характеризується доброю зварюваністю, достатньою пластичністю та невисокою схильністю до утворення холодних тріщин. Разом із тим значна товщина окремих елементів конструкції (20 та 30 мм) потребує забезпечення стабільного проплавлення та формування металу шва з механічними властивостями, не нижчими за властивості основного металу.

Для виготовлення рами прийнято механізоване дугове зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів (процес 135 за ISO 4063 [4]). Відповідно до обраної технології необхідно визначити склад захисного газу та марку електродного дроту.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7.1 Вибір захисного газу

При механізованому зварюванні низьколегованих сталей можуть використовуватись як чистий вуглекислий газ, так і багатокомпонентні газові суміші на основі аргону. Використання чистого CO₂ характеризується відносно низькою вартістю, проте супроводжується підвищенням розбризкуванням металу та менш стабільним процесом перенесення електродного металу.

Для зварювання рами доцільно використовувати захисну газову суміш M21-C відповідно до ДСТУ EN ISO 14175 [9]. До складу суміші входить аргон з вмістом вуглекислого газу від 15 % до 25 %. Для подальших розрахунків та вибору режимів зварювання приймається суміш Ar + 18 % CO₂.

Використання газової суміші M21-C забезпечує:

- стабільне горіння дуги;
- дрібнокраплинне перенесення електродного металу;
- зменшення втрат металу на розбризкування;
- якісне формування кутових та таврових швів;
- необхідну глибину проплавлення при зварюванні металу значної товщини.

Особливо важливим застосування суміші M21-C є під час виконання багат шарових швів у відповідальних вузлах рами, де необхідно забезпечити стабільність механічних властивостей по всьому перерізу з'єднання.

1.7.2 Вибір електродного дроту

Для виконання механізованого зварювання обрано суцільний електродний дріт класу G 42 4 M21 3Si1 відповідно до ДСТУ EN ISO 14341 [10].

Зазначений дріт призначений для зварювання конструкційних сталей із межею текучості до 420 МПа в середовищі захисних газів групи M21 та широко використовується під час виготовлення відповідальних металоконструкцій машинобудівного призначення.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розшифрування позначення дроту:

- G – суцільний електродний дріт;
- 42 – мінімальна межа текучості металу шва 420 МПа;
- 4 – гарантована ударна в'язкість при температурі –20 °С;
- M21 – рекомендований захисний газ;
- 3Si1 – хімічний склад дроту з підвищеним вмістом кремнію та марганцю.

Типовий хімічний склад дроту наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад дроту G 42 4 M21 3Si1

Елемент	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
Вміст, %	0,06–0,14	1,30–1,80	0,70–1,00	≤0,15	≤0,15	≤0,025	≤0,025

Підвищений вміст марганцю та кремнію забезпечує ефективне розкислення металу зварювальної ванни та сприяє формуванню щільного металу шва без пористості й неметалевих включень.

Механічні властивості наплавленого металу наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Механічні властивості металу шва

Показник	Значення
Межа текучості Re, МПа	≥420
Тимчасовий опір розриву Rm, МПа	500–640
Відносне видовження A, %	≥20
Ударна в'язкість KV при –20 °С, Дж	≥47

Для виготовлення рами приймається дріт діаметром 1,2 мм. Такий діаметр забезпечує стабільне горіння дуги, достатню продуктивність процесу та можливість виконання багат шарового зварювання елементів товщиною до 30 мм без зміни зварювального матеріалу.

До основних переваг дроту G 42 4 M21 3Si1 належать:

- висока стабільність процесу зварювання;
- незначне розбризкування металу;
- якісне формування шва;

- можливість зварювання у різних просторових положеннях;
- механічні властивості металу шва, близькі до властивостей основного металу.

Таким чином, для виготовлення рами зі сталі S275JR обрано суцільний електродний дріт G 42 4 M21 3Si1 діаметром 1,2 мм та захисну газову суміш M21-C (Ar + 18 % CO₂). Застосування зазначених зварювальних матеріалів забезпечує необхідний рівень якості зварних з'єднань, високу продуктивність процесу та відповідність вимогам серійного виробництва.

1.8 Вибір типів зварних з'єднань та підготовки кромки

Вибір типів зварних з'єднань для виготовлення рами здійснюється з урахуванням конструктивних особливостей виробу, товщини з'єднуваних елементів, характеру навантаження та вимог до технологічності виготовлення. Конструкція рами складається переважно з листових деталей товщиною 20 та 30 мм, які формують просторовий силовий каркас виробу. Основними елементами конструкції є нижня опорна плита, бокові несучі стінки, внутрішні монтажні плити, верхні опорні накладки, ребра жорсткості та розпорки.

Аналіз конструкції показує, що більшість з'єднань виконуються за схемою взаємно перпендикулярного розташування деталей. У зв'язку з цим основним типом зварних з'єднань є таврові з'єднання, які реалізуються кутовими швами. Саме такі з'єднання використовуються під час приварювання ребер жорсткості, внутрішніх монтажних плит, розпорок та верхніх опорних накладок.

Найбільш відповідальним вузлом конструкції є з'єднання бокових несучих стінок з нижньою опорною плитою. Через даний вузол передаються основні експлуатаційні навантаження від усіх елементів рами на базову плиту. Для забезпечення необхідної міцності та жорсткості конструкції в даному випадку доцільно застосувати таврове з'єднання з повним проплавленням стінки.

При виборі форми підготовки кромки враховувались товщина деталей, доступність зони зварювання та необхідність забезпечення гарантованого

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проплавлення кореня шва. Підготовка кромки приймається відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 9692-1 [7].

Для основного зварного з'єднання між боковою стінкою товщиною 20 мм та нижньою опорною плитою товщиною 20 мм приймається одностороння підготовка кромки таврового з'єднання з повним проплавленням. Така форма розробки забезпечує надійне формування кореня шва та дозволяє виконувати багатошарове зварювання без утворення непроварів. Всі дані наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Підготовка кромки основного з'єднання відповідно до ДСТУ EN ISO 9692-1 [7]

№ шову	Тип з'єднання	Форма підготовки кромки	Характер виконання шва	Підготовлені кромки	Виконаний шов	Товщина зварювальних деталей, мм	Умовне позначення зварного з'єднання
№1	Таврове	Без скосу кромки	Одностороннє			≥ 20	3.1.1
№3	Таврове	Без скосу кромки	Одностороннє			≥ 20	3.1.1

Для приварювання верхніх опорних накладок до бокових стінок застосовуються кутові шви без попередньої підготовки кромки. Товщина елементів та характер навантаження дозволяють забезпечити необхідну несучу здатність з'єднання за рахунок правильно обраного катета шва.

Аналогічне рішення приймається для приварювання внутрішніх монтажних плит, ребер жорсткості та розпорок. Використання кутових швів без скосу кромки дозволяє зменшити трудомісткість підготовчих операцій та скоротити тривалість виробничого циклу без погіршення експлуатаційних характеристик конструкції.

З метою обмеження зварювальних деформацій зварювання елементів рами необхідно виконувати за раціональною послідовністю, дотримуючись принципу симетричного накладання швів відносно поздовжньої осі конструкції. Особливо важливим це є під час виконання протяжних швів між боковими стінками та опорною плитою.

Більшість зварних з'єднань конструкції виконується у положенні РВ згідно з вимогами ISO 6947 [6], що забезпечує зручність роботи зварника та високу якість формування швів. Якість усіх зварних з'єднань повинна відповідати рівню С за ISO 5817 [5].

Таким чином, для конструкції рами прийнято раціональне поєднання таврових з'єднань з повним проплавленням для відповідальних силових вузлів та кутових швів без підготовки кромки для допоміжних елементів. Обране конструктивне рішення забезпечує необхідну міцність виробу, технологічність виготовлення та економічну ефективність виробництва.

1.9 Розрахунок режимів для зварювання

Таким чином, для виготовлення рами приймається поєднання стикових і кутових швів, яке забезпечує необхідну міцність, жорсткість і технологічність конструкції. Основний обсяг робіт припадає на кутові шви, тоді як стикові застосовуються у відповідальних вузлах для передачі навантажень. При зварюванні кутових швів діаметр електродного дроту обирається залежно від товщини металу по (табл. 1.7).

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.7 – Вибір діаметра електродного дроту для зварювання кутових швів

Товщина металу, мм	Форма підготовки крайок	Катет шва, мм	Зазор у стику,	Діаметр електрод. дроту, мм	Число проходів «п»
0, 8-1,0	Кутове без оброблення крайок	1	1	0, 5-1,0	1
1, 5-2,0		2-3	1	0, 8-1,2	1
3, 0-4,0		3-6	1	1,2	1
4, 0-5,0		5-6	1	1,2	2
				1,6	1
5, 0-6,0		5-6	1	2,0	1
7, 0-8,0		6-9	1	2,0	2
9, 0-10,0		9-11	1	2,0	2
11, 0-13,0		11-14	1	2,0	3
14, 0-16,0		13-16	1	2,0	5
			1	2,5	4
17, 0-20,		20-22	1,5	2,0	9
				2,5	8
21, 0-28,0		24-27	1,5	2,0	12
				3,0	9

Очевидно, що при виготовленні виробу використовуємо автоматичне зварювання, тому що воно має велику продуктивність та зменшує час на виробництво виробу. Тип виробництва – серійне (50 шт). Згідно літературних даних [8] обираємо режими зварювання згідно таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Орієнтовні дані для підбору режиму зварювання

Товщина металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Витрата газу, л/хв
0,5...1,5	0,6	40...100	16...20	3...5
0,8...2,5	0,8	50...180	17...25	5...7
1,0...4,0	1	60...250	18...28	7...9
1,5...8,0	1,2	70...350	18...32	9...12
2,0...20	1,6	100...500	20...36	12...15

Розрахунок режимів зварювання з'єднання (шов № 1)

Визначення параметрів режиму механізованого зварювання в середовищі активних газів включає розрахунок наступних показників:

1. Діаметр зварювального дроту $d_{ед}$.
2. Зварювальний струм $I_{зв}$.
3. Напруга зварювання $U_{зв}$.

4. Швидкість зварювання $V_{зв}$.
5. Виліт зварювального дроту l_v .
6. Швидкість подачі електродного дроту $V_{под}$.
7. Загальна кількість проходів $n_{пр}$.
8. Витрати захисного газу.

Розрахуємо площу наплавленого металу, виходячи з параметрів контрольного вузла:

1. Товщина з'єднуваних елементів: $S_1 = 20$ мм та $S_2 = 30$ мм.
2. Зазор: $b = 0 \dots 2$ мм.
3. Катет шва k .

Згідно з нормативними настановами (ДСТУ-Н Б А.3.1-16:2013 [11]), при зварюванні металів різних товщин співвідношення розмірів катетів швів слід приймати переважно 1:1. При цьому катет шва, що примикає до більш тонкого елемента ($S_1 = 20$ мм), повинен бути не більше 1,2 його товщини.

Таврове з'єднання шва №1 виконується з підготовкою кромок 3.1.1 відповідно до ДСТУ ISO 9692-1 [7].

Розрахунок ведемо по площі наплавленого металу.

Тоді згідно з формулою визначення площі наплавленого металу

$$F_H = \frac{S^2}{2} + 1,1 * S$$

$$F_H = 222 \text{ мм}^2$$

Для товщини 20 мм та забезпечення дрібнозернистої структури шва приймаємо $n=12$ проходів.

Площа на один прохід:

$$F_1 = F_H / n = 222 / 12 = 18.5 \text{ мм}^2$$

Заючи значення площі наплавленого металу, розрахуємо режими зварювання. Знайдемо діаметр електродного дроту за формулою:

Діаметр електродної проволоки кожного проходу $d_{еді}$:

$$d_{еді} = K_d * F_{ні}^{0.625}$$

K_d - коефіцієнт що залежить від положення зварювання та від рівня автоматизації . $K_d=(0.184...0.326)$

Виконаємо в один прохід.

$$d_{ед} = (0.184 ... 0.326) * 18.5^{0.625} = (0.184 ... 0.326) * 4.21 = (1.14 ... 2.02) \text{ мм}$$

Обираємо дроти з стандартного ряду : $d_{ед} = 1.2 \text{ мм}$

Швидкість зварювання $V_з$:

$$V_з = \frac{15.9 * d_{еді}^2 + 67.4 * d_{еді}^{1.5}}{F_{н}} = \frac{15.9 * 1.2^2 + 67.4 * 1.2^{1.5}}{18.5} = 6.03 \text{ мм/с}$$

Швидкість подачі електродного дроту $V_{еп}$:

$$V_{еді} = \frac{4 * F_{ні*} * V_{зі}}{\pi d_{еді}^2 (1 - \varphi_p)}$$

Розрахуємо швидкість подачі електродного дроту для кореневого та заповнюючого швів:

$$V_{еді} = \frac{4 * F_{н*} * V_з}{\pi d_{ед}^2 (1 - \varphi_p)} = \frac{4 * 18.5 * 9.29}{\pi * 1.2 * 0.9} = 109.6 \text{ мм/с}$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зварювальний струм I_3 :

$$I_{3i}^{(+)} = d_{\text{еді}} \left(\sqrt{1450 * d_{\text{еді}} V_{\text{епі}} + 145150} - 382 \right)$$

Розрахуємо струм швів:

$$\begin{aligned} I_3^{(+)} &= d_{\text{ед}} \left(\sqrt{1450 * d_{\text{ед}} V_{\text{еп}} + 145150} - 382 \right) \\ &= 1,2 \left(\sqrt{1450 * 1,2 * 109,6 + 145150} - 382 \right) = 237 \text{ A} \end{aligned}$$

Напруга зварювання U_3 :

Імперичний вираз дозволяє вирахувати напругу. Вона залежить від діаметра і вильоту дроту:

$$U_{3i} = 14 + 0,05 I_{3i}$$

Розрахуємо струм для кореневого та заповнюючого швів:

$$U_{3к} = 14 + 0,05 I_3 = 14 + 0,05 * 275,6 = 25,85 \text{ В}$$

Розхід захисного газу $q_{\text{рг}}$:

$$q_{\text{ргі}} = 3,3 * 10^{-3} * I_{3i}^{0,75}$$

Розрахуємо витрати газу для кореневого та заповнюючого швів:

$$q_{\text{рг}} = 3,3 * 10^{-3} * I_{3к}^{0,75} = 3,3 * 10^{-3} * 237^{0,75} \approx 0,2 \frac{\text{л}}{\text{с}} \approx 12 \text{ л / хв}$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк.. 36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок режимів зварювання шва №4

Шов №4 призначений для приварювання ребра жорсткості товщиною 20 мм до бокової стінки рами. Згідно з формулою визначення площі наплавленого металу.

$$F_H = \frac{S^2}{2} + 1,1 * S$$

$$F_H = 222 \text{ мм}^2$$

Для товщини 20 мм та забезпечення дрібнозернистої структури шва приймаємо $n=12$ проходів.

Площа на один прохід:

$$F_1 = F_H / n = 222 / 12 = 18.5 \text{ мм}^2$$

Заючи значення площі наплавленого металу, розрахуємо режими зварювання. Діаметр електродної проволоки кожного проходу $d_{еді}$:

$$d_{еді} = K_d * F_{H1}^{0.625}$$

K_d - коефіцієнт що залежить від положення зварювання та від рівня автоматизації . $K_d=(0.184...0.326)$

Виконаємо в один прохід.

$$d_{ед} = (0.184 \dots 0.326) * 18.5^{0.625} = (0.184 \dots 0.326) * 4.21 = (1.14 \dots 2.02) \text{ мм}$$

Обираємо дроти з стандартного ряду : $d_{ед} = 1.2 \text{ мм}$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість зварювання V_3 :

$$V_3 = \frac{15.9 * d_{еді}^2 + 67.4 * d_{еді}^{1.5}}{F_H} = \frac{15.9 * 1,2^2 + 67.4 * 1,2^{1.5}}{18.5} = 6.03 \text{ мм/с}$$

Швидкість подачі електродного дроту $V_{еп}$:

$$V_{еді} = \frac{4 * F_{ні*} * V_{зі}}{\pi d_{еді}^2 (1 - \varphi_p)}$$

Розрахуємо швидкість подачі електродного дроту для кореневого та заповнюючого швів:

$$V_{еді} = \frac{4 * F_{H*} * V_3}{\pi d_{ед}^2 (1 - \varphi_p)} = \frac{4 * 18.5 * 9.29}{\pi * 1,2 * 0,9} = 109.6 \text{ мм/с}$$

Зварювальний струм I_3 :

$$I_{зі}^{(+)} = d_{еді} \left(\sqrt{1450 * d_{еді} V_{епі} + 145150} - 382 \right)$$

Розрахуємо струм швів:

$$\begin{aligned} I_3^{(+)} &= d_{ед} \left(\sqrt{1450 * d_{ед} V_{еп} + 145150} - 382 \right) \\ &= 1,2 \left(\sqrt{1450 * 1,2 * 109.6 + 145150} - 382 \right) = 237 \text{ А} \end{aligned}$$

Імперичний вираз дозволяє вирахувати напругу. Вона залежить від діаметра і вильоту дроту:

$$U_{зі} = 14 + 0.05 I_{зі}$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо струм для кореневого та заповнючого швів:

$$U_{зк} = 14 + 0,05I_3 = 14 + 0,05 * 275,6 = 25.85 \text{ В}$$

Розхід захисного газу $q_{рг}$:

$$q_{рг} = 3.3 * 10^{-3} * I_{зк}^{0.75}$$

Розрахуємо витрати газу для кореневого та заповнючого швів:

$$q_{рг} = 3.3 * 10^{-3} * I_{зк}^{0.75} = 3.3 * 10^{-3} * 237^{0.75} \approx 0.2 \frac{\text{л}}{\text{с}} \approx 12 \text{ л /хв}$$

Розрахункові режими зварювання для швів №1, 4 наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 - Розрахункові режими зварювання для швів №1, 4

Шов	d, мм	I, А	U, В	Vзв, м/год	Vпод, м/хв	Газ
№1	1,2	280	28	12,4	8,5	M21-C
№4	1,2	280	28	12,4	8,5	M21-C

Для швів №1, 4 обрано одностороннє таврове з'єднання 3.1.1 згідно з міжнародним стандартом ISO 9692-1:2014 [7]. Такий вибір обумовлений задовільною комбінацією міцності з'єднання і технологічності виготовлення конструкції.

1.10 Опис технологічного процесу виготовлення рами

Технологічний процес виготовлення рами передбачає послідовне виконання операцій підготовки деталей, складання, зварювання та контролю якості готової конструкції. Організація процесу повинна забезпечувати отримання виробу із заданими геометричними параметрами, необхідною міцністю зварних з'єднань та мінімальним рівнем залишкових деформацій [12].

Виготовлення рами розпочинається з підготовки деталей. Заготовки отримують із листового прокату зі сталі S275JR шляхом механічного або термічного різання відповідно до вимог конструкторської документації. Після різання виконується очищення поверхонь від окалини, продуктів корозії та інших забруднень, що можуть негативно впливати на якість зварних з'єднань. Особлива увага приділяється підготовці кромek деталей, які утворюють відповідальні силові вузли з повним проплавленням.

Після завершення підготовчих операцій здійснюється контроль геометричних розмірів заготовок та якості підготовки кромek. Деталі, що відповідають вимогам креслення, передаються на складально-зварювальну дільницю.

Складання виробу виконується на спеціалізованій складально-зварювальній оснастці. Базовим елементом конструкції є нижня опорна плита, відносно якої здійснюється встановлення всіх інших деталей. Спочатку на плиті розміщуються та фіксуються бокові несучі стінки, які формують основний силовий контур виробу. Після перевірки взаємного розташування деталей виконуються прихватки, що забезпечують збереження геометрії конструкції під час подальшого зварювання.

Наступним етапом є встановлення внутрішніх монтажних плит і розпорок. Дані елементи забезпечують необхідну просторову жорсткість конструкції та підвищують її опір деформаціям. Після завершення складання внутрішніх вузлів проводиться контроль основних розмірів, взаємної перпендикулярності та симетричності розташування елементів.

