

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА**

КРБ.ЗТ - 80.00.00.000 ПЗ

Група ЗТ-22-1

Роман Блинчук

2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та
будівництва «ІФНТУНГ-ДОННАБА»

Блинчук Роман Володимирович
прізвище, ім'я, по батькові, студента(ки)

(підпис)

Група ЗТ-22-1

Розроблення технології виготовлення завантажувального бункера
тема

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів
«Інжиніринг зварювальних технологій»
спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

<p>Керівник:</p> <p><i>к.т.н.; доцент</i></p> <hr/> <p><i>науковий ступінь, вчене звання</i></p> <p><i>Матвієнків Олег Михайлович</i></p> <hr/> <p><i>прізвище, ім'я, по батькові</i></p> <hr/> <p><i>підпис</i></p>	<p>Завідувач кафедри будівництва:</p> <p><i>к.т.н.; доцент</i></p> <hr/> <p><i>науковий ступінь, вчене звання</i></p> <p><i>Андрусяк Андрій Васильович</i></p> <hr/> <p><i>прізвище, ім'я, по батькові</i></p> <hr/> <p><i>підпис</i></p>
---	--

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДОННАБА»
Кафедра будівництва
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Освітньо-професійна програма «Інжиніринг зварювальних технологій»
Спеціальність 131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри будівництва

_____ Андрусяк А.В.
< > _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра

- Студента(ки) Блинчука Романа Володимировича
1. Тема роботи: Розроблення технології виготовлення завантажувального бункера
затверджена наказом по університету від < 25 > травня 2026 р. № 219/7
2. Термін здачі студентом закінченої роботи 18.червня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи креслення виробу; матеріал – сталь 09Г2С.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
Вступ. 1. Загальний розділ. (Аналіз матеріалів конструкції та визначення їх зварюваності. Аналіз існуючого технологічного процесу.) 2. Технологічний розд. (Вибір способів зварювання та зварювальних матеріалів. Визначення параметр. режиму зварювання. Вибір основного та допоміжного звар. обладнання. Кон-ль якості. 3. Конструкторський розділ. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Креслення конструкції та зварних з'єднань.
2. Схема технологічного процесу.
3 - 6. Креслення складально-зварювальних стендів та пристосувань.
6. Дата видачі завдання _____

Завдання прийняв до виконання _____ Керівник _____

(підпис)

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Номер етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Загальний розділ.</i>	<i>01.05...05.05.2026</i>	
2	<i>Технологічний розділ.</i>	<i>06.05...30.05.2026</i>	
3	<i>Конструкторський розділ.</i>	<i>01.06...10.06.2026</i>	
4	<i>Безпека праці. Висновки.</i>	<i>11.06...17.06.2026</i>	

Здобувач _____ / Р.В. Блинчук /

Керівник роботи _____ / О.М. Матвієнків /

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота присвячена розробці конструкторсько-технологічного проекту виготовлення зварного пірамідального бункера, що для зберігання і самоплинного розвантаження сипучих вантажів у будівельній та промисловій галузях.

У роботі виконано аналіз конструкції та матеріалів виробу. Для виготовлення бункера обрано низьколеговану сталь марки 09Г2С з еквівалентним вмістом вуглецю $C_{\text{екв}} = 0,20\%$, що відноситься до групи добре зварюваних сталей.

Як основний метод зварювання обґрунтовано та вибрано напівавтоматичне зварювання в середовищі захисного газу з використанням зварювального дроту Св-08Г2С. Виконано розрахунок режимів зварювання та розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення бункера, що включає 17 основних операцій.

У конструкторському розділі розроблено допоміжну зварну раму для складання та зварювання бункера, що забезпечує точне позиціонування деталей та зменшення зварювальних деформацій. Виконано розрахунок площі виробничої ділянки ($28,1 \text{ м}^2$) та кількості зварювальних постів.

Розроблено заходи з контролю якості зварних з'єднань, а також комплекс заходів із забезпечення безпеки праці та охорони навколишнього середовища при виконанні зварювальних робіт.

Ключові слова: зварний бункер, напівавтоматичне зварювання, зварювальний дріт Св-08Г2С, режими зварювання, зварні з'єднання, контроль якості, технологічний процес, зварювальні деформації.

ABSTRACT

The bachelor's thesis is devoted to the development of a design and technological project for manufacturing a welded pyramidal hopper intended for storing and gravity-discharge of bulk materials in the construction and industrial sectors.

The work includes an analysis of the product's design and materials. Low-alloy steel grade 09G2S, with an equivalent carbon content of $C_{eq} = 0.20\%$ — classified as a readily weldable steel — was selected for the hopper's fabrication. Semi-automatic welding in a shielding gas environment using Sv-08G2S welding wire was justified and selected as the primary welding method. Welding parameters were calculated and a process routing for hopper manufacturing was developed, comprising 17 main operations.

The engineering section presents an auxiliary welding frame designed for hopper assembly and welding, ensuring accurate part positioning and reduction of welding distortions. The production area (28.1 m²) and the number of welding stations were calculated.

Measures for weld quality control were developed, along with a comprehensive set of occupational safety and environmental protection measures for welding operations.

Keywords: welded hopper, semi-automatic welding, Sv-08G2S welding wire, welding parameters, welded joints, quality control, manufacturing process, welding distortions.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Загальна характеристика зварної конструкції виробу та елементів	9
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції бункера	11
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	14
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування	14
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способу зварювання	14
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів	15
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання	16
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування	20
2.2 Розробка технологічної послідовності виготовлення бункера	26
2.2.1 Заготівельні операції	43
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання	29
2.3 Вибір заходів зі зварювальними напруженнями та деформаціями	32
2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку	33
КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	35
3.1 Компонування складальних пристосувань	35
3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань	36
3.3 Розробка плану цеху	39
4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ	42
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	42
4.2 Вимоги безпеки при проведенні зварювальних робіт	42

					КРБ.ЗТ-80.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Блинчук Р.В.			Розроблення технології виготовлення завантажувального бункера	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Матвієнків О.М.					5	69
Рецензент						ІФНТУНГ ЗТ - 22-1		
Н. Контр.		Матвієнків О.М.						
Затверд.		Андрусак А.В.						

ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	50
ДОДАТОК А	52

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Зварювальна техніка і технологія займають одне з провідних місць в сучасному виробництві. Зварюються корпуси велетенських супертанкерів і сітківка людського ока, мініатюрні деталі напівпровідникових приладів і кістки людини при хірургічних операціях. Багато конструкцій сучасних машин і споруд, наприклад космічні ракети, підводні човни, газо- і нафтопроводи, виготовити без допомоги зварювання неможливо.

Розвиток техніки пред'являє усі нові вимоги до способів виробництва і, зокрема, до технології зварювання. Сьогодні зварюють матеріали, які ще відносно нещодавно вважалися екзотичними. Це титанові, ніобієві і берилієві сплави, молібден, вольфрам, композиційні високоміцні матеріали, кераміка, а також всілякі поєднання різнорідних матеріалів. Зварюються деталі електроніки завтовшки в декілька мікрон і деталі важкого устаткування завтовшки в декілька метрів.

Постійно ускладнюються умови, в яких виконуються зварювальні роботи: зварювати доводиться під водою, при високих температурах, в глибокому вакуумі, при підвищеній радіації, в невагомості. Усе це пред'являє підвищені вимоги до кваліфікації фахівців в галузі зварювання, особливо робітників-зварювальників, оскільки саме вони безпосередньо освоюють нові способи і прийоми зварювання, нові зварювальні машини.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка конструкторсько-технологічного проекту виготовлення зварного пірамідального бункера для зберігання та видачі цементу. Бункер відноситься до металевих зварних конструкцій і широко використовується в будівельній та промисловій галузях.

В роботі вирішуються наступні задачі: аналіз конструкції та матеріалів виробу; вибір і обґрунтування способу зварювання; вибір зварювальних матеріалів; розрахунок режимів зварювання; розробка технологічного

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесу складання та зварювання; вибір зварювального та допоміжного обладнання; розробка заходів з контролю якості та безпеки праці.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика зварної конструкції виробу та елементів

В бакалаврській роботі проводиться конструкторсько-технологічне проектування технології виготовлення зварного бункера. Він призначений для зберігання і видачі цементу у витратну тару і може бути використаний в якості при об'єктного складу цементу. Може працювати як в робочих приміщеннях, так і на відкритих майданчиках.

Бункер – це місткість для зберігання і самоплинного розвантаження сипучих вантажів. Аналіз схем технологічних операцій з сипучими вантажами в транспортно-складських комплексах показує, що бункери є невід'ємним елементом складської системи. Вони бувають різних геометричних розмірів та форм.

Безпосередньо сам бункер є лише складовою частиною всієї бункерної установки. Бункерна установка складається з: завантажувальних і розвантажувальних пристроїв, спонукачів висипання погано сипучих матеріалів, затворів, джерел живлення, пристроїв автоматизації та контролю, та самого бункера. Для автоматизації керування бункерними установками використовують датчики рівня суміші в бункері.

Існують відкриті та закриті бункери зверху. Відкриті значно дешевші ніж закриті, однак вони використовуються для сумішей, що не бояться впливу атмосферних умов, і не виділяють пилу шкідливого для здоров'я персоналу, який його обслуговує.

На практиці бункери виготовляють з металу, залізобетону, дерева і комбінованих матеріалів. Металеві бункери мають порівняно невелику масу, їх опори займають мало місця. Виготовляють їх з металевих листів,

					КРБ.ЗТ-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

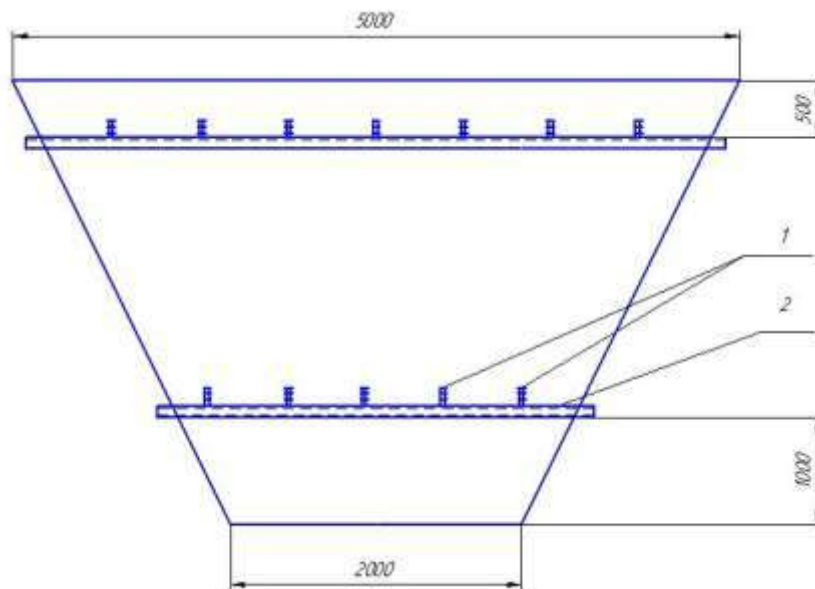
зварюваних між собою на каркасі з подальшою обробкою швів і нерівностей. Ці бункери досить довговічні при вантажах стандартної вологості і не вимагають великих капітальних витрат.

Класифікацію бункерів наведено в таблиці 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Класифікація бункерів та бункерних пристроїв для сипучих речовин

Ознака класифікації	Різновиди
По жорсткості корпусу	Жорсткі, напівжорсткі
По формі	Циліндричні, конічні, призматичні, пірамідні, комбіновані
По розташуванні випускного отвору	Донні (симетричні, асиметричні), бокові
По формі випускного отвору	Круглі, щілинні, багатокутні
По принципу розвантаження	Гравітаційне, примусове, комбіноване
По режиму роботи	Неперервної дії, селективної дії

Основними конструктивними елементами бункера (рис. 1.1) є: чотири трапецієвидні стінки з листового прокату товщиною 8 мм, косинки (48 шт.) та швелери жорсткості 10-го і 20-го профілів.



1) косинки; 2) швелер.

Рисунок 1.3 – Загальний вигляд бункера

Стінки бункера з'єднуються між собою кутовими зварними швами. Швелери приварюються до стінок для забезпечення жорсткості конструкції.

Згідно з ГОСТ 21648-65 корисний геометричний об'єм бункера становить 90-95% від розрахункового геометричного об'єму.

1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції бункера

Під технологічністю треба розуміти надання будь-якому виробу такої форми і вибір таких матеріалів, що забезпечать високі технологічні та експлуатаційні якості виробів при економічному виготовленні.

Технологічність будь-якої конструкції забезпечується урахуванням конструктивних, технологічних та експлуатаційних вимог [2].

До конструктивних вимог належать: вибір раціональної схеми і головних параметрів конструкції на основі аналізу існуючих конструктивних форм і використання комплексу стандартів; вибір основних та допоміжних матеріалів, конструктивних форм зварних з'єднань і вузлів, що забезпечують досить високу якість виробу; взаємне розташування вузлів і форм спряження, що забезпечують найвигідніші умови збирання і зварювання. Мінімальний обсяг обробки до і після зварювання; можливість розбивки виробу на вузли і підвузли; вибір простих форм деталей, які забезпечують мінімальну довжину швів і розташування їх в зручних місцях для виконання зварювальних робіт.

Основні технологічні вимоги включають: вибір теплового режиму зварювання, який забезпечує відповідні допуски при збиранні і зварюванні вузлів і усього виробу в цілому; вибір оптимальних технологічних процесів для виготовлення продукції; правильна послідовність виконання збирально-зварювальних операцій; призначення мінімальних допусків на механічну та термічну обробку виробів; вибір режимів термообробки; вибір оптимальних режимів зварювання та контролю виробу; вибір раціонального варіанту зварювального обладнання.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Експлуатаційні вимоги передбачають: забезпечення необхідної надійності і довговічності основних показників якості зварної конструкції; підвищення економічності конструкції в експлуатації та простота обслуговування при виконанні ремонтних робіт; покращення показників якості та стабільності. Для порівняння технологічності зварних конструкцій використовуються такі показники: матеріалоємність, трудомісткість, собівартість, енергоємність, тривалість виробничого циклу.

Конструкція бункера відрізняється задовільним рівнем технологічності: застосовується стандартний листовий прокат і сортамент, зварні з'єднання прості за формою і доступні для виконання, а розміщення швів не вимагає складного обладнання.

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

Перед тим як обирати матеріали для виготовлення будь-якого виробу, необхідно оцінити їх зварюваність та механічні властивості. Зварюваність – здатність матеріалів утворювати зварні з'єднання. Зварюваність оцінюється ступенем відповідності властивостей зварного з'єднання однойменним властивостям основного матеріалу та його схильністю до утворення дефектів.

Якісне утворення зварного з'єднання визначається властивостями зварюваних металів, їх хімічним складом, вибором електродного й присаджувального металу, режимами зварювання, температурою нагрівання та ін. На зварюваність значно впливає хімічний склад сталі. Зварюваність сталі змінюється залежно від вмісту вуглецю та легуючих елементів.

В даному випадку всі деталі конструкції виготовлені із сталі марки 09Г2С. Сталь 09Г2С відноситься до маловуглецевих низьколегованих сталей. Хімічний склад даної сталі наведено в таблиці 1.2 [3].

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Хімічний склад у % сталі 09Г2С (ГОСТ 19281-89)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	0,3	0,04	0,035	0,3	0,08	0,3	0,08

Механічні властивості сталі 09Г2С наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 09Г2С

Товщина прокату, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	КСУ при +20°C, Дж/см ²
10-20	470	325	21	59
21-32	460	305	21	34

Для визначення зварюваності користуємося формулою еквівалентного вмісту вуглецю [4]:

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

Підставивши числові значення: Секв = 0,12 + 1,5/6 + 0,3/15 = 0,12 + 0,25 + 0,02 = 0,20%.

Одержаний за цією формулою еквівалентний вміст вуглецю вказує про зварюваність сталей, які умовно поділяються на чотири групи:

- добре зварювані сталі (Секв не більше 0,25%);
- задовільно зварювані сталі (Секв = 0,25÷0,35%);
- обмежено зварювані сталі (Секв = 0,35÷0,45%);
- погано зварювані сталі (Секв більше 0,45%).

Оскільки Секв = 0,20% < 0,25%, сталь 09Г2С відноситься до групи добре зварюваних сталей. Сталі цього класу зварюються усіма видами дугового зварювання в широкому діапазоні режимів зварювання, незалежно від товщини металу, жорсткості конструкції, температури навколишнього середовища. Попереднього та супровідного підігріву при зварюванні не потрібно. Сталь 09Г2С широко використовується для виготовлення зварних конструкцій, що застосовуються в будівельній індустрії.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

Зварювання проводиться в середовищі вуглекислого газу CO₂. Дане зварювання отримало велике застосування при виготовленні та монтажі різних будівельних конструкцій з вуглецевих та низьколегованих сталей завдяки своїй дешевизні та ряду технологічних переваг [5]:

- відносна простота процесу та обслуговування обладнання;
- відсутність необхідності застосування флюсів або обмазок, а отже і очищення швів від шлаку і невикористаного флюсу;
- можливість механізації процесу у всіх просторових положеннях;
- можливість регулювання процесу зварювання та спостереження за дугою;
- висока продуктивність процесу;
- високий ступінь концентрації джерела тепла, що дозволяє зменшити зону термічного впливу та зменшити короблення виробу;
- економічність процесу;
- кращі умови праці зварника.

Вуглекислий газ, що подається в зону дуги, не є нейтральним, оскільки під дією високої температури він дисоціюється на оксид вуглецю і вільний кисень ($CO_2 \rightarrow CO + O$). При цьому відбувається часткове окислення розплавленого металу зварювальної ванни і, як наслідок, метал шва виходить пористим з низькими механічними властивостями. Для зменшення окислювальної дії вільного кисню застосовують електродний дріт з підвищеним вмістом розкислюючих домішок (марганцю, кремнію). Шов виходить безпористий, з хорошими механічними властивостями.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Зварювання у вуглекислому середовищі виконується струмом зворотної полярності, що забезпечує стабільне горіння дуги і мінімальне розбризкування металу. Витрата вуглекислого газу складає 400-500 л/год.

У порівнянні з ручним дуговим зварюванням, напівавтоматичне зварювання в CO₂ забезпечує підвищення продуктивності в 2,5-3 рази за рахунок безперервної подачі дроту та відсутності простоїв на зміну електродів.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

До зварювальних матеріалів при напівавтоматичному зварюванні в захисних газах відносяться захисні гази і зварювальні дроти. Сталевий зварювальний дріт, призначений для зварювання і наплавлення, виготовляється по ГОСТ 2246-70. Оскільки дана конструкція виготовлена з низьковуглецевої сталі 09Г2С, зварюють її стандартним кремнемарганцевим дротом марки Св-08Г2С. Хімічний склад та механічні властивості даного дроту наведено у табл. 2.1 та 2.2 відповідно [6].

При цьому способі зварювання в зону дуги подається захисний газ, струмись якого, обтікаючи електричну дугу і зварювальну ванну, захищає розплавлений метал від дії атмосферного повітря, окислення і азотування.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту Св-08Г2С у %

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,03	1,80-2,10	0,70-0,95	0,03	0,025	0,20	0,25	0,20

Таблиця 2.2 – Механічні властивості зварювального дроту Св-08Г2С

Діаметр, мм	Тимчасовий опір розриву, Н/мм ²	Коливання тимчасового опору в одному мотку, Н/мм ²
1,6	882-1274	98
2,0	882-1274	98

Для того щоб отримати якісне зварне з'єднання, зварювальний дріт повинен відповідати наступним вимогам: поверхня дроту повинна бути чистою та гладкою, без тріщин, розшарувань, окисних плівок, підкатів, забоїн, окалини, іржі, масла й інших забруднень. Допускаються окремі риси, подряпини, місцева рябизна, вм'ятини глибиною не більше граничного відхилення по діаметру.