Після формування базового каркаса встановлюються верхні опорні накладки. Точність їх розташування має важливе значення, оскільки в процесі експлуатації вони використовуються як опорні поверхні для встановлення обладнання або окремих вузлів конструкції.

Завершальним етапом складання є монтаж ребер жорсткості. Ребра встановлюються після виконання основних складальних операцій, що дозволяє забезпечити вільний доступ до зон зварювання та спрощує контроль

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

геометричних параметрів виробу. Їх призначення полягає у підвищенні загальної жорсткості рами та зменшенні рівня деформацій під дією експлуатаційних навантажень.

Зварювання конструкції здійснюється механізованим способом у середовищі захисного газу M21-C із використанням суцільного дроту G 42 4 M21 3Si1 діаметром 1,2 мм. Для відповідальних з'єднань між боковими стінками та нижньою опорною плитою застосовується багатошарове зварювання з повним проплавленням перерізу. Зварювання допоміжних елементів виконується кутовими швами відповідно до вимог робочого креслення.

З метою зменшення зварювальних деформацій шви накладаються за раціональною послідовністю, а зварювання симетричних елементів виконується почергово відносно поздовжньої осі конструкції. Такий підхід дозволяє забезпечити рівномірний розподіл тепловкладення та знизити величину залишкових напружень.

Після завершення зварювальних робіт виконується очищення конструкції від бризок металу та продуктів зварювання. Далі здійснюється контроль якості, який включає перевірку геометричних розмірів виробу, візуально-вимірювальний контроль зварних швів та оцінку відповідності конструкції вимогам технічної документації. Якість зварних з'єднань повинна відповідати рівню С згідно з ISO 5817 [5].

Після позитивного висновку технічного контролю готова рама передається на наступні виробничі операції або відвантажується замовнику.

На основі розглянутої послідовності операцій формується маршрутна технологічна схема виготовлення рами, яка відображає взаємозв'язок між окремими етапами виробництва та забезпечує раціональну організацію технологічного процесу (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Технологічна блок схема операцій виготовлення рами

1.11 Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки

Якість зварної конструкції визначається не лише правильно обраним способом зварювання та режимами його виконання, а й точністю взаємного розташування деталей на етапі складання. Навіть незначні відхилення положення окремих елементів можуть призвести до порушення геометрії виробу, виникнення додаткових внутрішніх напружень та ускладнення подальшого монтажу конструкції. Саме тому під час виготовлення відповідальних металоконструкцій важливу роль відіграє застосування спеціальних складально-зварювальних пристроїв.

Розроблювана рама являє собою просторову металоконструкцію, що складається з масивної нижньої опорної плити, бокових несучих стінок, внутрішніх монтажних плит, верхніх опорних накладок, розпорок та ребер жорсткості. Значна маса виробу, наявність великої кількості таврових з'єднань та необхідність забезпечення точності взаємного розташування деталей ускладнюють виконання складальних операцій без використання спеціальних засобів базування та закріплення.

Особливістю даної конструкції є наявність протяжних зварних швів між боковими стінками та нижньою опорною плитою. У процесі зварювання таких вузлів виникають значні температурні деформації, які можуть спричинити зміщення деталей та порушення геометрії рами. Для компенсації впливу теплових деформацій необхідно забезпечити надійну фіксацію елементів конструкції протягом усього циклу складання та зварювання.

Виробнича програма становить 150 рам на рік, що відповідає серійному типу виробництва. За таких умов застосування лише універсальних складальних пристроїв не завжди забезпечує необхідну продуктивність та стабільність якості. Використання спеціальної складально-зварювальної оснастки дозволяє скоротити тривалість підготовчо-завершальних операцій, зменшити трудомісткість складання та підвищити повторюваність геометричних параметрів виробу.

Основними функціями оснастки при виготовленні рами є:

- базування нижньої опорної плити відносно координатних поверхонь пристрою;
- забезпечення точного взаємного розташування бокових несучих стінок;
- фіксація внутрішніх монтажних плит та розпорок під час виконання прихваток;
- запобігання зміщенню елементів під дією зварювальних деформацій;
- забезпечення доступу до зон виконання зварних швів;
- скорочення часу на складання та контроль конструкції.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування спеціальної складально-зварювальної оснастки дозволяє значною мірою знизити вплив людського фактора на процес виготовлення виробу. При цьому підвищується стабільність якості зварних з'єднань, зменшується кількість виправлень після зварювання та знижується ймовірність виникнення браку через порушення геометрії конструкції.

Важливою перевагою використання спеціального пристрою є можливість виконання більшості складальних операцій без додаткових вимірювань і розмітки. Базування деталей здійснюється за допомогою постійних опорних та напрямних елементів пристрою, що забезпечує високу повторюваність результатів при виготовленні кожного виробу.

Таким чином, аналіз конструкції рами, умов її виготовлення та виробничої програми показує доцільність розроблення спеціальної складально-зварювальної оснастки. Використання такого пристрою дозволить забезпечити необхідну точність складання, зменшити вплив зварювальних деформацій, підвищити продуктивність праці та створити умови для стабільного виготовлення виробів заданої якості в умовах серійного виробництва.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ

2.1 Технічні вимоги до складально-зварювальної оснастки

Складально-зварювальна оснастка призначена для забезпечення точного взаємного розташування елементів рами під час виконання складальних операцій, прихвачування та подальшого зварювання. Від правильності базування та надійності фіксації деталей безпосередньо залежить точність геометричних параметрів виробу, якість зварних з'єднань та трудомісткість виготовлення конструкції.

Розроблювана рама являє собою просторову зварну конструкцію, до складу якої входять нижня опорна плита, бокові несучі стінки, внутрішні монтажні плити, розпорки, верхні опорні накладки та ребра жорсткості. Загальна маса виробу становить близько 630 кг, що висуває підвищені вимоги до жорсткості та надійності складально-зварювального пристрою.

Основною вимогою до оснастки є забезпечення стабільного базування нижньої опорної плити, яка виступає головною технологічною базою під час складання виробу. Конструкція пристрою повинна виключати можливість зміщення плити в поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках під дією власної ваги деталей та зварювальних деформацій.

Не менш важливим завданням є забезпечення точного встановлення бокових несучих стінок відносно базової плити. Оснастка повинна гарантувати витримування заданих розмірів між стінками, їх паралельність та перпендикулярність до базової поверхні. Відхилення положення цих елементів безпосередньо впливають на точність монтажу внутрішніх вузлів і загальну геометрію рами.

Під час виконання зварювання між боковими стінками та нижньою плитою утворюються значні температурні напруження, здатні викликати короблення конструкції. У зв'язку з цим оснастка повинна забезпечувати надійне утримання деталей протягом усього циклу зварювання та обмежувати їх переміщення під дією теплових деформацій. При цьому сили закріплення повинні бути

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

достатніми для утримання деталей, але не викликати місцевих пластичних деформацій або пошкодження поверхонь.

Конструкція пристрою повинна забезпечувати вільний доступ до всіх зон виконання зварних швів. Особливо це стосується основних таврових з'єднань між опорною плитою та боковими стінками, а також місць встановлення ребер жорсткості та внутрішніх монтажних плит. Розташування елементів оснастки не повинно обмежувати переміщення зварювального пальника або ускладнювати виконання багатопрохідного зварювання.

Враховуючи серійний характер виробництва (150 виробів на рік), доцільним є застосування спеціалізованої складально-зварювальної оснастки. Використання такого пристрою дозволяє скоротити тривалість складальних операцій, підвищити повторюваність геометричних параметрів виробу та знизити вплив кваліфікації виконавця на кінцевий результат.

З метою спрощення експлуатації конструкція оснастки повинна передбачати можливість швидкого встановлення та зняття деталей, мінімальну кількість переналагоджень та використання стандартних затискних елементів. Бажано також передбачити регульовальні вузли для компенсації допустимих відхилень розмірів заготовок після різання.

Матеріал основних елементів пристрою повинен забезпечувати необхідну жорсткість і зносостійкість при тривалій експлуатації. Опорні поверхні та базувальні елементи повинні зберігати точність взаємного розташування протягом усього терміну служби оснастки.

Таким чином, розроблювана складально-зварювальна оснастка повинна забезпечувати точне базування та надійне закріплення елементів рами, створювати умови для виконання зварювання з мінімальними деформаціями, забезпечувати вільний доступ до зон зварювання та сприяти підвищенню продуктивності праці в умовах серійного виробництва.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Вибір технологічних баз

Одним із найважливіших етапів проєктування складально-зварювальної оснастки є вибір технологічних баз та розроблення схеми базування виробу. Правильно обрана схема базування забезпечує необхідну точність взаємного розташування деталей, зменшує трудомісткість складальних операцій та сприяє підвищенню стабільності якості зварної конструкції.

Конструкція рами складається з нижньої опорної плити, двох бокових несучих стінок, внутрішніх монтажних плит, розпорок, верхніх опорних накладок та ребер жорсткості. Основною вимогою до складально-зварювальної оснастки є забезпечення постійного взаємного розташування бокових стінок відносно базової плити під час виконання прихваток та зварювання.

Під час розроблення схеми базування використано класичний принцип повного усунення шести ступенів вільності заготовки.

Основною технологічною базою прийнято нижню поверхню опорної плити рами. Базування здійснюється на трьох опорних елементах (позиції 1, 2 та 3 на схемі), які утворюють установчу площину пристрою. Таке базування усуває переміщення виробу вздовж вертикальної осі та виключає можливість його повороту відносно поздовжньої і поперечної осей.

Для усунення переміщення конструкції у поперечному напрямку використовуються бокові упори 7 та 8. Дані елементи контактують із зовнішніми поверхнями бокових стінок і забезпечують правильне розташування виробу відносно осі складально-зварювального пристрою.

Положення бокових несучих стінок контролюється за допомогою внутрішніх напрямних упорів 9 та 10. Використання даних елементів дозволяє витримувати необхідну відстань між стінками та забезпечує їх паралельність під час складання конструкції.

Додаткове позиціонування внутрішніх елементів конструкції здійснюється за допомогою базувальних елементів 4 та 11. Вони забезпечують правильне розташування монтажних плит і розпорок відносно основного каркаса виробу.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після встановлення всіх деталей конструкція закріплюється верхніми притискними елементами 12 та 13. Притиски створюють зусилля, достатнє для утримання деталей у процесі прихвачування та зварювання, але не викликають залишкових деформацій металу.

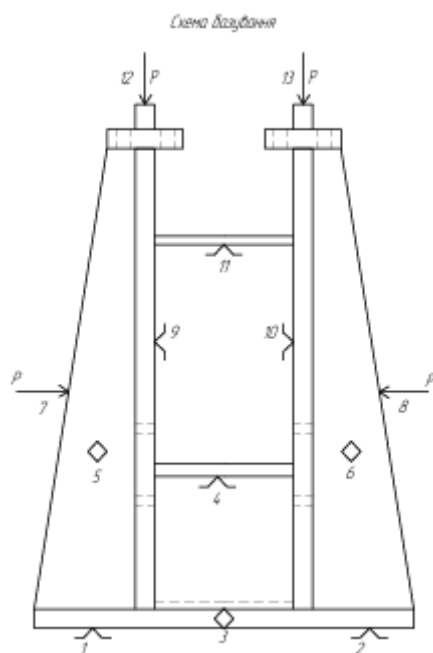


Рисунок 2.1 – Схема базування рами у складально-зварювальній оснастці

Прийнята схема забезпечує повне обмеження шести ступенів вільності виробу:

- три опорні точки 1, 2 та 3 усувають переміщення вздовж осі Z та обертання навколо осей X і Y;
- бокові упори 7 та 8 усувають переміщення вздовж осі Y;
- напрямні елементи 9 та 10 усувають переміщення вздовж осі X та забезпечують орієнтацію бокових стінок;
- притискні елементи 12 та 13 забезпечують надійне закріплення конструкції під час виконання складально-зварювальних операцій.

Під час зварювання особливу увагу необхідно приділяти послідовності накладання швів. Основні шви між боковими стінками та нижньою плитою рекомендується виконувати симетрично відносно поздовжньої осі виробу. Такий

підхід дозволяє зменшити вплив теплових деформацій і забезпечити збереження геометричних параметрів рами після завершення зварювання.

Прийнята схема базування забезпечує точне взаємне розташування деталей, високу повторюваність результатів складання та створює необхідні умови для виготовлення рами в умовах серійного виробництва. Використання даної схеми дозволяє мінімізувати обсяг підгінних робіт та підвищити стабільність якості готової продукції.

2.3 Розробка принципової схеми складально-зварювального пристрою

Після вибору технологічних баз та розроблення схеми базування виробу виконується проектування складально-зварювального пристрою, призначеного для складання основного вузла рами та виконання прихваток перед зварюванням поздовжніх швів №1. Основним призначенням пристрою є забезпечення точного взаємного розташування нижньої опорної плити та бокових несучих стінок, а також запобігання їх зміщенню під дією власної ваги та зусиль, що виникають під час складання.

Основою пристрою є жорсткий зварний стіл, поверхня якого використовується як головна базова площина. На столі розташовуються опорні та установчі елементи, що забезпечують правильне положення нижньої опорної плити відносно координатних осей пристрою.

Фіксація нижньої опорної плити здійснюється за допомогою бокових та торцевих упорів. Така схема дозволяє забезпечити точне встановлення базового елемента конструкції та виключає його переміщення в горизонтальній площині. Для надійного притискання плити до поверхні стола використовуються гвинтові притискачі, які створюють необхідне зусилля закріплення та запобігають відриву або перекосу заготовки під час виконання прихваток.

Після встановлення нижньої плити на пристрої виконують монтаж бокових несучих стінок. Для забезпечення їх правильного просторового положення

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкцією пристрою передбачені вертикальні базувальні упори та бокові пневмопритискачі. Вертикальні упори забезпечують перпендикулярність стінок до поверхні опорної плити, а гвинтові притиски виключають можливість їх зміщення в поперечному напрямку.

Необхідна відстань між боковими стінками підтримується за допомогою спеціальних розпірних елементів. Розпорки встановлюються між внутрішніми поверхнями стінок і забезпечують сталість геометричних параметрів конструкції протягом усього процесу складання та прихватування. Використання розпірок також дозволяє компенсувати вплив локальних деформацій, які можуть виникати під час виконання прихваток.

Розташування затискних елементів вибрано таким чином, щоб забезпечити вільний доступ до зон виконання прихваток і не перешкоджати роботі зварника. Усі притискні пристрої винесені за межі майбутніх зварних швів, що виключає необхідність їх перестановки під час складання.

Конструкція пристрою забезпечує швидке встановлення деталей, простоту регулювання та можливість багаторазового використання в умовах серійного виробництва. При цьому досягається висока повторюваність геометричних параметрів виробу та зменшується вплив людського фактора на якість складання.

Таким чином, прийнята принципова схема складально-зварювального пристрою забезпечує точне базування нижньої опорної плити, надійну фіксацію бокових несучих стінок та створює необхідні умови для виконання прихваток перед подальшим зварюванням поздовжніх швів рами.

2.3.1 Розрахунок гвинтового притискача

Для надійної фіксації елементів рами під час складання та виконання прихваток у конструкції пристрою застосовуються гвинтові притискачі. Основним призначенням притискача є створення зусилля, достатнього для утримання бокових несучих стінок у заданому положенні та запобігання їх зміщенню під час виконання складальних операцій.

					<i>ЗВ-21.12.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо розрахункове зусилля притискання:

$$P = 3000 \text{ Н.}$$

Для закріплення деталей приймається стандартний гвинтовий притискач із метричною різьбою М16. Середній діаметр різьби:

$$d_2 = 14,7 \text{ мм.}$$

Площа небезпечного перерізу гвинта:

$$A = \pi \cdot d_2^2 / 4$$
$$A = 3,14 \cdot 14,7^2 / 4 = 169,7 \text{ мм}^2.$$

Напруження розтягу:

$$\sigma = P / A$$
$$\sigma = 3000 / 169,7 = 17,7 \text{ МПа.}$$

Матеріал гвинта – сталь 45. Допустиме напруження: $[\sigma] = 120 \text{ МПа}$.

Перевірка умови міцності:

$$\sigma \leq [\sigma]$$
$$17,7 \leq 120 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Коефіцієнт запасу міцності:

$$n = [\sigma] / \sigma$$
$$n = 120 / 17,7 = 6,8.$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для оцінки зусилля на рукоятці визначаємо крутний момент:

$$M = 0,2 \cdot P \cdot d$$

$$M = 0,2 \cdot 3000 \cdot 0,016 = 9,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При довжині рукоятки:

$$l = 150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м}.$$

Зусилля на рукоятці:

$$F_p = M/l$$

$$F_p = 9,6/0,15 = 64 \text{ Н}.$$

Отримане значення відповідає приблизно 6,5 кгс та забезпечує зручність експлуатації пристрою.

Таким чином, для закріплення елементів рами в складально-зварювальному пристрої прийнято гвинтовий притискач з різьбою М16 зі сталі 45. Проведений розрахунок підтвердив достатню міцність конструкції та можливість створення необхідного зусилля затискання.

2.4 Компонування складально-зварювального пристрою

Компонування складально-зварювального пристрою виконується на підставі розробленої принципової схеми та з урахуванням вимог до точності складання, жорсткості конструкції й забезпечення вільного доступу до зварних швів. Згідно зі структурою пояснювальної записки, компоновування передбачає раціональне розміщення базових, установчих і притискних елементів на базовій плиті з урахуванням технологічної послідовності складання та зварювання .

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основою пристрою є жорстка базова плита 2, на яке встановлюється нижня плита рами та бічні опорні елементи для встановлення вертикальних частин рами стійок. Опори розміщуються таким чином, щоб забезпечити стійке триточкове базування та виключити перекоси. Відстань між опорами вибирається з урахуванням габаритних розмірів рами та необхідності забезпечення жорсткості під час зварювання.

Бокові напрямні упори та затискачі розташовуються вздовж однієї з поздовжніх сторін пристрою та забезпечують правильне положення елементів у поперечному напрямку. Торцеві упори встановлюються з одного боку для фіксації базового розміру по довжині. Таке компонування дозволяє уникнути надлишкового обмеження та спрощує встановлення заготовок.

Затискачі та пневмопритискачі розміщуються симетрично відносно осі рами. Їх кількість і розташування визначаються з урахуванням необхідності рівномірного притискання елементів і запобігання викривленням під час зварювання. Конструкція притискачів повинна забезпечувати швидке закріплення та звільнення виробу без зміни його базового положення.