Вуглекислий газ CO₂ (ГОСТ 8050-85) не має кольору і запаху. Отримують його з газоподібних продуктів згорання антрациту або коксу, при випаленні вапняку і т.д. Поставляється в зрідженому (рідкому) стані у балоні типу А місткістю 40 л, в який при максимальному тиску 7,5 МПа вміщується 25 кг вуглекислоти (при випарі утворюється близько 12 750 л газу). Чистота вуглекислоти першого сорту має бути не менше 99,5%, а вищого сорту – 99,8%. Балони з вуглекислотою забарвлюють в чорний колір з жовтим написом «CO₂ Зварювальний».

Для зниження вологості вуглекислого газу рекомендується встановити балон вентилям вниз і після відстоювання впродовж 10-15 хв обережно відкрити вентиль і випустити з балона вологу. Між балоном і редуктором встановлюють електричний підігрівач для попередження замерзання вологи.

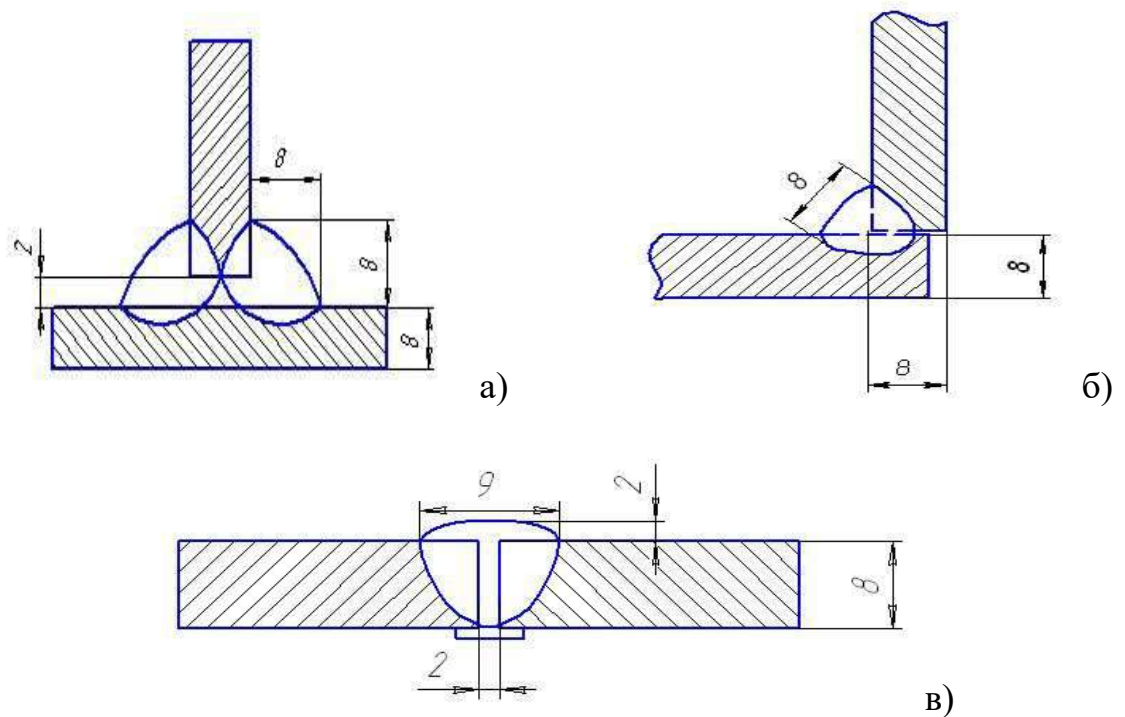
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Під режимом зварювання розуміють сукупність показників та умов процесу зварювання. При визначенні режимів зварювання необхідно вибрати такі параметри, які забезпечать отримання швів заданих розмірів, форми і якості. Основними режимами напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів є: сила зварювального струму, напруга на дузі, швидкість зварювання, рід струму та його полярність, розхід газу, швидкість подачі дроту, діаметр електродного дроту.

В даному випадку розрахунок режимів зварювання проводиться для трьох видів зварних з'єднань: кутового типу У4, стикового типу С4 та таврового типу Т3 – згідно з ГОСТ 14771-76.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.1 зображені перерізи зварних з'єднань.



а) таврове з'єднання типу ТЗ; б) кутове з'єднання типу У4; в) стикове з'єднання типу С4.

Рисунок 2.1 – Переріз зварних з'єднань згідно з ГОСТ 14771-76

Розрахунок режиму зварювання кутового з'єднання типу У4

Проведемо розрахунок для кутового з'єднання типу У4 згідно з ГОСТ 14771-76.

1) Вибираємо катет кутового з'єднання. В даному випадку катет дорівнює $K = 8$ мм.

2) Зварювання в CO_2 проводять на постійному струмі зворотної полярності.

3) Діаметр електродного дроту вибираємо з таблиці 2.3 залежно від товщини металу 8 мм: $d_e = 2$ мм [7, 8].

Таблиця 2.3 – Залежність діаметру електродного дроту від товщини металу

Товщина металу, мм	1-2	3-6	6-24 і більше
Діаметр електродного дроту d_e , мм	0,8-1,0	1,2-1,6	2,0

4) Розрахунок зварювального струму ($I_{зв}$, А), проводимо за формулою

$$I_{зв} = (\pi \cdot d_e^2 / 4) \cdot a, \quad (2.1)$$

де a – густина струму в електродному дроті (при зварюванні у вуглекислому газі $a = 110 \div 130$ А/мм²);

d_e – діаметр електродного дроту, мм.

$$I_{зв} = (3,14 \cdot 1,2^2 / 4) \cdot 130 = 145 \text{ А.}$$

5) Напруга на дузі (U_d , В), визначається за формулою

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot I_{зв}, \quad (2.2)$$

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot 145 = 21 \text{ В.}$$

6) Щоб визначити швидкість подачі електродного дроту необхідно визначити коефіцієнт розплавлення електродного матеріалу α_p , г/(А·год)

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot I_{зв} / d_e, \quad (2.3)$$

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot 145 / 1,2 = 12,6 \text{ г/(А·год)}$$

7) Швидкість подачі електродного дроту ($V_{под}$, м/год) визначаємо за формулою

$$V_{под} = 4 \cdot \alpha_p \cdot I_{зв} / (\pi \cdot d_e^2 \cdot \rho), \quad (2.4)$$

$$V_{под} = 4 \cdot 12,6 \cdot 145 / (3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8) = 207 \text{ м/год}$$

де ρ – густина металу електродного дроту = 7,8 г/см³.

8) Площа поперечного перерізу наплавленого металу F , мм²

$$F = K_y \cdot K^2 = 2 \cdot 8^2 = 128 \text{ мм}^2$$

де K_y – коефіцієнт збільшення (для катету 8 мм $K_y = 2$).

9) Маса наплавленого металу на 1 м шва G_H , г/м:

$$G_H = F \cdot \rho \cdot l = 128 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 998 \text{ г/м}$$

10) Швидкість зварювання ($V_{зв}$, см/год) визначаємо за формулою

$$V_{зв} = (\alpha_H \cdot I_{зв} / \rho \cdot F) 100, \quad (2.3)$$

$$V_{зв} = (14,3 \cdot 145 / 7,8 \cdot 128) 100 = 200,7 \text{ см/год}$$

де $\alpha_H = \alpha_p \cdot (1 - \Psi) = 15,88 \cdot (1 - 0,1) = 14,3$ г/(А·год); $\Psi = 0,1$ – коефіцієнт втрат металу при зварюванні у CO₂.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11) Витрата вуглекислого газу: при зварюванні струмом 145 А витрата складає 8...10 л/хв.

12) Виліт електродного дроту становить 20...30 мм (з таблиці 2.4).

Таблиця 2.4 – Режими зварювання у вуглекислому газі кутових швів

Катет шва, мм	Діам. дроту, мм	Кількість шарів	Зв. струм, А	Напруга дуги, В	Виліт ел-да, мм	Витрата газу, л/хв
1,2-2	0,6	1	60-70	18-20	8-10	5-6
2-4	1,2	1	90-180	20-24	10-15	8-10
5-6	2,0	1	250-380	27-35	20-30	16-18
7-9	2,0	1	320-380	30-36	20-30	16-18
9-11	2,0	2	320-380	30-36	20-30	18-20

Розрахунок режиму зварювання стикового з'єднання типу С4

Проведемо розрахунок для стикового з'єднання типу С4 згідно з ГОСТ 14771-76 (зварювання стінок бункера на мідній підкладці без розділки кромки).

1) Товщина металу $\delta = 8$ мм. Діаметр електродного дроту $d_e = 1,2$ мм (з таблиці 2.3).

2) Зварювання ведеться на постійному струмі зворотної полярності.

3) Розрахунок зварювального струму проводимо за формулою 2.1:

$$I_{зв} = 145 \text{ А}$$

4) Напруга на дузі, за формулою 2.2: $U_0 = 21 \text{ В}$.

5) Для стикового з'єднання площа поперечного перерізу наплавленого металу:

$$F = e \cdot q + \delta \cdot b = 12 \cdot 2 + 8 \cdot 0 = 24 + 0 \approx 120 \text{ мм}^2$$

де e – ширина шва; q – висота посилення; b – зазор між кромками.

6) Швидкість зварювання: $V_{зв} \approx 221 \text{ см/год}$.

7) Витрата дроту G_d , г:

$$G_d = G_H / (1 - \Psi) = 998 / 0,9 = 1109 \text{ г/м}$$

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

8) Витрата вуглекислого газу: 8...10 л/хв при струмі 145 А.

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

До складу технологічного устаткування, необхідного для виконання зварювальних робіт при напіваавтоматичному зварюванні в захисних газах входять: джерело живлення; газова апаратура; прилади газової магістралі; зварювальний напіваавтомат.