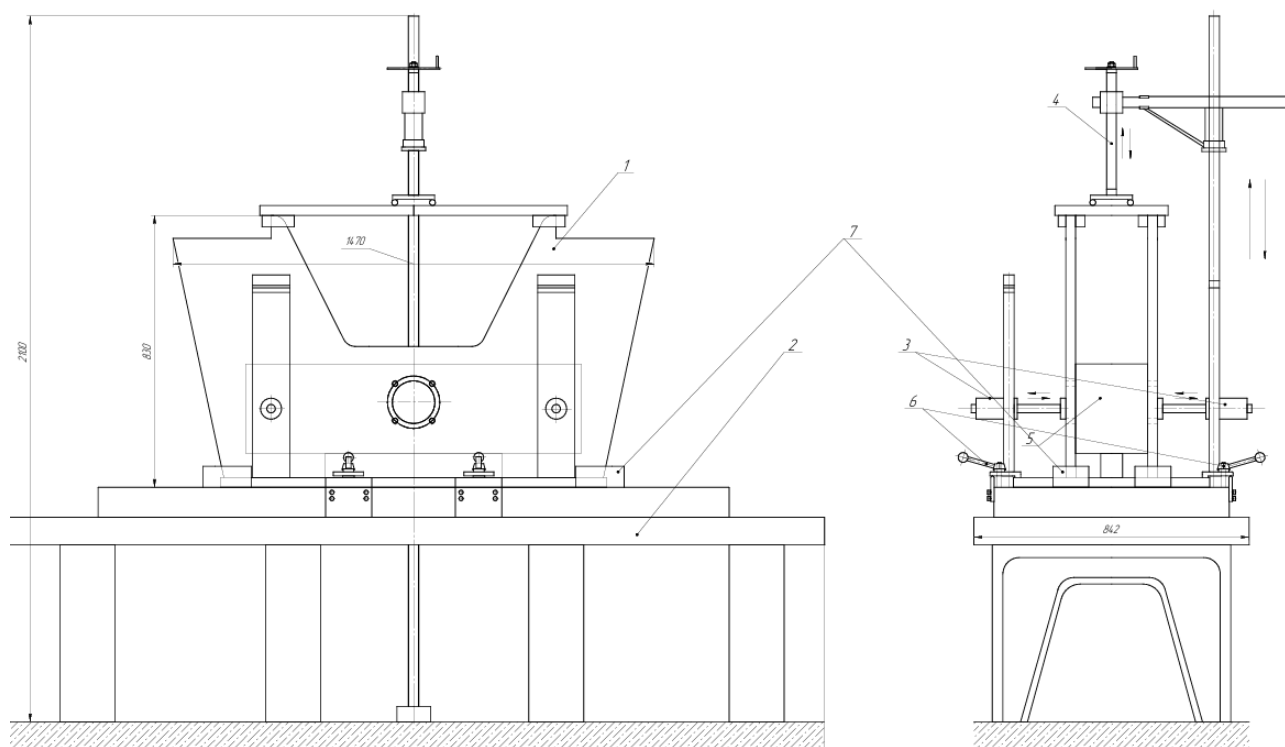
Для встановлення зварного вузла передбачено локальний фронтальний упор та бічні упори 7 і затискачі 6, а також бічні притискачі 3, в комбінації з внутрішнім розпорним елементом 5 та верхній гвинтовий притискач 4 з маховиком, які забезпечують позиціонування та стабільність положення зварного вузла під час виконання прихваток (рис. 2.2 а).

Фіксація ребер жорсткості (рис. 2.2 б) відбувається за рахунок знімних упорів з прорізами, притискних планок і вертикальних гвинтових притискачів з маховиками, що призначені для надійного притискання і фіксації ребер у вертикальній площині.

При компонуванні пристрою враховано вимогу забезпечення вільного доступу зварювального пальника до всіх швів, можливість виконання зварювання в нижньому положенні та зручність контролю геометричних параметрів. Конструкція пристрою повинна бути компактною, жорсткою та придатною для серійного виготовлення виробів.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, прийняте компонування складально-зварювального пристрою забезпечує раціональне розташування його елементів, стабільність геометричних параметрів рами під час складання та зварювання, а також відповідність вимогам методичних вказівок до проєктування оснастки (рис. 2.2).



a)

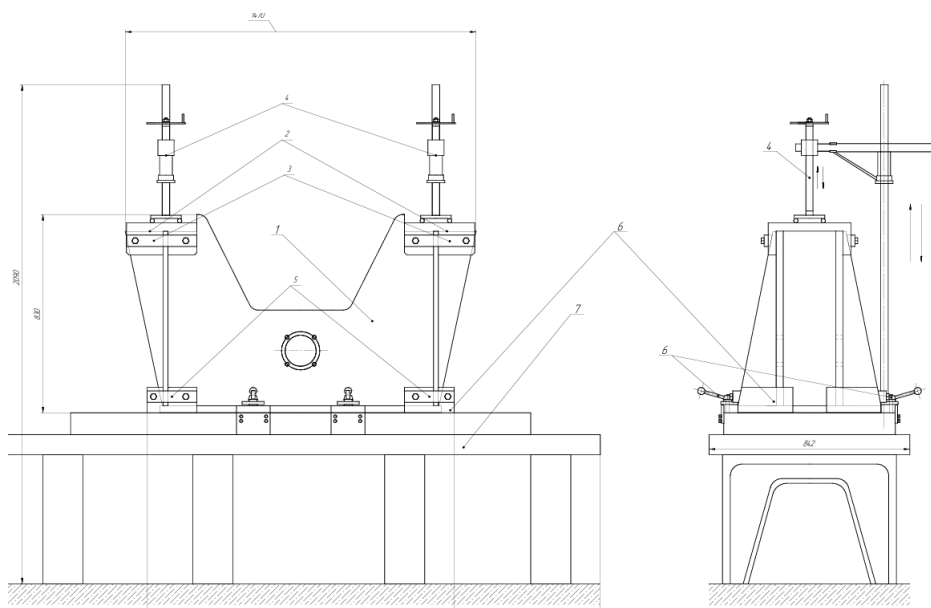


Рисунок 2.2 – Складально-зварювальний пристрій для складання стійок (а) і ребер жорсткості (б)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-21.12.00.000 ПЗ

Арк..

54

2.5 Опис роботи складально-зварювального пристрою

2.5.1 Робота пристрою для складання основного вузла рами

Робота складально-зварювального пристрою розпочинається з підготовки робочої поверхні стола та перевірки справності базувальних, упорних і затискних елементів. Перед встановленням деталей очищуються опорні поверхні пристрою та перевіряється правильність положення регульованих упорів.

Першою на базову плиту пристрою встановлюється нижня опорна плита рами. Її положення фіксується за допомогою торцевих та бічних упорів 7, після чого плита притискається до поверхні стола гвинтови притискачем 4. Така схема кріплення забезпечує сталість геометричного положення деталі та виключає її зміщення під час подальших операцій складання.

Після фіксації нижньої плити встановлюються бокові несучі стінки. Для забезпечення їх правильного просторового положення використовуються вертикальні упори та бічні пневмопритискачі 3. Положення стінок контролюється відносно базових поверхонь пристрою, що дозволяє забезпечити необхідну перпендикулярність до нижньої плити та витримати задані розміри відповідно до креслення.

Для підтримання сталої відстані між боковими стінками встановлюються внутрішні розпірні елементи 5. Розпорки забезпечують жорсткість складального вузла та запобігають зміщенню стінок під час виконання прихваток. Після остаточного регулювання положення деталей виконується їх закріплення верхніми гвинтовими притискачами.

Після завершення складання здійснюється контроль основних геометричних параметрів вузла. Перевіряються відстань між стінками, їх паралельність, перпендикулярність до базової плити та відповідність габаритних розмірів вимогам креслення. Після позитивного результату контролю виконуються прихватки у місцях майбутнього зварювання поздовжніх швів №1.

Після завершення прихвачування затискні елементи послаблюються, а зібраний вузол передається на подальше зварювання. Перед початком

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступного циклу пристрій очищується від бризок металу та перевіряється стан його робочих поверхонь.

2.5.2 Робота пристрою для складання ребер жорсткості

Пристрій для встановлення ребер жорсткості призначений для забезпечення точного положення ребер відносно бокових стінок рами перед виконанням прихваток. Конструкція пристрою дозволяє швидко встановлювати деталі та забезпечує високу повторюваність геометричних параметрів вузла.

Перед початком роботи перевіряється положення упорів і притискних елементів, після чого в пристрій встановлюється елемент рами, до якого приварюється ребро жорсткості. Базування здійснюється за допомогою установчих упорів і бічних затискачів 7, що забезпечують правильне розташування деталі відносно робочої площини пристрою.

Ребро жорсткості встановлюється між напрямними упорами 2 та 6 та притискається до базових поверхонь за допомогою притискних планок 3 і 5 і верхніх гвинтових притискачів 4. Конструкція пристрою забезпечує надійну фіксацію ребра та виключає його зміщення під час виконання прихваток.

Після встановлення ребра перевіряється його положення відносно базових поверхонь та контролюється відповідність розмірів кресленню. Особлива увага приділяється забезпеченню необхідної перпендикулярності ребра до поверхні стінки та точності його розташування по висоті.

Після завершення контролю виконуються прихватки, які забезпечують збереження положення деталей під час подальшого зварювання. Після охолодження прихваток затискні елементи послаблюються, а складений вузол знімається з пристрою та передається на наступну операцію технологічного процесу.

Застосування спеціалізованого пристрою дозволяє забезпечити високу точність встановлення ребер жорсткості, зменшити трудомісткість складальних

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

операцій та підвищити стабільність якості виготовлення рами в умовах серійного виробництва.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

3 КОМПОНУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

3.1 Обґрунтування вибору основного технологічного (зварювального) устаткування.

Для даних умов обираємо джерело живлення постійного струму, з жорсткою вольт-амперною характеристикою, так як це є необхідною умовою зварювання в $\text{Ar}+18\%\text{CO}_2$. Для зварювання на даних режимах обираю напівавтомат фірми Fronius TransPuls Synergic 5000 CMT (рис. 3.1, табл. 3.1).



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд TransPuls Synergic 5000 CMT

Обираємо цей апарат, так як він задовольняє всім вимогам, повністю підходить по режимам зварювання, та ця марка апарату є сучасна, що може забезпечити нам, більш стабільну роботу [30].

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики TransPuls Synergic 5000 CMT

Параметр	Значення
Максимальний зварювальний струм	400 А
Мінімальний зварювальний струм	3 А
Зварювальний струм / Тривалість вмикання (ПВ) [10 хв / 40 °С]	400 А / 50 %
Зварювальний струм / Тривалість вмикання (ПВ) [10 хв / 40 °С]	365 А / 60 %
Зварювальний струм / Тривалість вмикання (ПВ) [10 хв / 40 °С]	320 А / 100 %
Робоча напруга	14,2–34 В
Напруга холостого ходу	70 В
Частота мережі живлення	50–60 Гц
Напруга мережі живлення	3 × 400 В
Номинал мережевого запобіжника	35 А
Ступінь захисту оболонки	IP23

3.2 Обґрунтування необхідності вибору засобів технологічного спорядження (ЗТС) для механізації або автоматизації зварювання одного (або декількох) із зварних швів виробу

Під час виготовлення рами найбільш трудомісткою операцією є виконання поздовжніх швів між нижньою опорною плитою та боковими несучими стінками. Дані з'єднання мають значну довжину, виконуються багат шаровим способом і формують основний силовий контур конструкції. Саме від якості цих швів залежить жорсткість виробу та його подальша працездатність.

Виконання таких з'єднань звичайним механізованим зварюванням із ручним переміщенням пальника пов'язане з певними труднощами. У процесі роботи зварнику необхідно підтримувати постійну швидкість руху вздовж шва, контролювати положення пальника та стежити за формуванням зварювальної ванни. На коротких ділянках це не створює суттєвих проблем, однак при зварюванні довгих швів навіть незначні відхилення накопичуються та можуть впливати на якість з'єднання.

Особливістю розроблюваної конструкції є також значна маса виробу. Після складання рама має масу близько 630 кг, тому її багаторазове перевстановлення в процесі зварювання є незручним і потребує залучення вантажопідіймального обладнання. Крім того, частина швів у початковому положенні виробу виявляється розташованою у незручних для роботи просторових положеннях.

З урахуванням цих обставин для виконання поздовжніх швів доцільно застосувати спеціальне технологічне спорядження, яке дозволяє механізувати процес зварювання та спростити маніпулювання виробом. Для цього пропонується використати двостояковий кантувач із похилим гідравлічним домкратом та зварювальну колону, встановлену на самохідному візку.

Кантувач використовується для повороту рами навколо горизонтальної осі. Завдяки цьому шви можуть розташовуватися у нижньому або близькому до нижнього положенні, що є найбільш сприятливим для багатопрохідного MAG-зварювання. При такому розташуванні полегшується контроль за формуванням валика, покращуються умови проплавлення та зменшується ризик утворення дефектів.

Переміщення зварювального пальника здійснюється за допомогою колони, змонтованої на рейковому візку. На відміну від ручного ведення пальника, механізоване переміщення забезпечує однакову швидкість зварювання по всій довжині шва. Це особливо важливо під час виконання корневих та заповнювальних проходів, коли навіть незначна зміна швидкості може впливати на форму шва та величину проплавлення.

Використання колони також спрощує підтримання необхідного вильоту електродного дроту та положення пальника відносно осі шва. У результаті зменшується вплив суб'єктивних факторів, а якість з'єднань стає більш стабільною від виробу до виробу [11, 12].

Додатковою перевагою є скорочення допоміжного часу. Після завершення одного проходу оператору не потрібно змінювати робочу позу або

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщуватися вздовж виробу. Усі необхідні переміщення виконуються механізмами колони та візка, що позитивно впливає на продуктивність праці.

Таким чином, застосування двостоякового кантувача та зварювальної колони обумовлене особливостями конструкції рами, значною довжиною поздовжніх швів і необхідністю забезпечення стабільних умов їх виконання. Використання зазначених засобів технологічного спорядження дозволяє підвищити якість зварних з'єднань, скоротити тривалість виробничого циклу та зменшити вплив людського фактора на результати зварювання.

3.3 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок силових елементів засобів механізації та потужності приводного електродвигуна обраного обладнання

Для переміщення зварювального обладнання в просторі буде використовуватися колона із підйомною та висувною консоллю на кінці якої буде монтуватися штанга по якій буде переміщуватися зварювальна головка по всій протяжності зварних швів.

Проведемо перевірочний розрахунок [12] механізму підйому консолі по розрахунковій схемі (рис. 3.2).

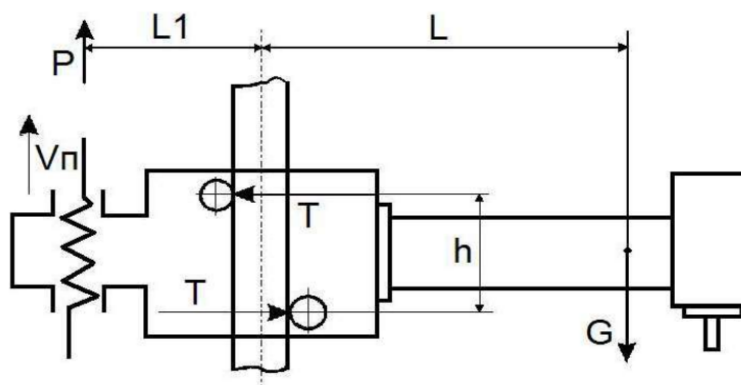


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема механізму підйому консолі [12]

Визначимо геометричні параметри механізму:

Маса консолі разом з навісним обладнанням (зварювальний апарат, флюсобункер, касета з дротом, штанга тощо):

$$m = 860 \text{ кг або вага: } G1 = 9.8 * m = 9.8 * 860 = 8428 \text{ Н.}$$

Вага консолі без обладнання: $G1.1 = 3520 \text{ Н.}$

Із конструктивних міркувань, було встановлено, що довжина L (відстань від осі колони опори консолі до точки рівноваги консолі) становить 1626 мм. Відстань $L1.1$ становить 142.5 мм. Відстань h (відстань між елементами кочення або ковзання консолі по колоні) умовно приймемо 360 мм.

Отже опорні реакції елементів кочення або ковзання:

$$T = G1 * \frac{L + L1.1}{h}$$
$$T = 8428 \frac{1626 + 142.5}{360} = 41402,55 \text{ Н}$$

Сила спротиву обертанню ролика або руху напрямній ковзання:

— для роликових напрямних:

$$Wp = 2T * \frac{fp * dp + 2\mu k}{Dp} * kp$$

— для напрямних ковзання:

$$Wk = G1 * \frac{L + L1.1}{h} * fk$$

де k_p — коефіцієнт який враховує тертя у ребордах роликів. Приймемо $k_p = 2.0$.

f_p — коефіцієнт тертя у підшипниках роликів. Приймемо $f_p = 0.015$.

μk — коефіцієнт тертя кочення роликів по поверхні рейки (напрямній).

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прийmemo 0.1.

f_k – коефіцієнт тертя ковзання. Прийmemo $f_k = 0.1$.

d_p – діаметр вісі ролика. Прийmemo 40 мм.

D_p – діаметр напрямного ролика.

Прийmemo $D_p = 100$ мм.

Тоді:

– для роликових напрямних:

$$W_p = 2T * \frac{f_p * d_p + 2\mu k}{D_p} * k_p = 2 * 41402,55 * \frac{0.015 * 40 + 2 * 0.1}{100} * 2.0 = 1324,88 \text{ Н.}$$

– для напрямних ковзання:

$$W_k = G1 * \frac{L + L1.1}{h} * f_k = 8428 * \frac{1626 + 142.5}{360} * 0.1 = 4140.25 \text{ Н.}$$

Для подальших розрахунків оберемо схему напрямних ковзання. Так як вони більш простіші в конструкції та обслуговуванні.

$$W = W_k.$$

Необхідне зусилля підйому:

$$P1.1 = W + G1$$

$$P1.1 = 4140.25 + 8428 = 12568,25 \text{ Н.}$$

Умова надійності проти заклинювання каретки:

– для напрямних ковзання:

$$\frac{h}{L + L1} > 2 * f_k * k3$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В формулі k_3 – коефіцієнт запасу $k_3 = 1.5$

$$\frac{h}{L + L_1} = \frac{360}{1626 + 142.5} = 0,203 > 2 * \frac{f_p * d_p + 2\mu k}{D_p} * k_3$$
$$= 2 * \frac{0.015 * 40 + 2 * 0.1}{100} * 1.5 = 0,024$$

Умова проти заклинювання виконується. Заклинювання виключено.

Потужність приводного двигуна визначимо, виходячи з величини підйомного зусилля:

$$N = \frac{P * V}{\eta_{пр}} = \frac{12568,25 * 0.03}{0.57} = 661.48 \text{ Вт.}$$

де $\eta_{пр} = 0,57$. Швидкість підйому приймемо $V = 0,03$ м/с.

Отже по розрахункам нам підходить двигун : АІР71А2 (0.75 кВт) [33].

Продовжуючи розрахунок колони для зварювання та маючи силу спротиву обертання ролика і зусилля підйому, розрахуємо максимальну вагу обладнання:

$$W = W_k$$

Маючи потужність обраного двигуна, розрахуємо зусилля підйому, яке здатен забезпечити обраний двигун:

$$P_{1.2} = \frac{N * \eta_{пр}}{V} = \frac{750 * 0.57}{0.03} = 14250 \text{ Н.}$$

Отже, маючи силу спротиву ковзання та зусилля підйому, яке може забезпечити двигун, розрахуємо вагу навісного обладнання разом з вагою консолі.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{2.1} = P_{1.2} - W = 14250 - 4140.25 = 10109.75 \text{ Н.}$$

Вага навісного обладнання:

$$G_{3.1} = G_{2.1} - G_{1.1} = 10109.75 - 3520 = 6589.75 \text{ Н.}$$

Відповідно маса:

$$m_{1.1} = \frac{G_3}{9.8} = \frac{6589.75}{9.8} = 672.42 \text{ кг.}$$

Розрахуємо механізм висування штанги за розрахунковою схемою (рис. 3.3) [12].

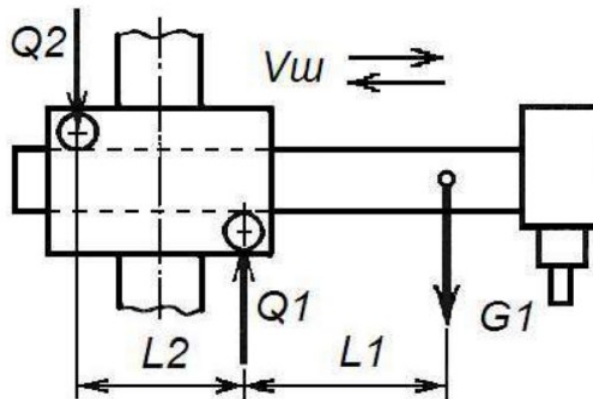


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема механізму висування штанги [12]

Із конструктивних міркувань та попереднього моделювання зварювальної колони відстань L_2 приймемо рівною 500 мм.

$$L_1 = L - \frac{L_2}{2} = 1626 - \frac{500}{2} = 1376 \text{ мм.}$$

Тоді опорні реакції в напрямних складають:

$$Q_1 = G_1 * \frac{L_1 - L_2}{L_2} = 8428 * \frac{1376 + 500}{500} = 31621.85 \text{ Н.}$$

$$Q_2 = G_1 * \frac{L_1}{L_2} = 8428 * \frac{1376}{500} = 23193.85 \text{ Н.}$$

Тоді сила спротиву переміщення штанги по напрямним:

— для роликових напрямних:

$$\begin{aligned} W_{p1} &= (Q_1 + Q_2) * \frac{f_p * d_p + 2\mu k}{D_p} * k_p \\ &= (31621.85 + 23193.85) * \frac{0.015 * 20 + 2 * 0.1}{80} * 2.0 = 685.19 \text{ Н.} \end{aligned}$$

де d_p — діаметр вісі ролика приймемо 20 мм.

D_p — діаметр напрямного ролика приймемо 80 мм.

— для напрямних ковзання:

$$W_{k1} = G_1 * \frac{2L_1 + L_2}{L_2} * f_k = 8428 * \frac{2 * 1376 + 500}{500} * 0.1 = 5481.57 \text{ Н.}$$

Як бачимо більш ефективною є схема на роликових напрямних.

$$W_1 = W_{p1}$$

Визначимо зусилля, необхідне для переміщення штанги по напрямним у період розгону. Величина прискорення обирається у межах $a = 0.01 \dots 0.15 \text{ м/с}^2$.

Приймемо: $a = 0.01 \text{ м/с}^2$.

$$W_{\text{роз}} = W_1 + G_1 * \frac{a}{9.81} = 685.19 + 8428 * \frac{0.01}{9.81} = 693.78 \text{ Н.}$$

Потужність приводного електродвигуна визначаємо, виходячи з величини потрібного зусилля в період розгону.

$$N_d = \frac{W_{роз} * V}{\eta_{пр}} = \frac{693.78 * 0.03}{0.057} = 365.14 \text{ Вт.}$$

З списку серійно виробляємих двигунів [13], обираємо той, що найбільш відповідає результату розрахунку. Обрано двигун АІР63А2 (0.37 кВт)

Визначимо максимальну відстань висування консолі L1 (мм) на роликових напрямних консолі.

Визначимо зусилля в період розгону, яке може забезпечити обраний двигун.

$$W_{роз1} = \frac{N * \eta_{пр}}{V} = \frac{370 * 0.57}{0.03} = 7030 \text{ Н.}$$

Визначимо силу спротиву для штанги:

$$W = W_{роз1} - G1 * \frac{a}{9.81} = 7030 + 8428 * \frac{0.01}{9.81} = 7038.59 \text{ Н.}$$

Визначим максимальну довжину висування штанги на роликових напрямних.

$$L_{коч} = \frac{W * L2}{2 * G1 * (\frac{fp * dp + 2 * \mu k}{Dp} * kp)} - \frac{L2}{2}$$

$$= \frac{7038.59 * 500}{2 * 8428 * (\frac{0.015 * 20 + 2 * 0.1}{80} * 2.5)} - \frac{500}{2} = 13112.29 \text{ мм.}$$

Опорні реакції:

$$Q1 = G1 * \frac{L_{коч} + L2}{L2} = 8428 * \frac{13112.29 + 500}{500} = 229448.76 \text{ Н.}$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_2 = G_1 * \frac{L_{\text{коч}}}{L_2} = 8428 * \frac{13112.29}{500} = 221020.76 \text{ Н.}$$

3.4 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС

3.4.1 Обґрунтування вибору стандартних ЗТС для переміщення зварювальних апаратів. Перевірочний розрахунок потужності приводного електродвигуна для механізмів позиціонування та пересування обладнання

Для забезпечення переміщення зварювальної колони по цеху або для переміщення консолі зі швидкістю зварювання по протяжності шва необхідно розмістити колону на візок. Для розроблюваної колони оберемо візок глгольного типу. Методика розрахунку згідно [12]. Метою розрахунку є визначення силових параметрів, що діють на візок, діаметри валів холостих та приводних коліс та потужність приводного електродвигуна.

Розрахункова схема наведена на (рис. 3.4).

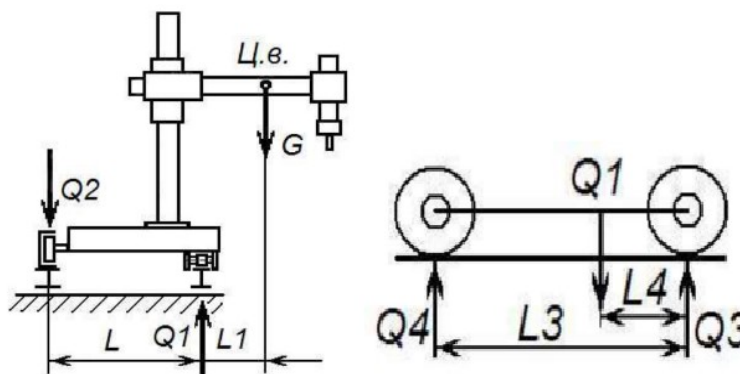


Рисунок 3.4 – Схема дії сил в глгольному візку (вид спереду та збоку) [12]

Визначимо геометричні параметри глгольного візка згідно (рис. 3.9).

Маса всієї конструкції : $m = 4358 \text{ кг.}$, отже вага $G = 9.8 * 4358 = 42708,4 \text{ Н.}$

Ширина рейкового шляху приймемо: $L = 1200 \text{ мм.}$

Відстань від рейки до центру ваги консолі: $L_1 = 1026 \text{ мм.}$

Колісна база ходових коліс з конструктивних міркувань приймемо:

$L_3 = 1800 \text{ мм.}$

Відстань до точки розташування колони на платформі: $L_4 = 1000$ мм.

Вертикальні реакції ходових коліс:

$$Q_1 = G * (L + L_1) : L = 42708,4 * (1200 + 1026) : 1200 = 79224.08 \text{ Н.}$$

$$Q_2 = G * L_1 : L = 42708,4 * 1026 : 1200 = 36515.68 \text{ Н.}$$

Реакція Q_1 буде розподілятися між приводними колесами в залежності від місця розташування колони на платформі.

$$Q_3 = Q_1 * (L_3 - L_4) : L_3 = 79224.08 * (1800 - 1000) : 1800 = 35210.7 \text{ Н.}$$

$$Q_4 = Q_1 * L_4 : L_3 = 79224.08 * 1000 : 1800 = 44013.37 \text{ Н.}$$

Для подальшого розрахунку механізму переміщення візка, необхідно визначитись з типом ходових коліс, що забезпечує характер контакту колеса з поверхнею рейки.

Обрано ходові колеса з циліндричним ободом, схеми яких представленні на (рис. 3.5).

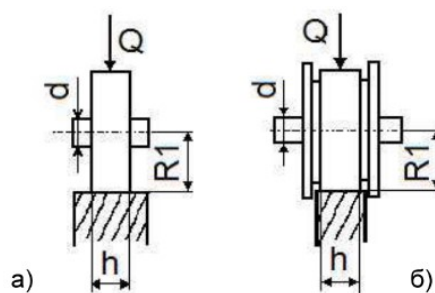


Рисунок 3.5 – Схеми ходових коліс візка де (а – холостих; б – приводних)[12]

Приймемо геометричні параметри коліс:

Радіус колеса: $R_1 = 150$ мм.

Ширина поверхні контакту колеса з рейкою: $h = 80$ мм.

На підставі аналізу опорних реакцій на приводних колесах Q3 та Q4 визначаємо, що розрахунок будемо проводити по максимальному значенню Q4 ($Q = Q4$).

Прийmemo попередньо коефіцієнти:

K_f – коефіцієнт, враховуючий вплив тангенційних сил тертя.

Прийmemo $K_f = 1.1$

K_H – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по ширині рейки.

Для лінійного контакту прийmemo: $K_H = 1.2$

P – максимальне навантаження на обод колеса.

Для нашого випадку: $P = Q4$

Приведений модуль пружності визначається в залежності від матеріалу колеса E1 та головки рейки E2.

Прийmemo:

$$E1 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

$$E2 = 1.9 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

тоді:

$$E = \frac{2 \cdot E1 \cdot E2}{E1 + E2} = \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1.9 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^5 + 1.9 \cdot 10^5} = 199500 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{л}} = 0,167 \cdot 10^{-6} \cdot K_f \cdot \sqrt{\frac{P \cdot E \cdot K_H \cdot 10^6}{R1 \cdot h \cdot 10^{-6}}} = 0,167 \cdot 10^{-6} \cdot 1.1 \cdot \sqrt{\frac{44013.37 \cdot 199500 \cdot 1.2 \cdot 10^6}{150 \cdot 80 \cdot 10^{-6}}} = 172.13 \text{ МПа.}$$

Контактні напруження не повинні перевищувати величину допустимих напружень. Прийmemo:

$$HB = 2400 \text{ МПа та}$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_d = 0.2 * HB = 0.2 * 2400 = 480.$$

Отже, σ_d МПа більше за $\sigma_{\text{л}}$. Умова виконується.

Під час визначення діаметрів валів ходових коліс умовно вісь колеса можна розглядати як двохопорну балку, яка навантажена силою у середині прольоту.

Прийmemo відстань між опорами вала холостого колеса: $L_5 = 200$ мм.

$$M_{\text{зг_х}} = \frac{Q_2 * L_5}{4} * 10^{-3} = \frac{36515.68 * 200}{4} * 10^{-3} = 1825.78 \text{ Н * м.}$$

Діаметр валу холостого колеса визначимо по величині згинального моменту, задавши величину допустимих напружень на згин.

$$\sigma_d = 80 \text{ МПа.}$$

$$dx = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{\text{зг_х}}}{\pi * \sigma_d * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 1825.78}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,061 \text{ м.}$$

Розрахунок валу приводного колеса проведемо згідно з розрахунковою схемою (рис. 3.6):

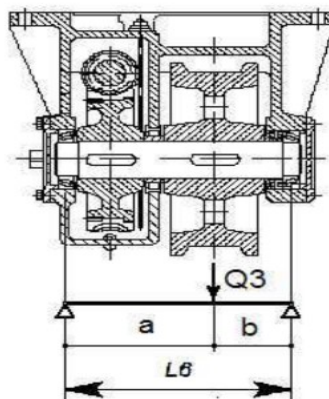


Рисунок 3.6 – Розрахункова схема приводного колеса [12]

Визначим геометричні параметри приводного колеса:

Прийmemo:

$$L_6 = 350 \text{ мм.}$$

$$a = 240$$

$$b = 110$$

$$\begin{aligned} M_{зг_пр} &= Q_4 * \frac{a * b * 10^{-3}}{a + b} = 44013.37 * \frac{240 * 110 * 10^{-3}}{240 + 110} \\ &= 3319.86 \text{ Н * м.} \end{aligned}$$

Попередньо прийmemo коефіцієнти тертя у підшипниках кочення:

$$f_p = 0.015;$$

μ_k – коефіцієнт тертя кочення колеса. Приймемо 0.3;

k_p – коефіцієнт враховуючий тертя у ребордах колеса. Приймемо 2.5

В першому наближенні знехтуємо крутним моментом.

$$M_{кр1} = 0$$

$$M_{екв} = \sqrt{M_{кр1}^2 + M_{зг_пр}^2} = \sqrt{0^2 + 3319.86^2} = 3319.86 \text{ Н * м.}$$

Діаметр валу у першому наближенні

$$d_{пр1} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{екв1}}{\pi * \sigma_D * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 3319.86}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,075 \text{ м.}$$

Прийmemo діаметри валів, а також опорні підшипники однаковими для усіх коліс. Сумарне зусилля супротиву пересування візка:

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
 WT1 &= (Q2 * \frac{d_{пр1} * f_p + 2\mu k}{2 * R1}) + K_p * (Q3 + Q4) * \frac{d_{пр1} * f_p + 2\mu k}{2 * R1} \\
 &= (36515.68 * \frac{0,075 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150}) + 2.5 * (35210.7 \\
 &+ 44013.37) * \frac{0,075 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150} = 396.94 \text{ Н.}
 \end{aligned}$$

Тоді у другому наближенні, крутний момент дорівнюватиме:

$$M_{кр2} = Wt1 * R1 * 10^{-3} = 396.94 * 150 * 10^{-3} = 59.54 \text{ Н * м.}$$

Еквівалентний момент:

$$M_{екв2} = \sqrt{M_{кр2}^2 + M_{зг_пр}^2} = \sqrt{59.54^2 + 3319.86^2} = 3320.39 \text{ Н * м.}$$

І діаметр валу у другому наближенні:

$$d_{пр2} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{екв2}}{\pi * \sigma_D * 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 3320.39}{\pi * 80 * 10^6}} = 0,075 \text{ м.}$$

Значення діаметру не змінилось. Розрахунок припиняємо.

З ряду лінійних розмірів обираємо найближчий розмір з округленням у більший бік: $d_B = 75 \text{ мм.}$

Визначаємо зусилля необхідне для пересування візка під час прискорення (розгону). $a = 0.01$

$$\begin{aligned}
 WT2 &= (Q2 * \frac{d_B * f_p + 2\mu k}{2 * R1}) + K_p * (Q3 + Q4) * \frac{d_B * f_p + 2\mu k}{2 * R1} \\
 &= (36515.68 * \frac{0,075 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150}) + 2.5 * (35210.7 \\
 &\quad + 44013.37) * \frac{0,075 * 0,015 + 2 * 0,3}{2 * 150} = 1348.81 \text{ Н.}
 \end{aligned}$$

$$W_{роз} = WT2 + G * \frac{a}{9.8} = 1348.81 + 42708,4 * \frac{0.01}{9.8} = 1392.39 \text{ Н.}$$

Виконаємо перевірку запасу зчеплення коліс з рейкою. Перевірку проведемо для сталого руху та під час розгону:

Прийmemo: $Q_{min} = Q3$;

Ψ – коефіцієнт зачеплення колеса з рейкою. Приймемо $\Psi = 0.2$.

$$K_{зч} = \frac{\Psi * Q_{min}}{WT2} = \frac{0.2 * 35210.7}{1348.81} = 5.22 > 2 \text{ Умова виконується.}$$

$$K_{зчроз} = \frac{\Psi * Q_{min}}{W_{роз}} = \frac{0.2 * 35210.7}{1392.39} = 5.05 > 2 \text{ Умова виконується.}$$

Потужність приводного двигуна визначаємо по сумарному зусиллю спротиву пересування візка:

$$N = \frac{WT2 * V}{\eta_{пр}} = \frac{1348.81 * 0.3}{0.57} = 709.9 \text{ Вт.}$$

Отже нам підходить двигун АІР71А2 (0.75 кВт) [13].

3.4.2 Розрахунок гідравлічного приводу двостоякового кантувача

Для забезпечення повороту рами під час виконання складально-зварювальних робіт застосовується двостояковий кантувач з похилим гідравлічним домкратом.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова маса виробу:

$$m_1 = 630 \text{ кг.}$$

Орієнтовна маса поворотної рами та елементів оснастки:

$$m_2 = 170 \text{ кг.}$$

Загальна маса системи:

$$m_{\Sigma} = m_1 + m_2 = 630 + 170 = 800 \text{ кг.}$$

Для врахування динамічних навантажень та забезпечення необхідного запасу надійності приймається коефіцієнт запасу:

$$k = 1,5.$$

Розрахункова маса:

$$m_p = k \cdot m_{\Sigma} = 1,5 \cdot 800 = 1200 \text{ кг.}$$

Вага поворотної системи:

$$P = m_p \cdot g$$
$$P = 1200 \cdot 9,81 = 11772 \text{ Н.}$$

Для схеми кантувача приймається плече прикладання ваги виробу:

$$L_1 = 0,60 \text{ м.}$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плече прикладання сили домкрата:

$$L_2 = 0,30 \text{ м.}$$

Умова рівноваги моментів:

$$F_{\Gamma} \cdot L_2 = P \cdot L_1$$

де F_{Γ} — необхідне зусилля гідроциліндра.

Звідси:

$$F_{\Gamma} = (P \cdot L_1) / L_2$$

$$F_{\Gamma} = (11772 \cdot 0,60) / 0,30$$

$$F_{\Gamma} = 23544 \text{ Н}$$

$$F_{\Gamma} \approx 23,5 \text{ кН.}$$

Приймаємо стандартний запас і вибираємо гідроциліндр із номінальним зусиллям: $F_{\text{пр}} = 30 \text{ кН.}$

Робочий тиск гідросистеми приймаємо: $p = 10 \text{ МПа.}$

Необхідна площа поршня:

$$A = F_{\text{пр}} / p$$

$$A = 30000 / 10000000$$

$$A = 0,003 \text{ м}^2.$$

Діаметр поршня:

$$d = \sqrt{(4A/\pi)}$$

$$d = \sqrt{(4 \cdot 0,003 / 3,14)}$$

$$d = 0,062 \text{ м} \approx 62 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартний діаметр поршня: $d = 63 \text{ мм.}$

Діаметр штока приймаємо: $d_{\text{шт}} = 36 \text{ мм.}$

Хід гідроциліндра для забезпечення повороту виробу на кут до 120° приймається: $S = 400 \text{ мм.}$

Таким чином, для приводу двостоякового кантувача може бути використаний гідроциліндр діаметром поршня 63 мм, діаметром штока 36 мм та ходом 400 мм, який забезпечує зусилля не менше 30 кН і гарантує надійне кантування виробу масою до 630 кг із необхідним запасом безпеки.

3.5 Опис роботи зварювальної установки

Для виготовлення зварної рами зі сталі S275JR (поз. 5, рис. 3.7) застосовується автоматизоване дугове зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів (процес 135 — MAG). До складу зварювальної установки входять зварювальна колона, рейковий візок для її переміщення, двостояковий кантувач з похилим гідравлічним домкратом, джерело живлення Fronius TransPuls Synergic 5000 CMT, механізм подачі електродного дроту, система подачі захисного газу та блок керування технологічним процесом.

Для виконання зварювання використовується зварювальна головка напівавтомата Fronius TransPuls Synergic 5000 CMT, встановлена на вертикальній каретці зварювальної колони. Колона змонтована на самохідному рейковому візку, який забезпечує її переміщення вздовж виробу з наперед заданою швидкістю. Таке компонування дозволяє підтримувати постійну траєкторію руху пальника та забезпечує рівномірне формування шва по всій довжині з'єднання.

Для встановлення виробу у положення, найбільш зручне для зварювання, використовується двостояковий кантувач з похилим гідравлічним домкратом

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(поз. 2, рис. 3.7.). Кантувач дозволяє повертати раму навколо горизонтальної осі та фіксувати її в необхідному положенні. Завдяки цьому основні поздовжні шви №1, а також шви приварювання ребер жорсткості №4 можуть виконуватися в нижньому або наближеному до нижнього положенні без повторного встановлення виробу та застосування додаткових вантажопідіймальних операцій.

Перед початком роботи рама встановлюється на кантувач та надійно закріплюється затискними елементами. Після цього оператор виконує налаштування обладнання відповідно до прийнятого режиму зварювання. Задаються значення зварювального струму, напруги дуги, швидкості подачі електродного дроту, швидкості переміщення зварювальної головки та витрати захисного газу.