В даному випадку для зварювання обираємо зварювальний напіваавтомат нового покоління Fronius Fortis 270 (рис. 2.2) [9].



Рисунок 2.2 – Зварювальний напіваавтомат Fronius Fortis 270

Fronius Fortis 270 — це сучасний, високотехнологічний та індустріальний зварювальний апарат яка замінює старіші лінійки та фокусується на максимальній стабільності дуги.

Апарат є мультипроцесним (Multiprocess), тобто крім основного режиму MIG/MAG, він повноцінно працює з TIG та MMA.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний зварювальний напівавтомат має широке коло застосування: для ремонтно-відновлювальних робіт, спорудження металевих та порталних конструкцій, слюсарному та ковальському виробництві. Технічні параметри Fronius Fortis 270 наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика зварювального напівавтомата Fronius Fortis 270

Найменування параметра	Значення
Напруга в мережі	3×230/400 В~, 50-60 Гц
Максимальна робоча напруга	46 В
Коефіцієнт потужності	0,99
Діапазон зварювального струму	3...270 А
Габаритні розміри, мм:	
Довжина	687
Ширина	368
Висота	555
Вага, кг	36,5

Газова магістраль складається з: балона з газом, підігрівача і осушувача (що застосовують тільки при використанні вуглекислого газу), редуктора, витратоміру, газоелектричного клапана і шланга, що сполучає ці елементи із зварювальним пальником.

Електричний підігрівач встановлюють для того, щоб попередити замерзання вологи в каналах редуктора і закупорку їх льодом, між вентилям балона і редуктором. Осушувачі призначені для поглинання вологи, що міститься у вуглекислому газі.

Редуктор служить для пониження мережевого тиску або тиску, під яким газ знаходиться у балоні, до робочої величини і автоматичної підтримки робочого тиску незмінним. Витратоміри призначені для виміру витрати захисного газу.

При виборі пристосування для збирання та зварювання необхідно враховувати те, що ці пристосування повинні забезпечувати наступне:

- зменшення трудомісткості робіт, підвищення продуктивності;
- підвищення точності робіт, поліпшення якості продукції;

Пристосування повинні задовольняти наступним вимогам:

- забезпечувати найвигідніший порядок збірки;
- мають бути жорсткими і міцними, для точного закріплення деталей;
- забезпечити доступність до місць установки деталей;
- забезпечити положення деталей, при яких буде найменше число поворотів;
- забезпечити вільний доступ при перевірці виробу;
- забезпечити безпечне виконання складально-зварних робіт.

Першою технологічною операцією є транспортні роботи, для забезпечення виконання даних робіт використовується поворотній пересувний кран, його зображено в графічній частині роботи, а технічна характеристика наведена в таблиці 2.6, та кран-балка, яка зображена на рисунку 2.3, технічна характеристика – таблиця 2.7.

Таблиця 2.9 - Технічна характеристика поворотного пересувного крана

Найменування параметра	Значення
Вантажопідйомність, т	5
Висота підйому вантажу, м	4,5
Виліт, м	
Найбільший	12
Найменший	5
Швидкість, м/хв.	
підйому вантажу	0,9
Поворот крана	вручну
Привід вимірювання вильоту стріли	ручний
Загальна маса крана, т	1,90



Рисунок 2.3 – Кран-балка

Таблиця 2.7 - Технічна характеристика кран-балки

Найменування параметра	Значення
Вантажопідйомність, т	6
Висота підйому вантажу, м	10
Швидкість, м/хв.	
підйому вантажу,	2
Руху	8,2
Загальна маса, т	0,6

Також для транспортних операцій використовується траверса, яка зображена в графічній частині.

Згідно технологічного процесу, наступними є очисні операції, для їх виконання передбачено використання дробеструменевої машини, її технічна характеристика наведена в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Технічна характеристика дробеструменевої машини

Найменування параметра	Значення
Ширина оброблюваного листа, мм	до 3200
Товщина листа, мм	6-50
Довжина листа, мм	2500-16000
Максимальна висота профілю, мм	400
Максимальна довжина профілю, мм	16000
Швидкість руху листа, м/хв.	3
Швидкість руху профілю, м/хв.	1,5

Для різання листів технологічним процесом передбачено використання гільйотинних ножиць гільйотинні ножиці з чпк YAWEI HGS(K)-8 [10] (рис.2.4).



Рисунок 2.4 - Ножиці гільйотинні з чпк YAWEI HGS(K)-8

Технічна характеристика даного верстату наведена в таблиці 2.9. Призначені для різання листового металу з автоматичною установкою потрібної величини зазору між ножами, в залежності від товщини листа і зусилля притиску, пропорційного зусилля різання.

Таблиця 2.9 - Ножиці гільйотинні з чпк YAWEI HGS(K)-8

Найменування параметра	Значення
Максимальні габарити листа, що розрізається, мм	
- довжина	2000
- ширина	6000
Діапазон товщини, що розрізається, мм	1...16
Висота ходу ножа, мм	160
Кут різання, °	2
Потужність, кВА	10
Напруга, В	380
Частота, Гц	50

Для вирізання косинок та різання швелерів використовується дворучна шліфувальна машина. Використання даної машини є досить ефективним, оскільки великого об'єму робіт на дану машину не покладається.

Технологічним процесом передбачено, свердлильні операції, для забезпе-чення цього пункту технологічного процесу використовується вертикально-свердлильний станок 2Н135 (рис.2.5), технічна характеристика на нього - таблиця 2.10.



Рисунок 2.5 – Вертикально-свердлильний станок 2Н135

На даному верстаті дозволяється виконувати операції свердлення, зенкування, різьбо-нарізання. Він дозволяє використовувати різного роду пристосування та інструменти, цим самим розширюючи свої технологічні властивості.

Таблиця 2.10 - Технічна характеристика вертикально-свердлильного верстату 2Н135

Найменування параметра	Значення
Найбільший діаметр свердлення, мм	50
Робоча поверхня столу, мм	500x560
Кількість швидкостей шпинделя	12
Потужність, кВт	4,0
Найбільший хід шпинделя, мм	250
Маса, кг	1200
Розміри верстату, довжина, ширина, висота, мм	1030x835x2535

2.2 Розробка технологічної послідовності виготовлення бункера

2.2.1 Заготівельні операції

Технологічний процес виготовлення бункера виглядає наступним чином.

Операція 1 – Вхідний контроль та транспортування матеріалів. На завод подаються 6 листів зі сталі 09Г2С розміром 8×1540×6010 мм згідно з ГОСТ 19281-89. Транспортні операції проводяться за допомогою поворотного пересувного крана вантажопідйомністю 4 т та кран-балки вантажопідйомністю 5 т. Також подаються 8 швелерів 10-ого профілю та 4 швелери 20-ого профілю згідно ГОСТ 8240-72 (табл. 2.11).

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.11 – Характеристика швелерів 10-ого та 20-ого профілів

Номер профілю	h, мм	b, мм	d, мм	t, мм	Площа, см ²	Маса 1м, кг
10	100	46	4,5	7,6	10,9	8,59
20	200	76	5,2	9,0	23,4	18,4

Операція 2 – Вхідний контроль якості. Отримані листи візуально-інструментальним методом контролю якості перевіряють на відсутність серйозних дефектів, порушення геометрії, чи наявності інших механічних пошкоджень. Перевіряється наявність сертифікатів якості на прокат.

Операція 3 – Дробоструйна очистка. Листи транспортуються на очисну дільницю, де вони проходять дробоструйну очистку за допомогою дробоструйної машини для зняття різного роду забруднень та заводської захисної речовини. Очистка забезпечує якісне зчеплення металу при зварюванні. На рисунку 2.6 зображена схема закріплення листів, при їх транспортуванні;

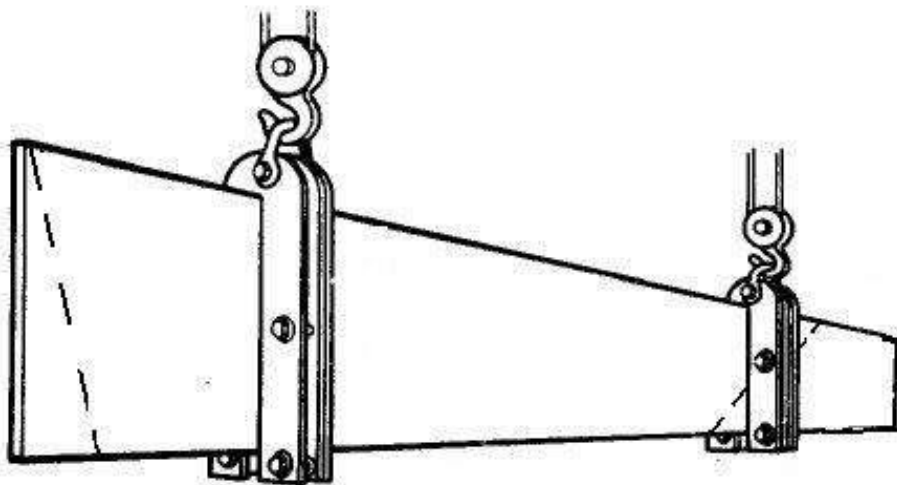


Рисунок 2.6 – Схема закріплення листів

Операція 4 – Розмітка. По завершенню очистки листи подаються на дільницю, де проводиться розмітка відповідно до конструкторської документації. Схема розмічування листів показана на рис. 2.7.