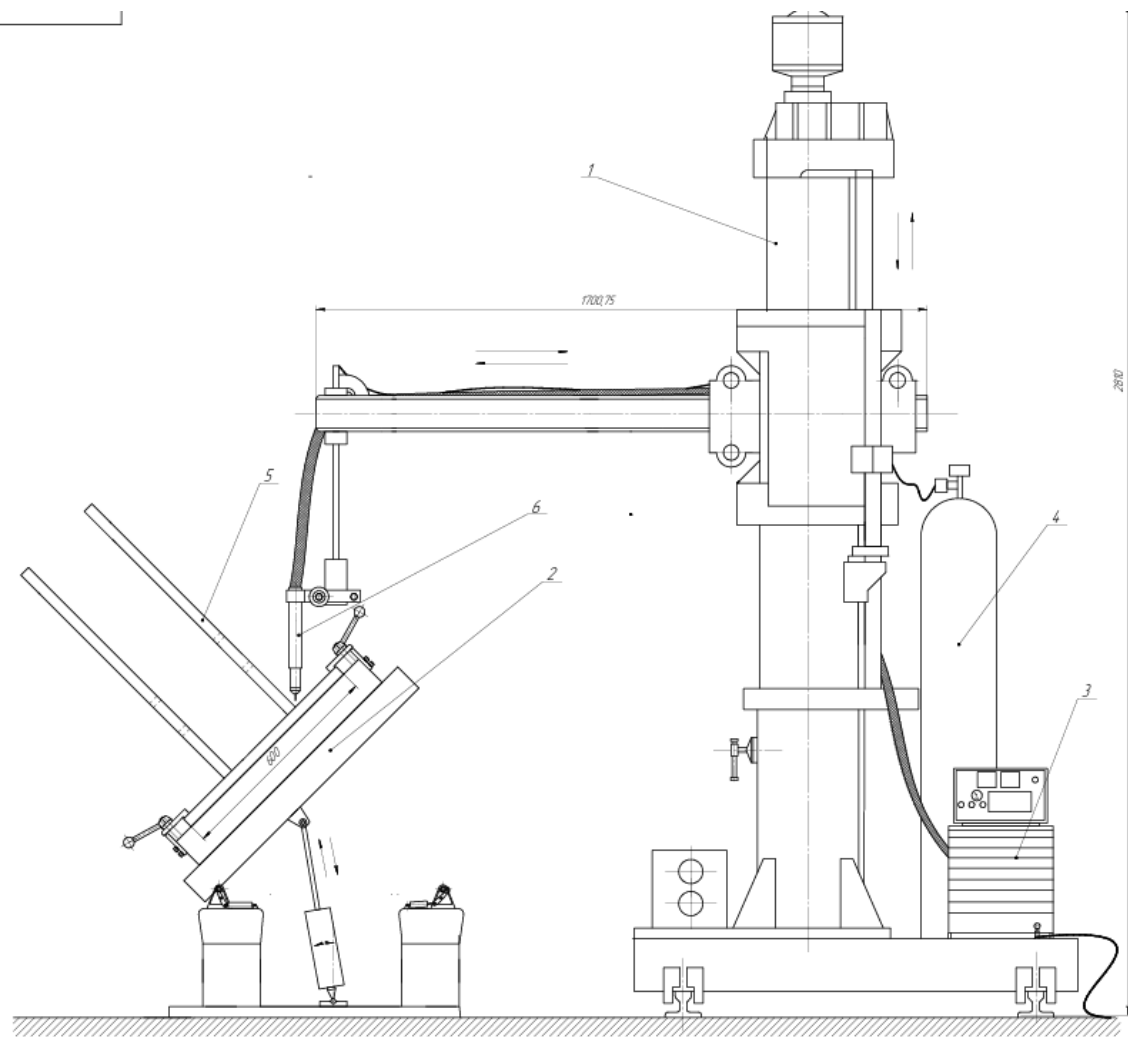


Рисунок 3.7 – Схема установки для зварювання елемента рамної конструкції

Після завершення налаштування колона встановлюється в початкове положення, а зварювальна головка орієнтується відносно осі шва. Під час виконання зварювання електродний дріт безперервно подається в зону горіння дуги, де відбувається плавлення дроту та кромки основного металу. Захисна газова суміш M21 створює локальне середовище, яке ізолює зварювальну ванну від атмосферного повітря та запобігає насиченню металу шва киснем і азотом.

Переміщення зварювальної головки вздовж виробу здійснюється автоматично за рахунок руху рейкового візка. При цьому швидкість зварювання підтримується постійною, що забезпечує рівномірність тепловкладення та стабільне формування металу шва по всій його довжині. У процесі багатопрохідного зварювання оператор виконує лише коригування положення пальника між окремими проходами та контролює параметри процесу.

Після завершення проходу подача дроту автоматично припиняється, дуга гаситься, а система продовжує короткочасну подачу захисного газу для захисту металу шва під час охолодження. Після цього кантувач може бути повернутий у наступне робоче положення для виконання чергового проходу або зварювання іншого з'єднання.

Після завершення всіх зварювальних операцій рама знімається з кантувача та направляється на ділянку контролю якості. На даному етапі виконуються очищення поверхні швів від бризок металу, візуально-вимірний контроль та перевірка відповідності геометричних параметрів виробу вимогам конструкторської документації.

Застосування двостоякового кантувача у поєднанні зі зварювальною колоною забезпечує стабільність режимів зварювання, зменшує вплив людського фактора на якість швів та створює умови для ефективного виконання довгих поздовжніх з'єднань у серійному виробництві.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6 Призначення способів контролю якості виготовлення зварного виробу

Забезпечення необхідної якості зварної рами досягається не лише дотриманням технологічних режимів зварювання, а й систематичним контролем на всіх стадіях виробництва. Для конструкції, що складається з товстолистових елементів та працює під дією статичних навантажень, особливого значення набуває контроль геометричних параметрів і стану зварних з'єднань після завершення складально-зварювальних операцій.

Контроль якості починається ще до надходження деталей на складальну дільницю. Під час вхідного контролю перевіряється відповідність основного металу вимогам конструкторської документації, наявність сертифікатів на прокат, а також відсутність механічних пошкоджень, розшарувань, тріщин і значних корозійних уражень. Окремо оцінюється стан кромки після різання та правильність їх підготовки до зварювання.

Після виготовлення заготовок виконується контроль їх геометричних розмірів. Особлива увага приділяється нижній опорній плиті та боковим несучим стінкам, які формують базові елементи конструкції. Від точності їх виготовлення безпосередньо залежить правильність подальшого складання виробу.

На етапі складання здійснюється перевірка взаємного розташування деталей у складально-зварювальних пристроях. Контролюються відстані між боковими стінками, їх перпендикулярність до нижньої плити, положення внутрішніх монтажних плит та ребер жорсткості. До початку зварювання додатково перевіряється якість прихваток і надійність фіксації деталей у пристроях.

Під час виконання зварювання проводиться операційний контроль технологічних параметрів. Перевіряються значення зварювального струму, напруги дуги, швидкості подачі дроту та витрати захисного газу. Особливий контроль здійснюється під час виконання поздовжніх швів №1, оскільки саме ці з'єднання сприймають основні навантаження в процесі експлуатації рами.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування зварювальної колони дозволяє підтримувати параметри процесу на стабільному рівні, однак їх періодична перевірка залишається обов'язковою.

Після завершення зварювання всі шви підлягають візуально-вимірному контролю відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 17637. Під час контролю перевіряється зовнішній вигляд шва, рівномірність його формування, відсутність поверхневих тріщин, підрізів, напливів, кратерів та інших дефектів. Одночасно контролюються геометричні параметри швів, зокрема ширина, висота підсилення та розміри кутових швів.

Оцінювання допустимості виявлених дефектів виконується відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 5817 [5]. Для даної конструкції приймається рівень якості С, який є типовим для відповідальних металоконструкцій загального машинобудівного призначення.

Після завершення контролю зварних швів проводиться перевірка геометрії готової рами. Контролюються загальні габаритні розміри виробу, взаємне розташування опорних поверхонь, прямолінійність бокових стінок та відхилення від площинності нижньої плити. Особлива увага приділяється контролю діагоналей конструкції, що дозволяє оцінити можливі деформації, які виникли внаслідок теплового впливу під час зварювання.

Для найбільш відповідальних поздовжніх швів №1 доцільно передбачити вибірковий ультразвуковий контроль. Застосування ультразвукового методу дозволяє виявляти внутрішні дефекти, які не можуть бути встановлені під час зовнішнього огляду, зокрема непровари, шлакові включення та внутрішні порожнини. Проведення такого контролю особливо актуальне для багатопрхідних з'єднань значної товщини.

Завершальним етапом є приймальний контроль готового виробу. На цьому етапі оцінюється відповідність рами вимогам креслення, результатам неруйнівного контролю та технологічної документації. Лише після позитивного висновку служби технічного контролю виріб допускається до подальшої експлуатації або передачі замовнику.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, контроль якості виготовлення рами включає вхідний, операційний та приймальний контроль, а також комплекс неруйнівних методів контролю зварних з'єднань. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти можливі відхилення технологічного процесу та забезпечувати стабільну якість виробів у серійному виробництві.

					<i>ЗВ-21.12.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						82
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ

4.1 Визначення типу виробництва

Проектована дільниця призначена для виготовлення важких зварних рам зі сталі S275JR методом механізованого та автоматизованого дугового зварювання плавким електродом у середовищі захисної газової суміші M21-C (Ar + 18 % CO₂). Конструкція виробу включає листові та профільні елементи, що утворюють жорстку просторову раму масою близько 630 кг.

Річна виробнича програма становить 150 виробів. За умови середньої маси однієї рами 700 кг загальний річний обсяг виробництва складає 105 т металоконструкцій. Виготовлення виробів передбачається організувати в умовах серійного виробництва із застосуванням спеціалізованої складально-зварювальної оснастки та засобів механізації зварювального процесу. Дані показники узгоджуються з прийнятими в енергетичному та організаційному розділах проєкту.

Технологічний процес виготовлення рами включає:

- підготовку заготовок;
- плазмове різання листового прокату;
- складання основного вузла рами в спеціальному пристрої;
- встановлення та прихвачування ребер жорсткості;
- автоматизоване зварювання поздовжніх швів із застосуванням зварювальної колони;
- механізоване зварювання допоміжних з'єднань;
- контроль якості зварних швів;
- зачистку та здавання готового виробу.

Для виконання зазначених операцій на дільниці передбачається встановлення такого основного обладнання:

- чотирьох зварювальних постів Fronius TPS 500i;
- плазморізної установки;
- двох складально-зварювальних пристроїв;

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- двостоякового кантувача з похилим гідравлічним приводом;
- зварювальної колони на рейковому візку;
- мостового крана вантажопідйомністю 5 т;
- вентиляційного та компресорного обладнання.

Особливістю організації виробництва є використання двостоякового кантувача та зварювальної колони для виконання найбільш протяжних поздовжніх швів №1. Таке технічне рішення дозволяє виконувати зварювання в положенні, наближеному до нижнього, зменшує трудомісткість робіт та забезпечує стабільність параметрів технологічного процесу.

Під час проектування планування ділянки необхідно забезпечити раціональне розташування технологічного обладнання, мінімальну довжину транспортних маршрутів, безпечні умови праці та можливість безперешкодного переміщення виробів між окремими робочими місцями. Особлива увага приділяється зоні автоматизованого зварювання, де розміщується комплекс із двостоякового кантувача та зварювальної колони, який є центральним елементом виробничої ділянки.

4.2 Визначення складу технологічного обладнання та робочих місць ділянки

Склад технологічного обладнання проектованої складально-зварювальної ділянки визначається на підставі конструктивних особливостей виробу, прийнятого технологічного процесу, річної програми випуску та рівня механізації виробництва. Основним завданням під час формування складу обладнання є забезпечення безперервного виконання всіх операцій технологічного маршруту – від підготовки деталей до контролю готової продукції.

Технологічний процес виготовлення рами включає операції плазмового різання заготовок, складання вузлів у спеціальних пристроях, виконання прихваток, автоматизоване та механізоване зварювання, контроль якості та

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортування виробів між робочими місцями. Для реалізації зазначених операцій передбачається використання спеціалізованого обладнання, яке забезпечує необхідну продуктивність та якість виготовлення виробів.

Підготовка деталей до складання здійснюється на дільниці плазмового різання. Для цього передбачається встановлення однієї плазморізної установки, продуктивність якої достатня для забезпечення річної програми випуску. Після виготовлення заготовки передаються на складально-зварювальну дільницю.

Складання основного вузла рами виконується у спеціальному складальному пристрої, призначеному для базування нижньої опорної плити та бокових несучих стінок. Для встановлення ребер жорсткості використовується окремий складально-зварювальний пристрій, який забезпечує точне позиціонування деталей перед виконанням прихваток. Застосування двох спеціалізованих пристроїв дозволяє підвищити точність складання та скоротити тривалість допоміжних операцій.

Основною операцією технологічного процесу є виконання поздовжніх зварних швів №1 та швів приварювання ребер жорсткості №4. Для їх виконання застосовується комплекс засобів механізації, до складу якого входять двостояковий кантувач із похилим гідравлічним приводом та зварювальна колона, встановлена на рейковому візку. Таке обладнання забезпечує можливість зварювання виробу у найбільш вигідному просторовому положенні та підтримання стабільних параметрів процесу по всій довжині шва.

Для виконання допоміжних зварних операцій передбачено використання чотирьох універсальних зварювальних постів, оснащених джерелами живлення типу Fronius TPS 5000i. Використання декількох постів дозволяє паралельно виконувати складальні та зварювальні операції, що особливо важливо в умовах серійного виробництва.

Переміщення заготовок, складальних вузлів та готових виробів між робочими місцями здійснюється за допомогою мостового крана вантажопідйомністю 5 т, що забезпечує безпечне транспортування конструкцій масою до 700 кг.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці дільниця обладнується припливно-витяжною вентиляцією та компресорною установкою для живлення пневматичного обладнання.

Склад основного технологічного обладнання наведено в таблиці 4.1.

Таким чином, прийнятий склад обладнання повністю забезпечує виконання технологічного процесу виготовлення рами відповідно до заданої виробничої програми. Використання спеціалізованих складально-зварювальних пристроїв, двостоякового кантувача та зварювальної колони дозволяє підвищити продуктивність праці, покращити умови виконання зварювальних робіт та забезпечити стабільну якість зварних з'єднань.

Таблиця 4.1 – Склад основного обладнання дільниці

Найменування обладнання	Кількість, шт.	Призначення
Плазморізна установка	1	Виготовлення заготовок
Складально-зварювальний пристрій для основного вузла рами	1	Складання нижньої плити та бокових стінок
Складально-зварювальний пристрій для ребер жорсткості	1	Встановлення та прихвачування ребер
Двостояковий кантувач з похилим гідравлічним домкратом	1	Позиціювання виробу під час зварювання
Зварювальна колона на рейковому візку	1	Автоматизоване зварювання поздовжніх швів
Зварювальний пост Fronius TPS 5000i	4	Механізоване MAG-зварювання
Мостовий кран 5 т	1	Транспортування виробів
Компресорна установка	1	Забезпечення роботи пневмосистем
Вентиляційна установка	2	Видалення зварювальних аерозолів

Таким чином, прийнятий склад обладнання повністю забезпечує виконання технологічного процесу виготовлення рами відповідно до заданої виробничої програми. Використання спеціалізованих складально-зварювальних пристроїв, двостоякового кантувача та зварювальної колони дозволяє підвищити продуктивність праці, покращити умови виконання зварювальних робіт та забезпечити стабільну якість зварних з'єднань.

4.3 Розрахунок виробничої площі складально-зварювальної дільниці та кількості працюючих

Площа складально-зварювальної дільниці визначається виходячи з габаритів технологічного обладнання, необхідних робочих зон обслуговування, транспортних проходів та вимог безпеки праці. При проектуванні планування необхідно забезпечити вільне переміщення виробів між робочими місцями, зручний доступ персоналу до обладнання та можливість роботи вантажопідіймальних механізмів.

Особливістю проектованої дільниці є виготовлення великогабаритних рамних конструкцій масою до 700 кг із застосуванням двостоякового кантувача та зварювальної колони. У зв'язку з цим значну частину площі займають зони складання, автоматизованого зварювання та міжопераційного транспортування виробів.

Розрахунок площі виконується за укрупненими нормативами шляхом визначення площі, яку займає обладнання разом із зонами його обслуговування (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Нормативи для визначення площі, яку займає обладнання

Найменування обладнання або робочого місця	Кількість	Площа одиниці, м ²	Загальна площа, м ²
Плазморізна установка	1	25	25
Пристрій для складання основного вузла рами	1	24	24
Пристрій для складання ребер жорсткості	1	12	12
Кантувач зі зварювальною колоною	1	60	60
Зварювальні пости MAG	4	16	64
Дільниця контролю та приймання виробів	1	15	15
Місця міжопераційного складування	–	–	35
Транспортні проходи та проїзди	–	–	85
Разом			320

Отримана площа є виробничою площею ділянки та становить:
 $F_{\text{вир}} = 320 \text{ м}^2$

Для забезпечення нормальних умов праці та функціонування виробництва додатково передбачаються побутові та службові приміщення. Згідно з прийнятими вихідними даними їх площа становить: $F_{\text{поб}} = 60 \text{ м}^2$

Тоді загальна площа проекрованої ділянки дорівнює:

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{вир}} + F_{\text{поб}}$$
$$F_{\text{заг}} = 320 + 60 = 380 \text{ м}^2$$

4.3.1 Визначення кількості працюючих на ділянці

Чисельність персоналу складально-зварювальної ділянки визначається виходячи з прийнятого складу технологічного обладнання, річної виробничої програми та необхідності забезпечення безперервного виконання технологічного процесу.

До складу працюючих входять основні виробничі робітники, допоміжний персонал та інженерно-технічні працівники, які забезпечують функціонування ділянки. При визначенні чисельності персоналу враховуються операції складання, зварювання, контролю якості, транспортування виробів та обслуговування технологічного обладнання.

Основну частину персоналу становлять зварники та складальники, які безпосередньо виконують технологічні операції виготовлення рам. Контролер технічного контролю здійснює вхідний, операційний та приймальний контроль якості виробів. Машиніст мостового крана забезпечує виконання транспортних операцій між окремими робочими місцями ділянки.

Для проекрованої ділянки приймається такий склад працюючих (табл. 4.3)

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3 – Чисельність працюючих на дільниці

Посада	Кількість, осіб
Електрогазозварники	4
Складальники зварних конструкцій	3
Контролер технічного контролю	1
Машиніст мостового крана	1
Майстер виробничої дільниці	1
Технолог (або механік дільниці)	1
Разом	11

Керівництво виробничим процесом здійснює майстер дільниці, а технологічний супровід та контроль технічного стану обладнання забезпечує технолог (або механік дільниці).

Таким чином, для виконання річної програми випуску 150 рам та обслуговування прийнятого складу обладнання чисельність працюючих на дільниці приймається рівною 11 особам. Прийнята чисельність узгоджується з розрахунками енергетичної та економічної частин проекту.

Отримане значення відповідає площам, прийнятим при виконанні енергетичних, організаційних та економічних розрахунків проекту. Виробнича площа забезпечує раціональне розташування обладнання, безпечне переміщення виробів та можливість обслуговування всіх робочих місць без порушення вимог охорони праці та промислової безпеки.

4.4 Основні вимоги для планування цеху

Колони одного ряду об'єднуються між собою підкроквяними фермами, які виконують функцію проміжної опори для основних несучих елементів покриття – кроквяних ферм. Останні, у свою чергу, забезпечують сприйняття вертикальних навантажень від покрівлі та їх передавання на несучі елементи каркаса будівлі.

Відстань між осями колон суміжних рядів визначає ширину прольоту виробничого цеху. Цей параметр жорстко регламентований відповідними

будівельними нормами та стандартами, і зазвичай становить 18, 24, 30 або 36 метрів залежно від типу споруди та її функціонального призначення.

Поздовжній крок колон, тобто відстань між ними в одному ряду, як правило, дорівнює 12 метрам. У виняткових випадках, з урахуванням конструктивних або технологічних особливостей, крок може бути зменшено до 6 метрів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Мінімальна ширина проходів та проїздів [14]

Визначальна відстань	Допустимі межі значень, м
Від колон, або стін будівлі до бічної сторони обладнання	1 - 3
Від колон, або стін будівлі до тильної сторони обладнання	1 - 2,5
Від колон, або стін будівлі до фронту обладнання	1 - 2,5
Між фронтом і тильною стороною обладнання	1 - 2
Між тильною і бічною сторонами обладнання	1 - 2
Між тильними сторонами обладнання	1
Між бічними сторонами обладнання	1 - 1,4
Між обладнанням розташованим фронтом одне до одного	1 - 2
Від фронту обладнання до складського місця	1 - 1,6
Між складськими місцями	1 - 1,4
Між тильною стороною обладнання і складським місцем	1
Між бічною стороною обладнання і складським місцем	1 - 1,2

При технологічному потоку переміщення вантажів необхідно виключити зустрічні та пересічні вантажопотокові операції складання та зварювання.

4.5 Визначення запасу матеріалів

Необхідний запас металу та складських площ визначається виходячи з річної виробничої програми, маси виробу та прийнятої норми зберігання матеріалів. Для проектованої дільниці передбачається виготовлення зварних рам масою близько 700 кг, при цьому маса готового виробу після зварювання становить приблизно 630 кг.

Річна виробнича програма становить 150 виробів. Загальна річна потреба в металі визначається за формулою:

$$M_p = m \cdot N,$$

де m – маса одного виробу, т;

N – річна програма випуску, шт.

Тоді:

$$M_p = 0,7 \cdot 150 = 105 \text{ т.}$$

Середньодобова витрата металу становить:

$$q_{\text{доб}} = 105 / 250 = 0,42 \text{ т/добу,}$$

де 250 – кількість робочих днів на рік.

Для безперебійної роботи дільниці приймаємо триденний запас основного металу. Тоді запас матеріалу дорівнює:

$$Q = 3 \cdot 0,42 = 1,26 \text{ т.}$$

Корисна площа складу визначається за формулою:

$$F_k = Q / g,$$

де g – допустиме навантаження на 1 м² складської площі.

Для листового та профільного прокату приймаємо:

$$g = 2 \frac{\text{т}}{\text{м}^2}$$

Тоді:

$$F_k = 1,26 / 2 = 0,63 \text{ м}^2$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одержане значення характеризує лише площу, безпосередньо зайняту металом. При проектуванні складів необхідно враховувати проходи, місця для роботи вантажопідіймальних механізмів, а також можливість розміщення довгомірних заготовок. Тому фактична площа складських зон приймається за габаритними розмірами матеріалів та виробів.

Для проектованої ділянки приймаються такі площі:

- склад металопрокату 20 м²;
- проміжний склад складальних вузлів та заготовок 15 м²;
- майданчик для готових виробів 15 м².

Загальна площа складських зон становить:

$$F_{\text{заг}} = 20 + 15 + 15 = 50 \text{ м}^2.$$

Таким чином, розраховані і прийняті значення відповідають виробничій програмі ділянки та забезпечує необхідний запас матеріалів для безперервної роботи виробництва.

4.5 Визначення необхідних вантажопідіймальних засобів, проходів та проїздів

Під час виготовлення зварних рам значна частина операцій пов'язана з переміщенням листових заготовок, складальних вузлів та готових виробів між окремими робочими місцями. Маса готової рами становить близько 630 кг, тому виконання транспортних операцій вручну є неможливим та не відповідає вимогам безпеки праці.

Основним вантажопідіймальним засобом ділянки приймається мостовий електричний кран вантажопідйомністю 5 т. Його вантажопідйомність значно

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищує масу виробу, що забезпечує необхідний запас для переміщення рам, складальних пристроїв, оснащення та пакетів металопродукату.

Використання мостового крана дозволяє виконувати подачу заготовок до складальних пристроїв, встановлення виробу на двостояковий кантувач, переміщення рами між окремими операціями та транспортування готової продукції до зони контролю. Зона обслуговування крана охоплює всю виробничу площу дільниці, що виключає необхідність застосування додаткових стаціонарних вантажопідіймальних механізмів.

Для внутрішньодільничного транспортування невеликих деталей та допоміжного оснащення передбачено використання ручних платформних візків вантажопідйомністю до 500 кг. Такі візки застосовуються для подачі ребер жорсткості, монтажних плит, кріпильних елементів та інструменту до робочих місць.

При проектуванні планування дільниці передбачаються проходи та проїзди, необхідні для безпечного переміщення працівників і транспортних засобів. Ширина основних транспортних проходів приймається не менше 2,5 м. Це забезпечує можливість безпечного транспортування великогабаритних елементів та виконання вантажопідіймальних операцій.

Допоміжні проходи між робочими місцями приймаються шириною не менше 1,5 м. Біля складально-зварювальних пристроїв, зварювальної колони та кантувача передбачаються робочі зони шириною від 1,0 м до 1,2 м для виконання складальних, контрольних та ремонтних робіт.

Особлива увага приділяється зоні розміщення двостоякового кантувача. Під час повороту рами навколо горизонтальної осі необхідно забезпечити вільний простір навколо виробу. З цією метою навколо кантувача передбачається технологічна зона шириною не менше 1,5 м від крайніх габаритів рами у всіх положеннях.

Для забезпечення безпечної експлуатації вантажопідіймального обладнання всі вантажозахоплювальні пристрої повинні проходити періодичний

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічний огляд, а виконання транспортних операцій допускається лише після перевірки справності стропів, траверс та механізмів підйому.

Таким чином, для обслуговування проектованої складально-зварювальної ділянки приймається мостовий кран вантажопідйомністю 5 т та допоміжні платформні візки. Прийняті ширини проходів і проїздів забезпечують безпечне переміщення персоналу, транспортування виробів та ефективне функціонування виробничої ділянки.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Завданням енергетичного розділу є визначення річної потреби складально-зварювальної дільниці у електроенергії та технологічних газах, необхідних для виготовлення важких зварних рам методом механізованого зварювання плавким електродом у середовищі активних газів (MAG-зварювання).

Витрати електроенергії визначаються відповідно до методики, наведеної у методичних вказівках, виходячи із встановленої потужності обладнання, фонду його роботи та коефіцієнтів завантаження й використання потужності.

Для проектованої дільниці приймаємо:

- річна програма випуску – 150 рам;
- маса однієї рами – 700 кг;
- річний випуск продукції – 105 т;
- режим роботи;
- двозмінний ефективний фонд роботи обладнання – 4015 год/рік (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування обладнання	Кількість	Потужність, кВт	Фонд часу, год	Kз	K1	K2	Витрати, кВт·год
Зварювальний пост Fronius TPS 500i	4	24	4015	0,55	0,60	0,70	44 493
Зварювальний кантувач з пох. домкратом	2	3	4015	0,40	0,30	0,70	2 024
Зварювальна колона	2	4	4015	0,40	0,30	0,70	2 699
Машина плазмового різання	1	18	4015	0,35	0,60	0,70	10 621
Мостовий кран 5 т	1	15	4015	0,20	0,30	0,70	2 529
Вентиляційні установки	2	5,5	4015	0,80	0,30	0,70	7 417
Компресор	1	11	4015	0,50	0,30	0,70	4 636
Разом							74 419

Отже, річні витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання становлять $W_{об} = 74\,419$ кВт·год.

Витрати електроенергії на освітлення визначаються відповідно до рекомендацій методичних вказівок. Для виробничих приміщень приймається питома потужність освітлення 15 Вт/м^2 , для службових та побутових приміщень – 10 Вт/м^2 .

Приймаємо:

- виробнича площа – 320 м^2 ;
- побутові та службові приміщення – 60 м^2 ;
- час роботи освітлення – 2500 год/рік (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Приміщення	Площа, м^2	q , Вт/м^2	τ , год	f	Витрати, $\text{кВт}\cdot\text{год}$
Виробнича дільниця	320	15	2500	0,8	9 600
Побутові приміщення	60	10	2500	0,7	1 050
Разом					10 650

Отже, $W_{\text{осв}} = 10\,650 \text{ кВт}\cdot\text{год}$.

Розрахунок потреби в захисному газі

Для МАГ-зварювання приймаємо середню витрату газової суміші: $Q_{\text{г}} = 18 \text{ л/хв}$

Сумарний час горіння дуги для річної програми важких рам приймаємо:
 $t = 2250 \text{ год}$

Тоді річна витрата газової суміші становить^

$$V_{\text{г}} = 18 \cdot 60 \cdot 2250 / 1000 = 2430 \text{ м}^3$$

Загальна потреба в електроенергії

$$W\Sigma = W_{\text{об}} + W_{\text{осв}} W = 74419 + 10650 = 85069 \text{ кВт}$$

Таким чином, для забезпечення роботи ділянки з виготовлення 150 важких зварних рам масою до 700 кг методом механізованого МАГ-зварювання в суміші $\text{Ar}+18\%\text{CO}_2$ необхідно передбачити річне споживання електроенергії 85069 кВт·год. Основними споживачами електроенергії є зварювальні джерела живлення, плазмова установка різання та вентиляційне обладнання. Річна потреба в захисній газовій суміші М21-С (аргон+18% CO_2) становить приблизно 2430 м³.

5.1 Організаційний розділ

Вихідні дані: річна програма випуску 150 важких зварних рам масою 700 кг кожна. Загальний річний випуск становить 105 т металоконструкцій. Виробництво здійснюється методом механізованого МАГ-зварювання в суміші $\text{Ar}+18\%\text{CO}_2$ у двозмінному режимі роботи.

5.1.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників

Чисельність виробничого персоналу складально-зварювальної ділянки визначається відповідно до виробничої програми, трудомісткості виготовлення продукції та ефективного фонду робочого часу одного працівника.

Річна програма випуску становить: $N = 150$ шт./рік.

Маса однієї рами: $m = 700$ кг.

Річний обсяг виготовлення продукції:

$$Q = N \cdot m = 150 \cdot 700 = 105000 \text{ кг} = 105 \text{ т/рік.}$$

Для виготовлення однієї рами приймається трудомісткість $t = 32$ люд.-год.

Річна трудомісткість виробничої програми:

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_p = t \cdot N = 32 \cdot 150 = 4800 \text{ люд.} - \text{год.}$$

Ефективний фонд часу одного працівника:

$$F_{\text{еф}} = 1672 \text{ год.}$$

Коефіцієнт виконання норм: $K_{\text{вн}} = 1,1$.

Розрахункова чисельність основних виробничих робітників:

$$Ч_{\text{осн}} = T_p / (F_{\text{еф}} \cdot K_{\text{вн}}) = 4800 / (1672 \cdot 1,1) = 2,61 \text{ особи.}$$

Для визначення облікової чисельності використовується коефіцієнт переведення: $К_{\text{обл}} = 100 / (100 - 10,6) = 1,12$. Результати розрахунку чисельності наведено в таблиці 5.3.

$$К_{\text{обл}} = 100 / (100 - 10,6) = 1,12.$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3 – Чисельність основних і допоміжних робітників дільниці

Професія, спеціальність	Розряд	1 зміна	2 зміна	Разом на добу	Коефіцієнт переведення	Облікова чисельність
Основні робітники						
Складальник металоконструкцій	5	1	1	2	1,12	2
Електрогазозварник МАГ	5	2	2	4	1,12	4
Оператор плазмowego різання	4	1	–	1	1,12	1
Разом основні		4	3	7		7
Допоміжні працівники						
Контролер ВТК	5	1	–	1	1,12	1
Слюсар-ремонтник	5	1	–	1	1,12	1
Комірник- стропальник	4	1	–	1	1,12	1
Разом допоміжні		3	0	3		3
Майстер дільниці	5			1		1
Усього робітників		7	3	10		11

Для організації виробничого процесу передбачається один майстер дільниці, який забезпечує оперативне керівництво виробництвом, контроль технологічної дисципліни, координацію роботи персоналу, контроль виконання виробничої програми та взаємодію з відділом технічного контролю.

Отже, загальна чисельність персоналу дільниці становить:
 $Ч_{заг} = 10 + 1 = 11$ осіб (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Загальна чисельність персоналу дільниці

Категорія персоналу	Чисельність, осіб
Основні виробничі робітники	7
Допоміжні працівники	3
Майстер дільниці	1
Усього	11

У результаті виконаних розрахунків визначено необхідну чисельність персоналу дільниці з виготовлення важких зварних рам. При річній програмі випуску 150 виробів та річному обсязі виробництва 105 т металоконструкцій

облікова чисельність основних виробничих робітників становить 10 осіб, допоміжних працівників – 6 осіб. Для забезпечення управління виробництвом передбачається один майстер дільниці. Загальна чисельність персоналу складає 17 осіб, що забезпечує виконання виробничої програми в умовах двозмінної роботи та відповідає прийнятій організації технологічного процесу.

5.2.2 Визначення фондів заробітної плати

Фонд заробітної плати працівників складально-зварювальної дільниці визначається на основі облікової чисельності персоналу, ефективного фонду робочого часу та тарифних ставок відповідних професій.

Основна заробітна плата виробничих робітників визначається за формулою:

$$Зосн = Тгод \cdot Феф \cdot Чобл$$

де Тгод – годинна тарифна ставка, грн/год;

Феф – ефективний фонд робочого часу одного працівника за рік, год;

Чобл – облікова чисельність працівників. Розрахунок фонду заробітної плати наведено в таблиці 5.5.

Ефективний фонд робочого часу одного працівника становить
 $Феф = 1672 \text{ год.}$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.5 – Розрахунок фонду заробітної плати основних і допоміжних робітників

Професія	Роз-ряд	Тарифна ставка, грн/год	Облі-ковий склад	Основна ЗП, грн	Премія 20 %	Додаткова ЗП 15 %	Разом ФЗП, грн
Електро-газоварник МАГ	5	90	4	601920	120384	90288	812592
Складальник метало-конструкцій	5	85	2	284240	56848	42636	383724
Оператор плазмового різання	4	80	1	133760	26752	20064	180576
Контролер ВТК	4	80	1	133760	26752	20064	180576
Слюсар-ремонтник	4	80	1	133760	26752	20064	180576
Комірник-стропальник	4	75	1	125400	25080	18810	169290
Разом				1412840	282568	211926	1907334

Сумарний фонд заробітної плати основних і допоміжних робітників становить 1907334 грн.

Для керівництва виробничою дільницею передбачається один майстер.

Посадовий оклад майстра становить 20000 грн на місяць.

Річний фонд заробітної плати майстра визначається за формулою:

$$\text{ФЗП}_{\text{майстра}} = 20000 \cdot 12 = 240\,000 \text{ грн.}$$

Загальний фонд заробітної плати персоналу дільниці становить:

$$\text{ФЗП}_{\text{заг}} = 1907334 + 240000 = 2147334 \text{ грн.}$$

Відрахування єдиного соціального внеску становлять 22 % від фонду заробітної плати:

$$\text{ЄСВ} = 0,22 \cdot 2147334 = 472413 \text{ грн.}$$

Повний фонд оплати праці становить:

$$\text{ФОП} = 2147334 + 472413 = 2\,619\,747 \text{ грн.}$$

Зведений фонд оплати праці персоналу дільниці наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Зведений фонд оплати праці персоналу дільниці

Категорія персоналу	Чисельність, осіб	ФЗП, грн	ЄСВ, грн	Разом, грн
Основні та допоміжні робітники	10	1 907 334	419 613	2 326 947
Майстер дільниці	1	240 000	52 800	292 800
Усього	11	2 147 334	472 413	2 619 747

За результатами розрахунків встановлено, що загальний фонд заробітної плати персоналу складально-зварювальної дільниці становить 2 147 334 грн на рік. Відрахування на соціальні заходи складають 472 413 грн. Повний фонд оплати праці становить 2 619 747 грн на рік. Отримані результати використовуються під час розрахунку собівартості продукції та визначення економічної ефективності роботи дільниці.

5.2.3 Розрахунок продуктивності праці

Продуктивність праці є одним із найважливіших показників ефективності роботи складально-зварювальної дільниці. Вона характеризує кількість продукції, що припадає на одного працівника за певний період часу.

Для проектованої дільниці продуктивність праці визначається у натуральному вираженні (шт./особу) та у масовому вираженні (т/особу).

Вихідними даними для розрахунку є: річна програма випуску $N = 150$ шт./рік; маса однієї рами $m = 700$ кг; загальна чисельність персоналу $\Sigma_{\text{ч}} = 11$ осіб; чисельність основних і допоміжних робітників – 10 осіб.

Річний обсяг продукції визначається за формулою:

$$Q = N \cdot m.$$

$$Q = 150 \cdot 700 = 105000 \text{ кг} = 105 \text{ т.}$$

Продуктивність праці одного працівника у натуральному вираженні:

$$\text{Пшт} = N / \Sigma\text{Ч} = 150 / 11 = 13,64 \text{ шт./особу.}$$

Продуктивність праці одного працівника у масовому вираженні:

$$\text{Пт} = Q / \Sigma\text{Ч} = 105 / 11 = 9,55 \text{ т/особу.}$$

Для оцінки ефективності використання виробничого персоналу додатково визначається продуктивність праці робітників.

$$\text{Проб.шт} = 150 / 10 = 15,0 \text{ шт./особу.}$$

$$\text{Проб.т} = 105 / 10 = 10,5 \text{ т/особу.}$$

При річній програмі випуску 150 важких зварних рам загальний обсяг виробництва становить 105 т металоконструкцій. Продуктивність праці одного працівника складає 13,64 рами або 9,55 т продукції на рік. Для виробничого персоналу продуктивність праці становить 15 рам або 10,5 т на одного працівника. Отримані показники свідчать про раціональне використання трудових ресурсів дільниці (табл. 5.7).

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.7 – Показники продуктивності праці складально-зварювальної дільниці

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Річна програма випуску	N	шт./рік	150
Маса однієї рами	m	кг	700
Річний обсяг продукції	Q	кг/рік	105000
Річний обсяг продукції	Q _т	т/рік	105
Загальна чисельність персоналу	ΣЧ	осіб	11
Чисельність робітників	Ч _{роб}	осіб	10
Продуктивність праці всього персоналу	Пшт	шт./особу	13,64
Продуктивність праці всього персоналу	П _т	т/особу	9,55
Продуктивність праці робітників	Проб.шт	шт./особу	15,0
Продуктивність праці робітників	Проб.т	т/особу	10,5

5.3 Економічний розділ

Економічний розділ виконано для складально-зварювальної дільниці виготовлення важких зварних рам зі сталі S355 методом механізованого MAG-зварювання в середовищі захисної газової суміші $Ar+18\%CO_2$. Розрахунки виконано для річної програми випуску 150 рам масою 700 кг кожна з урахуванням прийнятого складу обладнання, енергетичних витрат та фонду оплати праці, визначених у попередніх розділах.

5.3.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення у проектувану складально-зварювальну дільницю включають витрати на придбання та монтаж технологічного обладнання, будівлі та інженерні мережі, а також норматив оборотних засобів.

Площа дільниці: виробнича – 320 м²; побутова – 60 м²; загальна – 380 м².
Перелік капітальних вкладень наведено в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Перелік капітальних вкладень

Устаткування	К-сть	Ціна, тис. грн	Вартість, тис. грн	Монтаж, тис. грн	Разом, тис. грн
Напівавтомат MAG Fronius TPS 500i	4	420,0	1680,0	252,0	1932,0
Плазморізна установка	1	600,0	600,0	90,0	690,0
Зварювальний кантувач з пох. домкратом	2	180,0	360,0	54,0	414,0
Зварювальна колона	2	160,0	320,0	48,0	368,0
Складально-зварювальний стенд	2	150,0	300,0	45,0	345,0
Мостовий кран 5 т	1	900,0	900,0	135,0	1035,0
Загалом по дільниці			4760,0	714,0	5474,0

Кобл = 5474,0 тис. грн.

Після розрахунку капіталовкладень в обладнання обсяг капіталовкладень у будівлі та інженерні мережі визначаємо за площею ділянки та усередненими нормативами вартості будівельно-монтажних робіт (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Розрахунок капітальних вкладень у будівлі та споруди

Найменування витрат	Площа, м²	Вартість, грн/м²	Сума, тис. грн
Виробнича будівля	320	4500	1440,0
Водопостачання виробничих приміщень	320	40	12,8
Каналізація виробничих приміщень	320	35	11,2
Електропроводка виробничих приміщень	320	65	20,8
Вентиляція виробничих приміщень	320	90	28,8
Побутові приміщення	60	5000	300,0
Водопостачання побутових приміщень	60	50	3,0
Каналізація побутових приміщень	60	120	7,2
Електропроводка побутових приміщень	60	70	4,2
Вентиляція побутових приміщень	60	90	5,4
Зовнішній благоустрій	380	100	38,0
Невраховані витрати	380	900	342,0
Разом			2213,4

Загальні капітальні вкладення у будівлі, споруди та інженерні мережі становлять: $K_{\text{буд}} = 2213,4$ тис. грн.