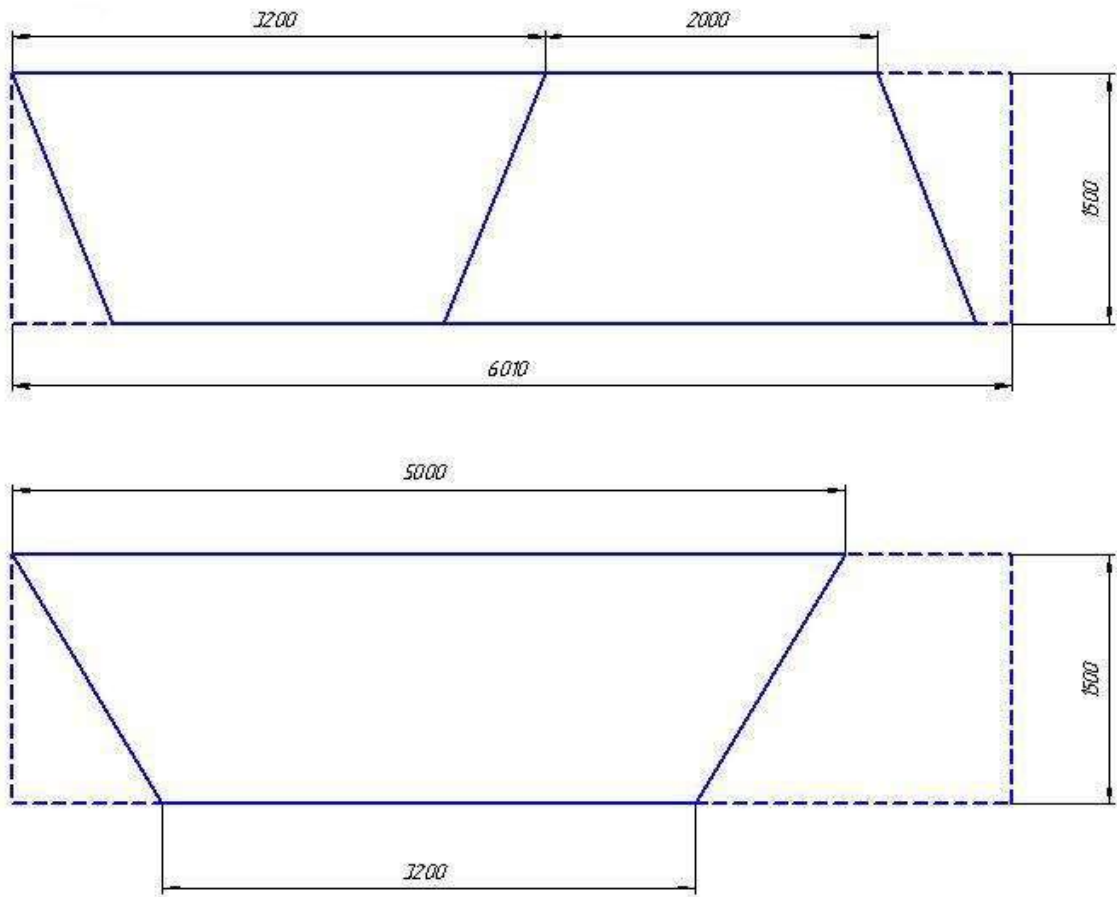


Рисунок 2.7 – Розмітка листів для вирізання стінок бункера

Операція 5 – Різання. На гільйотинних ножицях YAWEI HGS(K)-8, проводиться різання згідно розмітки. З відходів листів вирізають 48 косинок.

Операція 6 – Свердлення. Верхню частину стінок бункера подають до вертикально-свердлильного верстату 2Н135, на якому проводиться свердлення отворів для болтового кріплення стінок на допоміжній рамі (рис. 2.8).

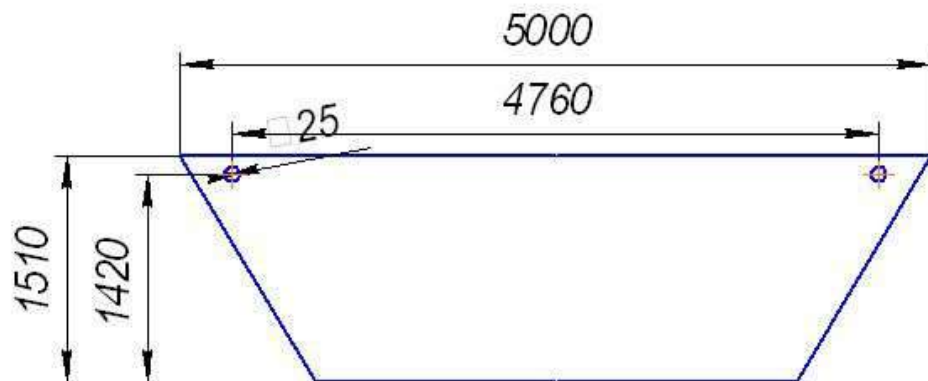


Рисунок 2.8 – Місця для свердлення отворів

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Операція 7 – Зварювання стінок бункера (стикові шви). Листи подаються на складально-зварювальну дільницю, де проводиться зварювання стінок бункера напівавтоматичним способом в середовищі CO₂ згідно з ГОСТ 14771-76 з використанням дроту Св-08Г2С. Зварювання проводиться на мідній підкладці без розділки кромки (тип з'єднання С4).

Операція 8 – Приварювання косинок до швелерів. Виконується кутовими швами з катетом $K = 8$ мм.

Операція 9 – Приварювання швелерів з косинками до стінок бункера (таврові шви). Виконується з двох сторін для забезпечення рівномірного розподілу напружень. Тип з'єднання – ТЗ згідно з ГОСТ 14771-76.

Операція 10 – Контроль якості зварних з'єднань стінок. По завершенню зварювання швелерів проводиться контроль якості зварних з'єднань та перевірка геометрії стінок.

Операція 11 – Закріплення стінок на допоміжній рамі. Проводиться закріплення стінок бункера на зварній рамі з допомогою пересувного поворотного крана, кран-балки, притискачів та розтискувачів.

Операція 12 – Перевірка складання. Проводимо візуальний контроль виконання складальних операцій та перевіряємо симетричність складання стінок бункера з допомогою шаблонів, кутників та повторних вимірювань.

Операція 13 – Прихоплення. Після закріплення стінок на рамі виконуються прихоплення. Прихоплення виконуються розміром 50-60 мм через кожні 500 мм шва. Схема накладення прихоплень показана на рис. 2.9.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

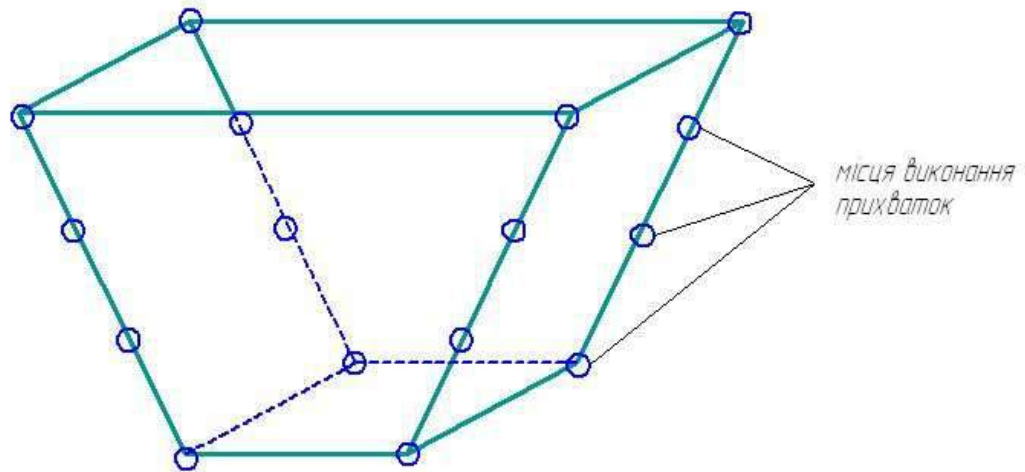


Рисунок 2.9 – Місця виконання прихоплень

Операція 14 – Контроль прихваток. Перевіряємо якість та правильність виконання прихваток. Прихватки, що мають дефекти, вирізають і виконують нові.

Операція 15 – Зварювання корпусу бункера (кутові шви). Бункер з рамою встановлюється в горизонтальне положення, і починається процес зварювання корпусу бункера. Зварювання проводиться в нижньому кутовому положенні за два проходи. Порядок накладання швів: від середини до країв, симетрично відносно осі конструкції (рис. 2.10).

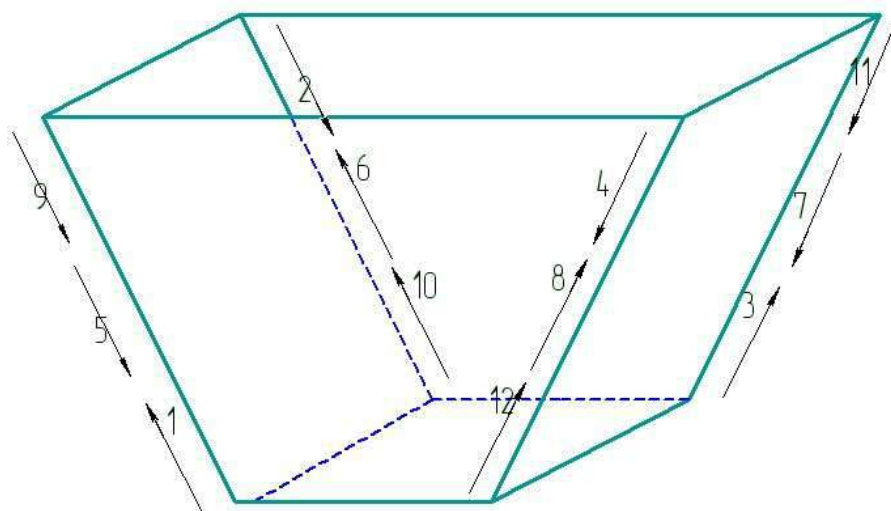


Рисунок 2.7 – Порядок накладання швів

Операція 16 – Зняття рами та контроль якості. Після виконання процесу зварювання знімається рама і перевіряється якість виконання зварних швів.

Операція 17 – Маркування та фарбування. Готовий бункер перевозиться на ділянку для маркування та фарбування. Маркування та фарбування виробу проводиться із зовнішньої сторони, а внутрішня сторона бункера покривається ґрунтовкою згідно з ГОСТ 29343-78.