Безперервну виробничу діяльність ділянки забезпечують оборотні засоби, мінімально необхідна величина яких визначається нормативом оборотних засобів. Найбільшим елементом нормативу оборотних засобів є поточний запас матеріалів.

Середній поточний запас матеріалів визначається за формулою:

$$Z_m = M_d \cdot T_{\text{пост}} / 2.$$

Для проекрованої ділянки приймаємо $T_{\text{пост}} = 15$ діб. Річна потреба в матеріалах наведена в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Річна потреба в матеріалах для розрахунку оборотних засобів

Найменування матеріалу	Річна потреба	Ціна за одиницю	Річні витрати, грн
Листовий та профільний прокат S275	115 т	52 000 грн/т	5 980 000
Зварювальний дріт ER70S-6	2,4 т	95 000 грн/т	228 000
Газова суміш Ar+18%CO ₂	2430 м ³	250 грн/м ³	607 500
Абразивні та зачистні матеріали	комплект	—	120 000
Запасні частини та ремонтні матеріали	комплект	—	80 000
Засоби індивідуального захисту	17 комплектів	5 000	85 000
Допоміжні матеріали для контролю та маркування	комплект	—	60 000
Разом			7 160 500

Середньодобове споживання матеріалів:

$$M_d = 7\,160\,500 / 360 = 19\,890,3 \text{ грн/добу.}$$

Поточний запас матеріалів:

$$Z_m = 19\,890,3 \cdot 15 / 2 = 149\,177 \text{ грн} = 149,2 \text{ тис. грн.}$$

Загальний норматив оборотних засобів:

$$\text{Ноб} = 1,5 \cdot 149,2 = 223,8 \text{ тис. грн.}$$

Загальні капітальні вкладення наведено в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Загальні капітальні вкладення

Елементи капіталовкладень	Сума, тис. грн	%
Будівлі та споруди	2213,4	27,9
Основне технологічне обладнання	4784,0	60,5
Допоміжне та підйомно-транспортне обладнання	690,0	8,7
Норматив оборотних засобів	223,8	2,9
Всього капіталовкладень у виробничі засоби	7911,2	100,0

Отже, загальна сума капітальних вкладень у виробничі засоби становить $K = 7911,2$ тис. грн. Найбільшу частку капіталовкладень займає основне технологічне обладнання, що пов'язано із застосуванням високопродуктивних джерел живлення для MAG-зварювання, плазмового обладнання для підготовки деталей, складально-зварювальної оснастки та підйомно-транспортного устаткування для роботи з великогабаритними рамними конструкціями масою до 700 кг.

Витрати на паливо та енергію на технологічні цілі визначаємо за даними енергетичного розділу.

Для проектованої ділянки прийнято ефективний фонд роботи обладнання 1672 год, коефіцієнт одночасності $K_1 = 0,3$ та коефіцієнт використання потужності $K_2 = 0,7$. Річне споживання електроенергії становить 85 069 кВт·год.

$$\text{Вел} = 85069 \cdot 8,0 = 680552 \text{ грн}$$

$$\text{Вел.од} = 680\,552 / 150 = 4537 \text{ грн/шт}$$

Основна та додаткова заробітна плата технологічних робітників приймається за даними розділу 6.

До технологічних робітників відносимо зварювальників МАG, складальників металоконструкцій та оператора плазмового різання. Розрахунок витрат електроенергії наведено в таблиці 5.12.

$$Зосн = 1\,412\,840 \text{ грн}$$

$$Здод = 494\,494 \text{ грн}$$

$$ЄСВ = (1412840 + 494494) \cdot 0,22 = 419613 \text{ грн}$$

Таблиця 5.12 – Розрахунок витрат електроенергії

Найменування споживача	Кількість	Потужність, кВт	Фонд часу, год	ηзав	Річні витрати, кВт·год
Напівавтомат МАG Fronius TPS 500i	4	22,0	1672	0,30	44 141
Плазморізна установка	1	6,5	1672	0,30	3 260
Зварювальний кантувач з пох. домкратом	2	1,5	1672	0,40	2 006
Зварювальна колона	2	1,2	1672	0,40	1 605
Компресорна установка	1	2,2	1672	0,45	1 655
Вентиляційні установки	2	1,1	1672	0,80	2 943
Освітлення дільниці	-	-	2500	-	29 459
Разом					85 069

Непрямі витрати приймаємо за мінімальними нормативами методичних вказівок:

утримання та експлуатація устаткування – 100 % від основної заробітної плати;

- загальновиробничі витрати – 100 %;
- загальногосподарські витрати – 50 %;
- витрати на підготовку та освоєння виробництва – 30 %;

- позавиробничі витрати – 5 % від виробничої собівартості. Планова калькуляція собівартості наведена в таблиці 5.13.

Вуст = 1 412 840 грн

Взв = 1 412 840 грн

Взг = 706 420 грн

Впідг = 423 852 грн

Таблиця 5.13 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва рам

Найменування статей витрат	Одиниця	Кількість	Витрати, грн	Примітки
Сировина та матеріали	грн	-	7 160 500	За табл. 7.5
Паливо та енергія	кВт·год	85 069	680 552	За табл. 7.6
Основна заробітна плата	грн	-	1 412 840	За розд. 6
Додаткова заробітна плата	грн	-	494 494	За розд. 6
ЄСВ	грн	22 %	419 613	Від ЗП
Утримання та експлуатація устаткування	грн	100 %	1 412 840	Мін. норматив
Загальновиробничі витрати	грн	100 %	1 412 840	Мін. норматив
Цехова собівартість	грн	-	12 993 679	
Загальногосподарські витрати	грн	50 %	706 420	Мін. норматив
Підготовка та освоєння виробництва	грн	30 %	423 852	Мін. норматив
Виробнича собівартість	грн	-	14 123 951	
Позавиробничі витрати	грн	5 %	706 198	Мін. норматив
Повна собівартість річної програми	грн	-	14 830 149	

Сповн = 14 830 149 грн

Сод = 14 830 149 / 150 = 98 868 грн/шт

Отже, повна планова собівартість однієї важкої зварної рами при річній програмі 150 шт. становить 98 868 грн/шт. Основними статтями витрат є

матеріали, оплата праці та непрямі витрати, пов'язані з утриманням обладнання і організацією виробництва

5.3.2 Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення

Показники економічної ефективності проектного рішення визначаються на підставі результатів розрахунків капітальних вкладень та собівартості продукції, отриманих у пунктах 7.1 та 7.2.

Для оцінювання економічної ефективності приймається річна програма випуску 150 важких зварних рам, повна собівартість одиниці продукції та загальні капітальні вкладення у проєктовану складально-зварювальну дільницю.

Технологічна трудомісткість продукції. Технологічна трудомісткість виготовлення однієї рами визначається як відношення річного фонду часу основних технологічних робітників до річної програми випуску.

$$T_{\text{тех}} = (Ч_{\text{осн}} \cdot F_{\text{еф}}) / N$$

де $Ч_{\text{осн}} = 7$ осіб; $F_{\text{еф}} = 1672$ год; $N = 150$ шт.

$$T_{\text{тех}} = (7 \cdot 1672) / 150 = 78,0 \text{ нормо – год/шт}$$

Капіталомісткість продукції. Капіталомісткість продукції визначається як відношення загальних капіталовкладень до річної програми випуску.

$$K_{\text{м}} = K_{\text{заг}} / N$$

$$K_{\text{м}} = 7\,911\,200 / 150 = 52\,741 \text{ грн/шт}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань. Будівлі та споруди амортизуються за нормою 5 % на рік.

$$А_{\text{буд}} = 2\,213\,400 \cdot 0,05 = 110\,670 \text{ грн}$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основне та допоміжне обладнання амортизується за нормою 20 % на рік.

$$A_{\text{обл}} = 5\,474\,000 \cdot 0,20 = 1\,094\,800 \text{ грн}$$

$$A = 110\,670 + 1\,094\,800 = 1\,205\,470 \text{ грн}$$

Розрахунок грошового потоку. Для оцінки економічної ефективності приймається планова відпускна ціна однієї рами 110 000 грн/шт.

$$ГП = 0,82 \cdot (Ц - C_{\text{од}}) \cdot N + A$$

$$ГП = 0,82 \cdot (110\,000 - 85\,427) \cdot 150 + 1\,205\,470$$

$$ГП = 4\,228\,949 \text{ грн}$$

Період окупності капіталовкладень.

$$\text{Ток} = K_{\text{заг}} / ГП$$

$$\text{Ток} = 7\,911\,200 / 4\,228\,949 = 1,87 \text{ року}$$

Нормативний період окупності для виробничих проєктів становить 5–7 років. Отримане значення є меншим за нормативне, що свідчить про економічну доцільність проєкту.

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що проєктована складально-зварювальна діляниця забезпечує виготовлення 150 важких зварних рам на рік при повній собівартості 85427 грн за виріб. За прийнятої відпускної ціни 110000 грн за раму річний грошовий потік становить 4228949 грн, а період окупності капітальних вкладень – 1,87 року. Оскільки отриманий показник є меншим за нормативний термін окупності, проєктоване виробництво є економічно ефективним та доцільним до впровадження. Основні техніко-економічні показники наведено в таблиці 5.14.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.14 – Основні техніко-економічні показники проекрованої ділянки

Найменування показника	Од. вим.	Значення
Річна програма випуску	шт.	150
Річний обсяг виробництва	т	105
Загальна площа ділянки	м ²	380
Загальні капіталовкладення	тис. грн	7911,2
Капіталомісткість продукції	грн/шт	52 741
Загальна чисельність персоналу	осіб	11
Основні технологічні робітники	осіб	7
Допоміжні робітники	осіб	3
Майстер	осіб	1
Загальний річний фонд заробітної плати	грн	2 147 334
Повний фонд оплати праці	грн	2 619 747
Річний виробіток на одного працівника	шт./особу	13,64
Річний виробіток на одного працівника за масою	т/особу	9,55
Технологічна трудомісткість	нормо-год/шт	78,0
Повна собівартість одиниці продукції	грн/шт	85 427
Планова відпускна ціна	грн/шт	110 000
Річний валовий прибуток	грн	3 685 950
Річний чистий прибуток	грн	3 022 479
Річна сума амортизаційних відрахувань	грн	1 205 470
Річний грошовий потік	грн	4 228 949
Рентабельність продукції	%	28,8
Період окупності капіталовкладень	років	1,87

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

У дипломному проєкті розробляється технологічний процес виготовлення зварної рами масою до 700 кг із застосуванням автоматизованого зварювання під флюсом. Технологічний процес включає підготовку деталей, складання, автоматичне зварювання під шаром флюсу, видалення шлаку, контроль якості зварних з'єднань та транспортування виробу між робочими позиціями.

Під час виконання зазначених операцій на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Їх виникнення пов'язане з роботою зварювального обладнання, джерел живлення, вантажопідіймальних механізмів, а також з утворенням зварювальних аерозолів та нагріванням металу [14]. Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» [15], Кодексу цивільного захисту України [16], НПАОП 28.52-1.31-13 «Правила охорони праці під час зварювання металів» [17], ДСН 3.3.6.042-99 [18] та ДБН В.2.5-67:2013 [19] необхідно забезпечити контроль та обмеження впливу зазначених факторів.

Особливістю автоматичного зварювання під флюсом є те, що дуга горить під шаром гранульованого флюсу. Завдяки цьому значно зменшується інтенсивність ультрафіолетового та видимого випромінювання порівняно з ручним дуговим зварюванням. Водночас залишаються актуальними небезпеки, пов'язані з дією електричного струму, нагрітих поверхонь, зварювальних аерозолів, пилу флюсу та рухомих елементів обладнання.

Найбільш характерними для автоматизованого зварювання під флюсом є виділення зварювального аерозолу, утворення пилу флюсу та дія підвищених температур. Значну небезпеку також становлять транспортні операції при переміщенні рам масою до 700 кг за допомогою мостового крана. Основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори наведено в таблиці 6.1.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 – Основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори [14]

Небезпечний або шкідливий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Рухомі частини обладнання	Роботизований комплекс, позиціонери, механізми подачі дроту	Травмування працівника
Падіння або переміщення вантажів	Кран-балка, стропувальні пристрої	Забиття, важкі травми
Підвищена температура поверхонь	Зварний шов, шлак, нагрітий метал	Термічні опіки
Зварювальний аерозоль	Плавлення дроту та флюсу	Захворювання органів дихання
Пил флюсу	Завантаження та регенерація флюсу	Подразнення слизових оболонок
Газоподібні продукти зварювання	Термічні процеси в зоні зварювання	Токсичний вплив на організм
Підвищений рівень шуму	Зварювальне обладнання, вентиляція, позиціонери	Зниження слуху, втома
Електричний струм	Джерела живлення та зварювальні кола	Електротравми
Електромагнітне поле	Зварювальне обладнання та кабелі	Несприятливий вплив на організм
Теплове випромінювання	Нагрітий метал та шлак	Перегрівання працівника

Для оцінки умов праці доцільно порівняти параметри виробничого середовища з нормативними значеннями, наведеними в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Нормативні параметри виробничого середовища [14, 18, 19]

Показник	Нормативне значення	Нормативний документ
Температура повітря в холодний період року	16–18 °С	ДСН 3.3.6.042-99
Відносна вологість повітря	40–60 %	ДСН 3.3.6.042-99
Швидкість руху повітря	не більше 0,3 м/с	ДСН 3.3.6.042-99
Рівень шуму на робочому місці	не більше 80 дБА	ДСН 3.3.6.037-99
Освітленість робочої зони	не менше 300 лк	ДБН В.2.5-28:2018
Напруженість магнітного поля частотою 50 Гц	не більше 1,4 кА/м	ДСН 3.3.6.096-2002
Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони	не вище ГДК	ДСН 3.3.6.039-99, Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони № 1257 від 13.10.2017

Таким чином, аналіз виробничого процесу показав, що основними небезпечними та шкідливими факторами при автоматизованому зварюванні під флюсом є зварювальний аерозоль, пил флюсу, підвищена температура поверхонь, шум, електричний струм та небезпека механічного травмування під час роботи роботизованого комплексу і вантажопідіймального обладнання. Для забезпечення нормативних умов праці необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів, які розглянуто в наступному підрозділі.

6.2 Інженерні рішення щодо забезпечення безпеки праці

6.2.1 Вимоги до технологічного процесу та виробничого приміщення

Автоматизоване зварювання під флюсом належить до високопродуктивних способів зварювання, що широко застосовуються під час виготовлення великогабаритних металоконструкцій. У даному проєкті технологічний процес призначений для виготовлення зварних рам масою до 700 кг із застосуванням роботизованого комплексу автоматичного зварювання під шаром флюсу.

Відповідно до вимог НПАОП 28.52-1.31-13 [17], ДБН В.2.2-28:2010 [20] та ДБН В.2.5-67:2013 [19] виробниче приміщення повинно забезпечувати безпечне розташування технологічного обладнання, можливість обслуговування зварювального комплексу та безпечне переміщення заготовок і готових виробів.

Планування ділянки виконується таким чином, щоб основні технологічні потоки не перетиналися. Робоча зона робота відокремлюється від проходів персоналу захисними огороженнями. Мінімальна ширина проходів між обладнанням приймається не менше 1,0 м, а транспортних проходів – не менше 1,8 м.

Підлога виробничого приміщення повинна бути рівною, неслизькою та виконаною з негорючих матеріалів. У місцях роботи вантажопідіймального обладнання не допускається розміщення сторонніх предметів або тимчасового складування деталей.

					<i>ЗВ-21.12.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						116
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Враховуючи значну масу зварних рам, переміщення заготовок між технологічними позиціями здійснюється мостовою кран-балкою. Експлуатація вантажопідіймальних механізмів повинна відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.80-18 [21].

6.2.2 Вимоги до організації робочих місць

Робоче місце оператора роботизованого комплексу повинно забезпечувати можливість контролю всіх стадій технологічного процесу без необхідності перебування працівника в зоні руху маніпулятора.

Пульт керування розміщується поза небезпечною зоною та обладнується аварійною кнопкою зупинки, світловою індикацією режимів роботи й системою попереджувальної сигналізації.

Робоча зона роботизованого комплексу огорожується металевими захисними конструкціями висотою не менше 1,8 м. На вході до робочої зони встановлюються блокувальні пристрої, що унеможливають запуск обладнання при відкритих дверях огороження.

Під час виконання контрольних операцій працівники повинні мати безпечний доступ до виробу, при цьому всі рухомі механізми повинні бути зупинені та відключені від джерел енергії.

Робочі місця оснащуються місцевим освітленням відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 [22]. Освітленість у зоні контролю якості зварних з'єднань повинна становити не менше 300 лк.

6.2.3 Вентиляція та забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища

Під час автоматичного зварювання під флюсом утворюються зварювальний аерозоль, оксиди азоту, оксид вуглецю та пил флюсу. Незважаючи

					<i>ЗВ-21.12.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						117
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

на те, що шар флюсу частково ізолює зону горіння дуги, повністю усунути виділення шкідливих речовин неможливо.

Для підтримання концентрацій шкідливих речовин у межах гранично допустимих значень виробниче приміщення обладнується припливно-витяжною вентиляцією та місцевими витяжними пристроями.

Місцеві відсмоктувачі розміщуються безпосередньо над зоною зварювання та забезпечують видалення аерозолів до їх потрапляння у робочу зону персоналу. Відведене повітря повинно проходити очищення у фільтровентиляційних установках перед викидом в атмосферу.

Параметри мікроклімату мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 [18]. Для робіт середньої важкості температура повітря в холодний період року повинна підтримуватися на рівні від 16°C до 18 °C, а в теплий період від -18°C до 22 °C.

6.2.4 Захист від шуму та вібрації

Під час автоматизованого зварювання під флюсом основними джерелами шуму є джерело живлення зварювального комплексу, механізм подачі електродного дроту, зварювальний трактор або роботизований маніпулятор, системи аспірації та вентиляції, установки регенерації флюсу, а також мостова кран-балка, що використовується для транспортування рам масою до 700 кг.

На відміну від механізованого зварювання в захисних газах, процес зварювання під флюсом характеризується дещо нижчим рівнем шуму безпосередньо в зоні горіння дуги, оскільки шар флюсу частково екранує акустичні коливання. Разом з тим робота допоміжного обладнання формує стає шумове навантаження на персонал.

Орієнтовний рівень шуму від окремих джерел становить:

- автомат для зварювання під флюсом — від 78 дБА до 82 дБА;
- установка рекуперації та подачі флюсу — від 80 дБА до 85 дБА;
- припливно-витяжна вентиляція — від 75 дБА до 80 дБА;

- мостова кран-балка — від 78 дБА до 85 дБА;
- шліфувальні операції після зварювання — від 90 дБА до 95 дБА.

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 [23] допустимий рівень шуму на постійних робочих місцях не повинен перевищувати 80 дБА. Тому на ділянці передбачаються технічні заходи щодо його зниження: установлення вентиляційних агрегатів на вібропоглинальних опорах, використання гнучких вставок у повітропроводах, балансування обертових механізмів, своєчасне технічне обслуговування приводів та редукторів, а також винесення найбільш шумного допоміжного обладнання за межі постійних робочих місць.

Додатковим шкідливим фактором є виробнича вібрація, яка виникає під час роботи кранового обладнання, механізмів переміщення зварювального трактора та установок регенерації флюсу. Згідно з вимогами ДСН 3.3.6.039-99 [24] еквівалентний рівень загальної вібрації на робочих місцях не повинен перевищувати 92 дБ для октавних смуг нормованого діапазону частот. Для зменшення впливу вібрації застосовуються гумометалеві амортизатори, вібродемпфувальні прокладки та жорстке кріплення обладнання до фундаментів.