Кожен бункер повинен маркуватися із зазначенням: типу бункера, заводу-виготовлювача, маси бункера, дати виготовлення та штампу зварника.

Маршрутна карта технологічного процесу виготовлення бункера наведена у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 - Маршрутна карта технологічного процесу

№ оп.	Найменування операції	Обладнання	Тривалість, хв
005	Вхідний контроль матеріалів	Вимірювальний інструмент	30
010	Транспортування листів на очистку	Кран-балка 6 т	20
015	Дробоструйна очистка листів	Дробоструйна машина	60
020	Розмітка листів	Розмічальний стіл	90
025	Різання листів на гільйотинних ножицях	СТД9АН 16×3150	45
030	Різання косинок та швелерів	Болгарка DWT WS-180 DV	30
035	Свердлення отворів	Верстат 2Н135	40
040	Зварювання стінок бункера (стик)	Fronius VST 457/2	120
045	Приварювання косинок до швелерів	Fronius VST 457/2	90
050	Приварювання швелерів до стінок	Fronius VST 457/2	150
055	Контроль якості зварних швів стінок	Комплект «Луч»	30

Закінчення таблиці 2.12

060	Складання стінок на рамі	Допоміжна рама, притискачі	60
065	Контроль складання, виконання прихваток	Шаблони, лінійки	30
070	Кантування рами з бункером	Кран, траверса	20
075	Зварювання корпусу (кутові шви)	Fronius VST 457/2	180
080	Зняття рами, контроль зварних швів	Комплект «Луч»	45
085	Маркування та фарбування	Розпилювач КР-96100	60
090	Грунтування внутрішньої поверхні	Розпилювач КР-96100	40
095	Приймальний контроль	Вимірвальний інструмент	30
	Разом:		1120

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

Зварювальні деформації і напруження виникають внаслідок нерівномірного нагрівання і охолодження металу в процесі зварювання. Для конструкцій типу бункера основними видами деформацій є: загальний вигин конструкції, кутові деформації стінок, зміна лінійних розмірів. Для мінімізації зварювальних деформацій і напружень застосовується комплекс конструктивних і технологічних заходів.

Конструктивні заходи:

- симетричне розташування зварних швів відносно осі конструкції;
- мінімальний переріз зварних швів при достатній міцності з'єднань;
- застосування ребер жорсткості (швелерів) для зменшення деформацій стінок.

Технологічні заходи:

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- жорстке закріплення деталей у пристосуванні (допоміжній рамі) під час зварювання;
- зворотньоступінчастий метод зварювання для довгих швів (довжина ступеня 150-300 мм);
- симетрична послідовність накладання швів (від середини до країв);
- вибір мінімально необхідних параметрів режиму зварювання для зменшення тепловкладення;
- виконання зварювання в нижньому положенні для забезпечення кращого формування шва і зменшення деформацій.

Після зварювання рекомендується виконати правку конструкції в холодному стані пресом або вальцями при виявленні залишкових деформацій, що перевищують допустимі значення. Залишкові зварювальні напруження в готовій конструкції є нормальним явищем і не знижують несучу здатність бункера при правильно підібраних параметрах зварювання.

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

Контроль якості здійснюється на всіх етапах виготовлення бункера і включає вхідний контроль матеріалів, операційний контроль і приймальний контроль готового виробу.

Вхідний контроль включає: перевірку наявності та відповідності сертифікатів на основний метал і зварювальні матеріали; візуальний огляд прокату на наявність поверхневих дефектів; перевірку геометричних розмірів листів і профілів.

Операційний контроль включає: перевірку якості підготовки крайок під зварювання; контроль якості складання (зазори, зміщення кромки, кути); перевірку якості прихваток; пошаровий контроль при багат шаровому зварюванні.

Основним методом приймального контролю є візуально-інструментальний контроль (ВІК) згідно ДСТУ ISO 17637:2003. Перед проведенням ВІК зварний шов потрібно обстежити і переконатися, що:

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

- а) весь шлак вилучено вручну або механічним способом;
- б) немає ніяких відбитків інструмента або слідів удару;
- в) при необхідності зварний шов зачищений.

Зварний шов перевіряють на відповідність вимогам:

- а) профіль зовнішньої сторони шва та висота посилення відповідають вимогам стандарту;
- б) поверхня зварного шва стабільна, форма і крок хвилеподібних лусочок рівномірні;
- в) ширина зварного шва постійна по всій довжині з'єднання;
- г) відсутні тріщини, пори, подрізи, напливи, незаварені кратери.

Для вимірювання і перевірки якості зварних з'єднань використовується комплект для ВІК «Луч», до складу якого входять: шаблон зварника УШС-3; лупи ЛП-3, ЛП-6, ЛВ-10; штангенциркуль ЩЦ-1-125-0,1; лінійка Л-300; набір щупів; кутник У-90; ліхтарик; оглядове дзеркало.

Виправлення дефектів: ділянки з неприпустимими дефектами видаляють механічно (вирубкою або вигостренням) і заварюють заново. Виправлення однієї дефектної ділянки більше двох разів не допускається. Після виправлення ділянка підлягає повторному контролю.

Таблиця 2.12 – Допустимі дефекти зварних швів за ISO 5817

Тип дефекту	Клас якості В (висока)	Клас якості С (середня)	Клас якості D (низька)
Тріщини	Неприпустимі	Неприпустимі	Неприпустимі
Подріз, мм	≤ 0,5	≤ 1,0	≤ 1,5
Пори, % площі	≤ 0,5%	≤ 1,5%	≤ 2,5%
Перевищення зварного шва, мм	≤ 1	≤ 2	≤ 3

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних пристосувань

В бакалаврській роботі проектується технологія виготовлення бункера. Оскільки дана конструкція є досить громіздкою, необхідно розробити ряд пристроїв, які б полегшили умови виготовлення цього виробу, дали можливість заощадити час і були економічно вигідними та безпечними в експлуатації.

При виборі пристосування для збирання та зварювання необхідно враховувати, що ці пристосування повинні забезпечувати зменшення трудомісткості робіт, підвищення продуктивності, підвищення точності та поліпшення якості продукції.

Пристосування повинні задовольняти наступним вимогам:

- забезпечувати найвигідніший порядок збірки;
- мати жорстку і міцну конструкцію для точного закріплення деталей;
- забезпечити доступність до місць установки деталей;
- забезпечити положення деталей, при яких буде найменше число поворотів;
- забезпечити вільний доступ при перевірці виробу;
- забезпечити безпечне виконання збірно-зварних робіт.

Технологічним процесом передбачено розробку допоміжної зварної рами, яка призначена для складання стінок бункера, фіксування їх нерухомо з подальшим підйомом рами з бункером і встановленням їх на допоміжний стенд. Це необхідно для того, щоб забезпечити можливість зварювання в положенні «в човник» і в горизонтальному положенні, оскільки конструкцію такого розміру вертикальними швами зварювати досить незручно, і якість таких швів може бути сумнівною.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання спеціального пристосування для збирання та зварювання дозволяє точно зібрати і прихватити деталі в конструкцію, а також забезпечує мінімальні зварювальні деформації завдяки жорсткому закріпленню.

3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань

Для виготовлення допоміжної рами використовуються матеріали, наведені в таблиці 3.1. Оскільки програма виробництва бункера є одиночною, для виготовлення рами допускається використовувати матеріали, які вже були у використанні.

Таблиця 3.1 – Матеріали з яких виготовлена допоміжна зварна рама

№	Позначення	Найменування	Кі-ть	Вага одного, кг	Вага всього, кг
1	ГОСТ 8240-72	Швелер 20, L=2280 мм	4	41,95	167,8
2	ГОСТ 8732-78	Труба Ø30×4, L=1960 мм	4	5,41	21,64
3	ГОСТ 8732-78	Труба Ø40×4, L=1110 мм	8	6,24	49,92
4	ГОСТ 8732-78	Труба Ø64×6, L=1330 мм	1	9,35	9,35
5	ГОСТ 8732-78	Труба Ø50×4, L=1960 мм	1	11,58	11,58
Разом:					260,29

Конструкція допоміжної рами розроблена таким чином, щоб її можна було використовувати для виготовлення і інших розмірів бункерів.

Нижня частина допоміжного пристрою складається з 4 швелерів 20-ого профілю, які зварені у формі квадрата розміром 2000 мм × 2000 мм з використанням косинки (рис. 3.1). Зварювання швелерів проводиться кутовими швами.

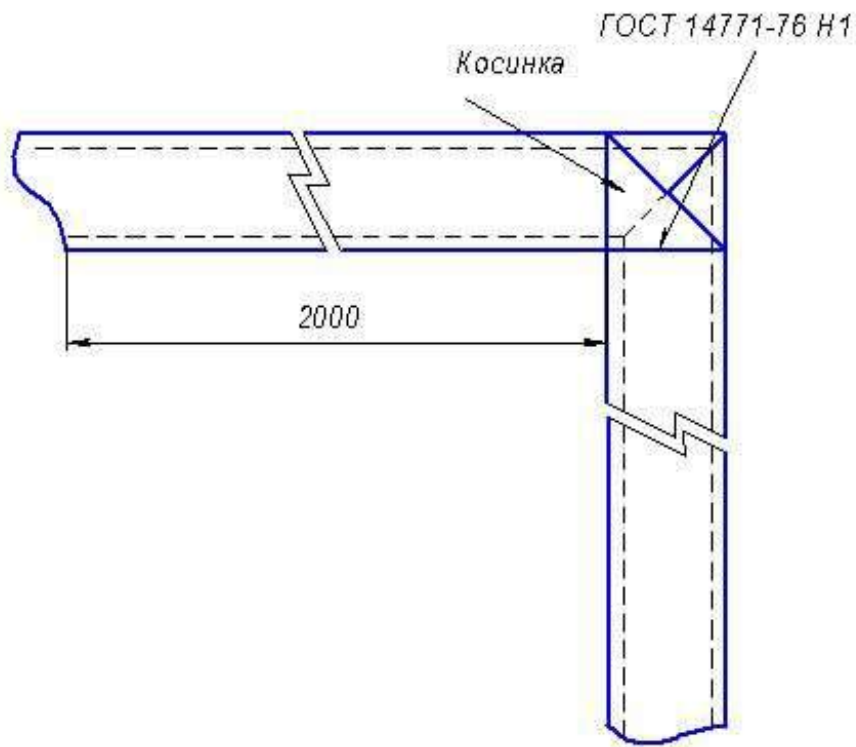


Рисунок 3.1 – Схема зварювання швелерів

До косинки приварена труба $\text{Ø}40 \times 4$ довжиною $L=1110\text{мм}$ (рис.3.2), це потрібно для того щоб раму з бункером можна було кантувати.

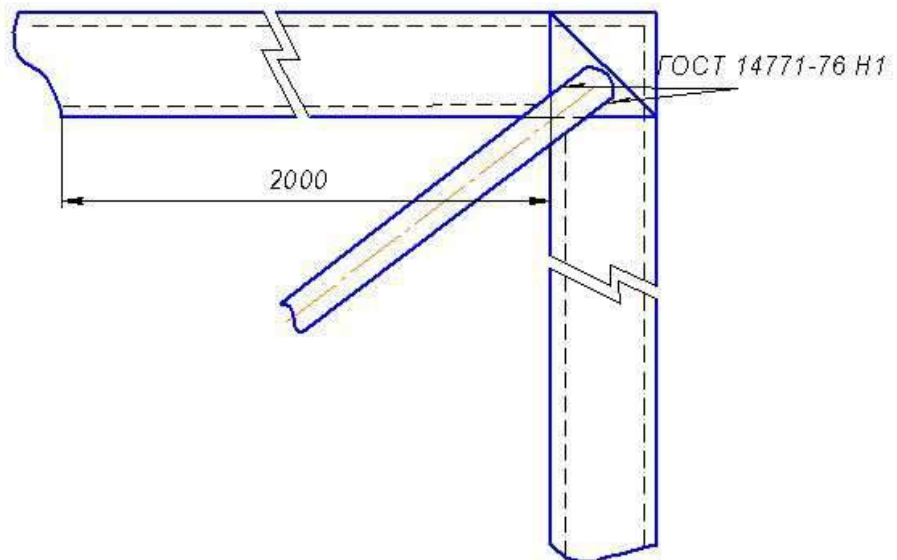


Рисунок 3.2 – Схема зварювання косинки з трубою

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

В швелері вирізаний паз, призначений для кріплення притискачів з можливістю їх переміщення в разі потреби (рис. 3.3).

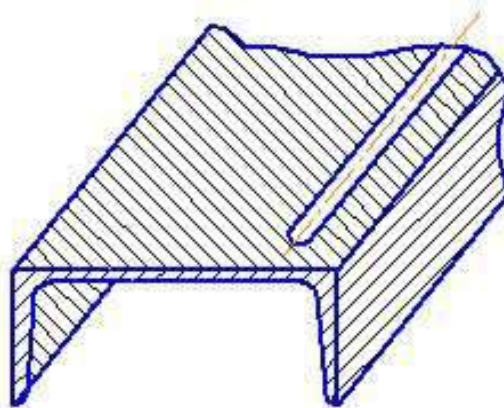


Рисунок 3.3 - Загальний вигляд швелера

На рисунку 3.4 зображено спосіб закріплення нижньої частини стінки бункера на нижній частині рами.

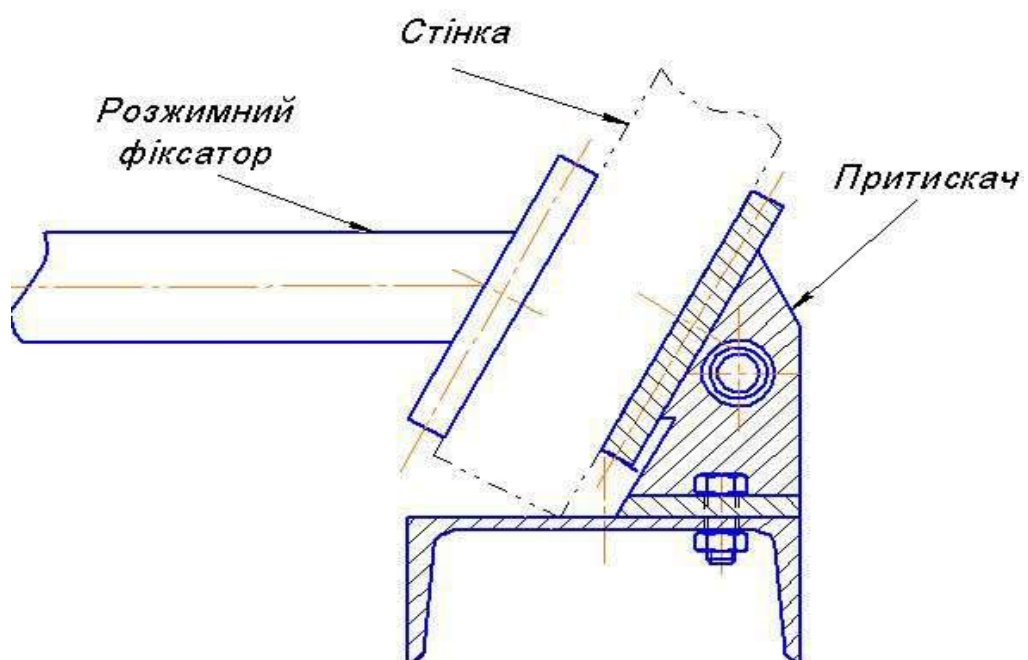


Рисунок 3.4 – Вузол закріплення нижньої частини стінки бункера, на нижній частині допоміжної рами

Нижня частина стінки бункера закріплюється на нижній частині рами за допомогою болтових з'єднань та притискачів.

У верхній частині рами стінка бункера кріпиться за допомогою болтового з'єднання, забезпечуючи надійність стикування листів та точну геометрію зварного виробу. До труб верхньої частини рами приварені скоби, необхідні при кантуванні бункера.

Розрахунок зусиль закріплення. Для визначення необхідного зусилля затискання деталей у пристосуванні розраховується зусилля від зварювальних деформацій [11]:

$$F = \sigma_{зв} \cdot A, \quad (3.1)$$

$$F = 150 \text{ МПа} \cdot 128 \text{ мм}^2 = 19\,200 \text{ Н} \approx 20 \text{ кН}$$

де $\sigma_{зв}$ – залишкові зварювальні напруження (150 МПа для сталі 09Г2С);
 A – площа перерізу шва.

По завершенню закріплення всіх чотирьох стінок на рамі виконуються прихоплення, після чого бункер з рамою встановлюють у горизонтальне положення на металевий настил, фіксують його і зварюють.

3.3 Розробка плану цеху

Технологічне планування – це графічне зображення на плані та розрізах устаткування, потокових ліній, робочих місць, стендів, підйомно-транспортних засобів та інженерних мереж, призначених для обслуговування технологічних процесів.

При розробці плану цеху вирішують комплекс взаємопов'язаних технічних і організаційних завдань: встановлення складу виробничих ділянок і відділень; розрахунок площ цеху; вибір типу та об'ємно-планувальних рішень будівлі; компонування цеху та організація вантажопотоків; вибір і розрахунок кількості внутрішньоцехового транспорту.

Цех виготовлення зварних конструкцій складається з наступних виробничих ділянок:

– заготівельна ділянка (різання, розмітка, механічна обробка);

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- очисна ділянка (дробоструйна очистка);
- складально-зварювальна ділянка;
- ділянка контролю якості;
- ділянка маркування та фарбування;
- склад готової продукції.

Площа складально-зварювальної ділянки розраховується виходячи з розмірів виробу, кількості робочих місць та необхідних технологічних проходів. Мінімальна ширина проходів між верстатами та конструкціями – 1,5 м, між рядами обладнання – 2,0 м [12].

Розрахунок площі ділянки для виготовлення бункера

$$S = n \cdot S_{\text{вир}} \cdot K_3, \quad (3.2)$$

де $n = 1$ – кількість виробів одночасно в роботі;

$S_{\text{вир}} = 6,25 \text{ м}^2$ – площа основи бункера;

$K_3 = 4,5$ – коефіцієнт, що враховує проходи та допоміжні зони.

$$S = 1 \cdot (2,5 \times 2,5) \cdot 4,5 = 28,1 \text{ м}^2$$

Для транспортування виробів по цеху передбачені: кран-балка вантажопідйомністю 6 т та поворотний пересувний кран вантажопідйомністю 5 т. Робочі місця зварників оснащені місцевою витяжною вентиляцією, що забезпечує видалення зварювальних газів та пилу із зони дихання зварника. Загальнообмінна вентиляція забезпечує нормативний повітрообмін у приміщенні цеху.

Розрахунок кількості зварювальних постів. При річній програмі випуску 70 бункерів та загальному часі зварювання на один виріб 26 год:

$$N = (Q \cdot T_{36}) / (\Phi_d \cdot k_{\text{в}}), \quad (3.3)$$

$$N = (70 \cdot 26) / (3980 \cdot 0,8) = 0,57 \approx 1 \text{ пост}$$

де $Q = 70$ шт – річна програма;

$T_{36} = 26$ год – час зварювання на один виріб;

$\Phi_d = 3980$ год – дійсний річний фонд часу роботи поста;

$k_{\text{в}} = 0,8$ – коефіцієнт виконання норм.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість підйомно-транспортного обладнання. Для забезпечення транспортних операцій достатньо: 1 кран-балка вантажопідйомністю 6 т та 1 поворотний пересувний кран вантажопідйомністю 5 т.