У випадках виконання шліфувальних і зачищувальних операцій, під час яких рівень шуму може перевищувати нормативні значення, працівники забезпечуються протишумовими навушниками зі зниженням рівня шуму не менше ніж на 20–25 дБ.

Реалізація зазначених заходів дозволяє забезпечити відповідність параметрів шуму та вібрації вимогам чинних санітарних норм і створити безпечні умови праці для персоналу складально-зварювальної ділянки.

6.2.5 Електробезпека

Експлуатація зварювального обладнання здійснюється відповідно до вимог ПУЕ [25], ПБЕ [26] та ДСТУ EN ІЕС 60974-1:2023 [27].

Усі металеві корпуси зварювального обладнання, роботизованих комплексів, позиціонерів та вентиляційних установок підлягають захисному заземленню.

Зварювальні кабелі повинні мати справну ізоляцію та бути захищеними від механічних пошкоджень. Їх прокладання виконується таким чином, щоб виключити контакт із нагрітими деталями та рухомими механізмами.

Для аварійного вимкнення обладнання на робочих місцях встановлюються кнопки аварійної зупинки, доступні для швидкого використання персоналом.

6.2.6 Захист від теплового впливу та випромінювання

Під час автоматичного зварювання під флюсом основним джерелом теплового впливу є нагрітий метал, зварний шов та шлакова кірка.

Оскільки дуга знаходиться під шаром флюсу, рівень ультрафіолетового випромінювання значно нижчий, ніж при ручному дуговому або механізованому зварюванні в захисних газах. Тому основна увага приділяється захисту від контакту з нагрітими поверхнями.

Для цього передбачаються технологічні перерви на охолодження виробів, застосування спеціального інструменту для видалення шлаку та використання термостійких рукавиць.

6.2.7 Засоби індивідуального захисту

Працівники дільниці забезпечуються засобами індивідуального захисту відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 11611:2017 [28] та НПАОП 28.52-1.31-13 [17].

До комплекту засобів захисту входять:

- костюм зварника з вогнестійкої тканини;
- шкіряне спеціальне взуття;
- захисні рукавиці;
- захисні окуляри для очищення швів і видалення шлаку;

					<i>ЗВ-21.12.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- респіратори для роботи з пилом флюсу;
- протишумові навушники;
- захисна каска.

Таким чином, запропоновані інженерні рішення забезпечують зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів до нормативного рівня та створюють безпечні умови праці під час автоматизованого зварювання під флюсом великогабаритних рам масою до 700 кг.

6.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Ефективна експлуатація дільниці автоматизованого зварювання під флюсом потребує впровадження комплексу інженерних рішень, спрямованих на зниження рівня небезпечних і шкідливих виробничих факторів до нормативних значень. Під час виготовлення зварних рам масою до 700 кг на персонал можуть впливати зварювальний аерозоль, пил флюсу, газоподібні продукти зварювання, шум, вібрація, підвищена температура поверхонь, електричний струм та небезпека механічного травмування внаслідок роботи роботизованого обладнання і вантажопідіймальних механізмів.

Відповідно до вимог НПАОП 28.52-1.31-13 [17], ДБН В.2.2-28:2010 [20], ДБН В.2.5-67:2013 [19], ПУЕ [25] та ДСТУ EN ISO 15011 [29] під час проектування дільниці повинні бути передбачені технічні та організаційні заходи, які забезпечують безпечні умови праці протягом усього технологічного циклу.

6.3.1 Інженерні рішення щодо організації безпечної роботи обладнання

Виготовлення зварних рам виконується із застосуванням роботизованого комплексу автоматичного зварювання під флюсом, до складу якого входять зварювальний робот, джерело живлення, механізм подачі електродного дроту,

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

система подавання та рекуперації флюсу, позиціонери та допоміжне транспортне обладнання.

Робоча зона роботизованого комплексу огорожується металевими захисними бар'єрами висотою не менше 1,8 м. Вхід до небезпечної зони обладнується блокувальними пристроями, які забезпечують автоматичне припинення роботи обладнання при відкриванні дверей або порушенні цілісності огороження.

Особлива увага приділяється безпеці роботи з великогабаритними рамами. Для їх транспортування використовуються мостові кран-балки та вантажозахоплювальні пристрої, що повинні відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.80-18 [21]. У місцях переміщення вантажів забороняється перебування сторонніх осіб, а маршрути транспортування позначаються попереджувальними знаками безпеки.

Кожен зварювальний пост обладнується кнопкою аварійного вимкнення, світловою індикацією режимів роботи та системою звукового попередження перед запуском автоматичного циклу.

Для захисту від ураження електричним струмом передбачаються захисне заземлення металевих корпусів обладнання, автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення та регулярний контроль стану ізоляції кабелів відповідно до вимог ПУЕ [25] та ДСТУ EN IEC 60974-1 [27].

6.3.2 Рішення щодо локалізації шкідливих виділень

Під час автоматичного зварювання під флюсом дуга і зварювальна ванна закриті шаром гранульованого флюсу, що істотно знижує рівень ультрафіолетового випромінювання та зменшує розбризкування металу. Однак у повітря робочої зони надходять зварювальний аерозоль, оксиди азоту, оксид вуглецю, сполуки марганцю та пил флюсу.

Найбільша кількість пилу утворюється під час подавання флюсу, його рекуперації та очищення поверхні шва після зварювання. Для запобігання

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поширенню шкідливих речовин у виробничому приміщенні передбачається комбінована система вентиляції, яка включає місцеві витяжні пристрої та загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію.

Місцевий відсмоктувач розташовується над зоною формування шва на висоті, що забезпечує ефективне уловлювання зварювального аерозолі без перешкоджання роботі зварювального обладнання. Видалене повітря перед викидом в атмосферу проходить очищення у фільтровентиляційній установці з ефективністю очищення не менше 95 %.

6.3.3 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції

Для забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 [19] та ГОСТ 12.1.005-88 виконується розрахунок продуктивності місцевої витяжної вентиляції.

Необхідна витрата повітря визначається за формулою:

$$L = 3600 \cdot F \cdot V,$$

де L – продуктивність місцевої вентиляції, м³/год;

F – площа відкритого перерізу витяжного пристрою, м²;

V – швидкість всмоктування повітря, м/с.

Для дільниці автоматизованого зварювання під флюсом приймається діаметр витяжної воронки:

$$d = 0,40 \text{ м.}$$

Площа перерізу становить:

$$F = \pi d^2 / 4;$$

$$F = 3,14 \cdot 0,40^2 / 4 = 0,126 \text{ м}^2.$$

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для процесів автоматичного зварювання під флюсом рекомендована швидкість всмоктування повітря становить 1,0 м/с. Тоді необхідна витрата повітря:

$$L = 3600 \cdot 0,126 \cdot 1,0 = 453,6 \text{ м}^3/\text{год.}$$

З урахуванням аеродинамічних втрат у повітропроводах і фільтрах вводиться коефіцієнт запасу: $k = 1,25$.

Розрахункова продуктивність вентилятора:

$$L_{\text{розр}} = 453,6 \cdot 1,25 = 567 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приймається стандартна вентиляційна установка продуктивністю: $L_{\text{пр}} = 600 \text{ м}^3/\text{год.}$

На ділянці передбачено два роботизовані пости, що можуть працювати одночасно. Загальна продуктивність вентиляційної системи становитиме:

$$L_{\text{заг}} = 600 \cdot 2 = 1200 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Таким чином, для забезпечення нормативних умов праці необхідно застосувати систему місцевої витяжної вентиляції продуктивністю не менше $1200 \text{ м}^3/\text{год.}$

6.3.4 Обґрунтування прийнятого рішення

Запропонована вентиляційна система забезпечує ефективне видалення зварювального аерозолю, пилу флюсу та газоподібних продуктів зварювання безпосередньо в місці їх утворення. Це дозволяє підтримувати концентрацію шкідливих речовин у межах гранично допустимих значень та знижує ризик професійних захворювань органів дихання.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатковою перевагою є зменшення забруднення виробничого приміщення пилом флюсу, що позитивно впливає на санітарний стан дільниці та знижує потребу в частому прибиранні робочих зон.

Упровадження зазначених інженерних рішень забезпечує відповідність умов праці вимогам чинних нормативних документів та створює безпечні умови для експлуатації роботизованої дільниці автоматичного зварювання під флюсом.

6.4 Пожежна безпека

Під час виготовлення зварних рам масою до 700 кг методом автоматизованого зварювання під флюсом необхідно передбачити комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на попередження виникнення пожеж та забезпечення безпечної евакуації персоналу у разі аварійної ситуації.

Організація пожежної безпеки на проєктованій дільниці здійснюється відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України, ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [30], Правил пожежної безпеки в Україні [31], НПАОП 28.52-1.31-13 [17] та ПУЕ [25].

На відміну від ручного дугового зварювання та механізованого зварювання в захисних газах, при автоматичному зварюванні під флюсом дуга повністю закрита шаром гранульованого флюсу, що значно зменшує розліт іскор і вплив відкритого теплового випромінювання. Однак це не виключає можливості виникнення пожежі внаслідок перегрівання металу, коротких замикань, пошкодження ізоляції електрообладнання або порушення правил експлуатації технологічного устаткування.

Виробнича дільниця належить до категорії Г за вибухопожежною та пожежною небезпекою відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 [32], оскільки технологічний процес пов'язаний з обробкою негорючих матеріалів у гарячому стані та супроводжується виділенням теплоти і локальним нагріванням металу.

Основними джерелами потенційної пожежної небезпеки є:

- зварювальні джерела живлення великої потужності;

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- силові кабельні лінії;
- шафи керування роботизованим комплексом;
- електродвигуни механізмів подачі дроту та флюсу;
- вентиляційне обладнання;
- місця накопичення пилу флюсу;
- нагріті поверхні металоконструкцій після зварювання.

Для зниження ризику виникнення пожежі передбачається виконання таких заходів.

Усі металеві корпуси обладнання підлягають захисному заземленню відповідно до вимог ПУЕ [25]. Електричні мережі обладнуються автоматичними вимикачами, які забезпечують захист від струмів короткого замикання та перевантаження.

Зварювальні кабелі прокладаються у місцях, що виключають їх механічне пошкодження. Періодично проводиться перевірка стану ізоляції та справності контактних з'єднань.

Особлива увага приділяється видаленню пилу флюсу. Його накопичення на електрообладнанні та у вентиляційних каналах може призвести до погіршення тепловідведення і перегрівання обладнання. Тому на ділянці передбачається регулярне очищення виробничих приміщень та вентиляційних систем.

Для зберігання флюсу виділяється окрема суха зона складування. Вологий або забруднений флюс до використання не допускається, оскільки це може призвести до нестабільності процесу та збільшення кількості шкідливих виділень.

Усі проходи та евакуаційні виходи повинні підтримуватись вільними. Мінімальна ширина евакуаційних проходів приймається відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 [30].

Для локалізації можливих осередків займання діляниця комплектується первинними засобами пожежогасіння. Враховуючи наявність електрообладнання, доцільно застосовувати вуглекислотні та порошкові вогнегасники.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість і розміщення вогнегасників визначаються відповідно до Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників. Вогнегасники встановлюються у доступних місцях поблизу входів та робочих постів.

Працівники дільниці проходять вступний, первинний та повторний протипожежний інструктажі, а також навчання діям у разі виникнення пожежі. На видимих місцях розміщуються плани евакуації та інструкції з пожежної безпеки.

Таким чином, реалізація комплексу технічних та організаційних заходів дозволяє забезпечити необхідний рівень пожежної безпеки під час автоматизованого зварювання під флюсом великогабаритних рам і знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

Таким чином, у розділі виконано аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для автоматизованого та роботизованого зварювання під флюсом зварних рам масою до 700 кг.

Встановлено, що найбільший вплив на умови праці чинять зварювальний аерозоль, пил флюсу, газоподібні продукти зварювання, шум, електричний струм, підвищена температура металу, а також небезпека механічного травмування під час роботи роботизованих комплексів і вантажопідіймального обладнання.

На підставі проведеного аналізу розроблено комплекс інженерних рішень щодо підвищення безпеки праці, які передбачають застосування захисних огорожень, систем блокування, ефективної вентиляції, засобів електрозахисту та сучасних засобів індивідуального захисту.

Виконаний розрахунок місцевої витяжної вентиляції показав, що для забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов праці необхідно застосовувати вентиляційну систему продуктивністю не менше 1200 м³/год.

Запропоновані технічні та організаційні заходи забезпечують відповідність умов праці вимогам чинних нормативних документів з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки, а також створюють передумови для

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпечної експлуатації роботизованої ділянки автоматичного зварювання під флюсом.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						128
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті виконано розроблення технологічного процесу виготовлення зварної рами зі сталі S275JR для умов серійного виробництва. Проведено аналіз конструкції виробу, визначено його технологічні особливості та розглянуто умови забезпечення необхідної міцності, жорсткості та точності виготовлення.

На підставі аналізу конструкції виробу розроблено маршрут виготовлення рами, визначено послідовність складальних і зварювальних операцій, обґрунтовано вибір способу зварювання та зварювальних матеріалів. Для виконання основних зварних з'єднань прийнято механізоване дугове зварювання плавким електродом у середовищі захисного газу M21 із застосуванням зварювального дроту класу G4Si1 відповідно до вимог чинних стандартів.

У роботі виконано аналіз основних зварних з'єднань конструкції, обрано типи швів та підготовку кромek згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 9692-1. Для найбільш відповідальних з'єднань проведено розрахунок режимів зварювання та визначено параметри технологічного процесу, що забезпечують необхідну якість і продуктивність виготовлення виробу.

Розроблено комплект складально-зварювальної оснастки, який включає пристрій для складання основного вузла рами та пристрій для встановлення ребер жорсткості. Запропоновані технічні рішення забезпечують точне базування елементів конструкції, зменшують вплив зварювальних деформацій та підвищують повторюваність геометричних параметрів виробу.

Для механізації виконання найбільш протяжних зварних з'єднань обґрунтовано застосування двостоякового кантувача з похилим гідравлічним домкратом і зварювальної колони, встановленої на рейковому візку. Використання даного комплексу обладнання дозволяє виконувати поздовжні шви в технологічно вигідному положенні, підвищувати продуктивність праці та забезпечувати стабільність параметрів процесу зварювання.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						129
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У проєкті розроблено планування складально-зварювальної дільниці, визначено склад технологічного обладнання, виробничі площі, необхідні складські запаси матеріалів, чисельність персоналу та засоби внутрішньоцехового транспортування. Запропоноване планування забезпечує раціональну організацію виробничого процесу та ефективне використання виробничих площ.

Окрему увагу приділено питанням контролю якості зварних з'єднань. Для виготовлення рами передбачено комплекс вхідного, операційного та приймального контролю із застосуванням візуально-вимірювального контролю та вибіркового ультразвукового контролю найбільш відповідальних швів.

У розділах охорони праці та цивільного захисту розглянуто заходи щодо забезпечення безпечних умов праці під час виконання складально-зварювальних робіт, експлуатації зварювального обладнання та вантажопідіймальних механізмів. Запропоновані рішення відповідають чинним нормативним вимогам і спрямовані на зниження виробничих ризиків.

Виконання дипломного проєкту дозволило комплексно вирішити завдання розроблення технології виготовлення зварної рами, поєднавши вимоги до якості виробу, продуктивності виробництва, економічної ефективності та безпеки праці. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані під час організації серійного виробництва аналогічних зварних конструкцій машинобудівного призначення.

					<i>ЗВ-21.12.00.000 ПЗ</i>	Арк..
						130
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ EN 10025-2:2022 Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=99739 (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

2. Продукція зі сталі S275. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/s275jr> (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

3. Сталь S275 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eurometal.com.ua/stal-s275-2/> (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

4. ДСТУ EN ISO 4063:2022 Зварювання та споріднені процеси. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=108186 https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=108186 (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

5. ДСТУ EN ISO 5817:2022 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102602 (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

6. ДСТУ EN ISO 6947:2022 Зварювання та споріднені процеси. Позиції зварювання. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=108188 (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

7. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG - зварювання та променеве зварювання сталей. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		131

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79480 (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

8. Сливінський О.А. ЗДАТНІСТЬ ДО ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/417ebd5f-9f1e-4d31-a763-1337f29c9497/content> (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

9. ДСТУ EN ISO 14175:2014 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76990 (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

10. ДСТУ EN ISO 14341:2022 Витратні матеріали для зварювання. Дротяні електроди та зварні наплавлення для дугового зварювання нелегованих та дрібнозернистих сталей у захисному газі. Класифікація. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=110153 (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

11. ДСТУ-Н Б А.3.1-16:2013 Настанова щодо виконання зварювальних робіт при монтажі будівельних конструкцій

12. Лисак В.В. Виробництво зварних конструкцій – 3. Засоби механізації зварювального виробництва: методичні вказівки до практичних занять з кредитного модулю навчальної дисципліни «Виробництво зварних конструкцій», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zv.kpi.ua/2014-03-25-12-08-52/navchalni-uk> (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

13. ДСТУ 8312:2015 Машини електричні малої потужності. Двигуни. Загальні технічні умови. [Електронний ресурс]. – https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72817 (дата звернення: 12.02.2026). – Назва з екрана

14. Розділ з охорони праці в дипломних роботах: Рекомендації до виконання (друге видання). [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ.

спеціальності 131 «Прикладна механіка» (Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій) / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. Г. Левченко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 29 с.

15. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями) // Відомості Верховної Ради України. — 1992. — № 49. — Ст. 668.

16. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI (зі змінами та доповненнями) // Відомості Верховної Ради України. — 2013. — № 34/35. — Ст. 458.

17. Правила охорони праці під час зварювання металів : НПАОП 28.52-1.31-13 : затв. наказом Мінсоцполітики України від 11.07.2013 № 414. — Київ : Мінсоцполітики України, 2013. — 122 с.

18. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : ДСН 3.3.6.042-99. — Київ : МОЗ України, 1999. — 18 с.

19. Опалення, вентиляція та кондиціонування : ДБН В.2.5-67:2013. — Київ : Мінрегіон України, 2013. — 142 с.

20. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення : ДБН В.2.2-28:2010. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. — 33 с.

21. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання : НПАОП 0.00-1.80-18 : затв. наказом Мінсоцполітики України від 19.01.2018 № 62. — Київ : Мінсоцполітики України, 2018. — 198 с.

22. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28:2018. — Київ : Мінрегіон України, 2018. — 144 с.

23. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : ДСН 3.3.6.037-99. — Київ : МОЗ України, 1999. — 14 с.

24. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації : ДСН 3.3.6.039-99. — Київ : МОЗ України, 1999. — 15 с.

25. Правила улаштування електроустановок. — Офіц. вид. — Харків : Форт, 2017. — 760 с.

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						133
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок : НПАОП 40.1-1.32-01. — Київ : Мінпраці України, 2001. — 121 с.

27. Обладнання для дугового зварювання. Частина 1. Джерела живлення для зварювання (EN IEC 60974-1:2022, IDT; IEC 60974-1:2021, IDT) : ДСТУ EN IEC 60974-1:2024. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024.

28. Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів (EN ISO 11611:2015, IDT; ISO 11611:2015, IDT) : ДСТУ EN ISO 11611:2016. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

29. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання проб аерозолів і газів, утворюваних під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення швидкості виділення аерозолу та відбирання проб для аналізу хімічного складу (EN ISO 15011-1:2009, IDT; ISO 15011-1:2009, IDT) : ДСТУ EN ISO 15011-1:2021. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021.

30. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Київ : Мінрегіон України, 2017.

31. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001-2014 : затв. наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417. — Київ : МВС України, 2014.

32. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002-2007 : затв. наказом МНС України від 03.12.2007 № 833. — Київ : МНС України, 2007.

33. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів : ДСН 3.3.6.096-2002 : затв. наказом МОЗ України від 18.12.2002 № 476. — Київ : МОЗ України, 2002.

34. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони : затв. наказом МОЗ України від 13.10.2017 № 1257. — Київ : МОЗ України, 2017

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						134
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					ЗВ-21.12.00.000 ПЗ	Арк..
						135
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		