Таблиця 3.2 – Відомість технологічного обладнання ділянки

№	Найменування обладнання	Модель	К-сть	Габарити, мм	Потужність, кВт
1	Зварювальний напівавтомат	Fronius Fortis 270	1	760×510×910	20
2	Дробоструйна машина	–	1	5000×2000×2500	18,5
3	Ножиці гільйотинні	YAWEI HGS(K)-8	1	3600×1200×1500	10
4	Свердлильний верстат	2H135	1	1030×835×2535	4
5	Шліфмашинка кутова	DWT WS-180 DV	2	500×200×180	1,5
6	Розпилювач фарби	KP-96100	1	300×200×250	0,2
7	Кран-балка	–	1	–	5,5
8	Пересувний кран	–	1	–	–
	Разом:				59,7

Загальна встановлена потужність обладнання ділянки складає приблизно 59,7 кВт. Річне споживання електроенергії при роботі в одну зміну:

$$W = P_{вст} \cdot \Phi_d \cdot k_v \cdot \cos\varphi, \quad (3.4)$$

$$W = 59,7 \cdot 1995 \cdot 0,7 \cdot 0,75 = 62\,580 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

При виконанні зварювальних робіт на зварника впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які можна класифікувати за природою впливу [13].

Фізичні фактори:

- ураження електричним струмом при контакті з струмоведучими частинами обладнання;
- теплове і ультрафіолетове випромінювання зварювальної дуги;
- підвищена температура поверхонь обладнання і оброблюваних деталей;
- шум і вібрація від механічного обладнання;
- небезпека падіння важких деталей при транспортуванні.

Хімічні фактори:

- зварювальний аерозоль, що містить оксиди заліза, марганцю, кремнію;
- шкідливі гази: оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x);
- висока концентрація вуглекислого газу CO₂ може витіснити кисень.

Психофізіологічні фактори: підвищене зорове та нервово-психічне навантаження; монотонність праці; статичне м'язове напруження.

4.2 Вимоги безпеки при проведенні зварювальних робіт

Захист від ураження електричним струмом. До виконання зварювальних робіт допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд та навчання з охорони праці. Зварювальне обладнання повинно бути надійно заземлене. Забороняється торкатися руками без рукавиць струмоведучих частин. При перервах у роботі відключати джерело живлення. Опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист від випромінювання зварювальної дуги. Для захисту очей і шкіри від інтенсивного ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювання зварювальної дуги зварники повинні використовувати захисну маску зварника зі світлофільтрами. При напівавтоматичному зварюванні струмом 300-400 А використовують світлофільтри С-5 або С-6. Захисний одяг виготовляється з вогнетривких матеріалів.

Захист від зварювального аерозолю. При зварюванні в СО₂ виділяється значна кількість зварювального аерозолю, що містить шкідливі сполуки. ГДК зварювального аерозолю в повітрі робочої зони: для оксиду марганцю – 0,2 мг/м³, оксидів заліза – 6 мг/м³, оксиду вуглецю – 20 мг/м³. Для забезпечення нормативних концентрацій шкідливих речовин необхідно облаштувати ефективну місцеву витяжну вентиляцію на кожному зварювальному посту.

Вимоги до організації робочого місця зварника: робоче місце повинно бути огорожене щитами для захисту оточуючих від ультрафіолетового випромінювання; підлога на робочому місці повинна бути з нековзних матеріалів; освітленість на робочому місці повинна бути не менше 200 лк [14].

Захист при роботі з балонами. При роботі з балонами вуглекислого газу необхідно дотримуватися НПАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском»: зберігати балони в захищеному від сонячних промінів місці; не допускати ударів по балонам; закривати запірний вентиль при перервах у роботі; транспортування балонів виконувати тільки на спеціальних візках.

При проведенні зварювальних робіт необхідно вжити наступних протипожежних заходів відповідно до НАПБ А.01.001-2004:

- очистити місце проведення робіт від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м;
- перевірити наявність засобів пожежогасіння: вогнегасник ОУ-5 та ящик з піском;

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- при зварюванні поблизу легкозаймистих матеріалів огородити місце зварювання вогнетривкими щитами;
- після закінчення робіт переконатися у відсутності тліючих або розпечених предметів;
- забороняється залишати без нагляду увімкнене зварювальне обладнання.

Зварювальне приміщення відноситься до категорії В за пожежною небезпечністю (згідно НАПБ Б.03.002-2007). Мінімальна кількість вогнегасників на ділянку площею до 100 м² – 2 вогнегасники ОУ-5 або один порошковий ОП-10.

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» для зварювального цеху встановлюються наступні норми мікроклімату в теплий період року: температура повітря 22-24°C; відносна вологість 40-60%; швидкість руху повітря 0,2-0,4 м/с.

Вентиляція. У зварювальному цеху передбачається загальнообмінна та місцева витяжна вентиляція. Продуктивність місцевої витяжної вентиляції на одному зварювальному посту – не менше 2000 м³/год. Загальний повітрообмін визначається з розрахунку 2000-4000 м³/год на одного зварника [15].

Освітлення. Природне освітлення – через бокові вікна та ліхтарі покриття. Штучне освітлення – комбіноване: загальне (освітленість 200 лк) та місцеве на робочих місцях (освітленість 500 лк) згідно з ДБН В.2.5-28-2006.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): маска зварника МС-5 зі світлофільтром С-5; рукавиці зварника; щиток для захисту обличчя; захисний костюм зварника; захисні черевики; респіратор при зварюванні в умовах підвищеного пилоутворення.

Електробезпека при виконанні зварювальних робіт регламентується НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» та НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок».

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні причини ураження електричним струмом при зварюванні: випадковий дотик до струмоведучих частин; пробій ізоляції на корпус обладнання; неправильне заземлення; робота в умовах підвищеної вологості без засобів захисту.

Для захисту від ураження електричним струмом передбачаються наступні заходи:

- захисне заземлення корпусів зварювального обладнання та допоміжних пристроїв (опір заземлення не більше 4 Ом);
- застосування зварювального обладнання з напругою холостого ходу не більше 80 В (для Fronius Fortis 270);
- застосування зварювальних кабелів з надійною ізоляцією (без скруток, надрізів та оголених місць);
- обов'язкове використання діелектричних рукавичок, взуття та підстилок;
- встановлення автоматичних пристроїв обмеження напруги холостого ходу;
- заборона виконання зварювальних робіт в умовах дощу та на відкритому повітрі при вологості більше 80% без відповідних засобів захисту.

При виявленні несправності зварювального обладнання зварник зобов'язаний: негайно відключити обладнання від мережі; повідомити майстра; не виконувати самостійно ремонт електрообладнання.

Таблиця 4.1 – Гранично допустимі значення напруги дотику та струму через тіло людини (ГОСТ 12.1.038-82)

Вид струму	Рід та частота струму	Нормований показник	Гранично допустиме значення (тривалість до 1 с)
Змінний	50 Гц	Напруга, В / Струм, мА	36 / 6
Змінний	400 Гц	Напруга, В / Струм, мА	36 / 8
Постійний	–	Напруга, В / Струм, мА	36 / 15

Виробництво зварних конструкцій пов'язане з певним навантаженням на навколишнє середовище. Основними джерелами забруднення є: зварювальний аерозоль та газу, що виділяються при зварюванні; відходи металу при різанні; використана CO₂; відпрацьовані зварювальні матеріали.

Для зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище передбачаються наступні заходи:

- знешкодження зварювальних аерозолів у системах вентиляції за допомогою фільтрів типу ФРУ або аналогічних. Ефективність очищення – не менше 99%;
- збирання та утилізація металобрухту (відходів різання) відповідно до встановлених норм;
- використання зварювального дроту та газу в оптимальних кількостях для мінімізації відходів;
- дотримання вимог законодавства щодо поводження з відходами виробництва.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони при зварюванні встановлені ГН 2.2.5.1313-03:

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони зварювального виробництва

Речовина	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки	Характеристика
Зварювальний аерозоль (загальний)	4	3	Помірно небезпечний
Оксид заліза	6	3	Помірно небезпечний
Оксид марганцю	0,2	2	Високо небезпечний
Оксид кремнію (SiO ₂)	1	2	Висококо небезпечний
Оксид вуглецю (CO)	20	4	Малонебезпечний
Двоокис вуглецю (CO ₂)	9000	4	Малонебезпечний
Озон	0,1	1	Надзвичайно небезпечний

Для контролю стану повітряного середовища у зварювальному цеху передбачається регулярний лабораторний аналіз проб повітря. Частота аналізів – не рідше одного разу на квартал, а також при зміні технологічного процесу або після реконструкції вентиляційних систем.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи розроблено конструкторсько-технологічний проект виготовлення зварного пірамідального бункера для зберігання та видачі цементу. На підставі проведеного аналізу та розрахунків можна зробити такі висновки:

1) Виконано аналіз конструкції бункера та встановлено, що конструкція відрізняється задовільним рівнем технологічності: застосовуються стандартні матеріали, зварні з'єднання доступні для виконання і не потребують складного обладнання.

2) Обґрунтовано вибір напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу з використанням зварювального дроту Св-08Г2С. Даний метод забезпечує підвищення продуктивності у 2,5–3 рази порівняно з ручним дуговим зварюванням, забезпечує стабільне горіння дуги, мінімальне розбризкування металу та відмінну якість зварних швів.

3) Проведено розрахунок режимів зварювання для трьох типів зварних з'єднань та розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення бункера, що включає 17 основних операцій: від вхідного контролю матеріалів, розмітки та різання до складання, зварювання, контролю якості та фарбування.

4) Розроблено комплекс конструктивних та технологічних заходів для мінімізації зварювальних деформацій і напружень: симетричне розташування швів, застосування ребер жорсткості (швелерів), зворотньоступінчастий метод зварювання, жорстке закріплення деталей у допоміжній рамі під час зварювання.

5) Спроектовано допоміжну зварну раму для складання та зварювання бункера. Конструкція рами з матеріалів загальною вагою 260,29 кг дозволяє точно позиціонувати деталі, здійснювати кантування бункера та забезпечує зварювання в нижньому положенні, що підвищує якість швів.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, розроблений конструкторсько-технологічний проект забезпечує виготовлення зварного пірамідального бункера відповідно до вимог нормативно-технічної документації, з дотриманням норм якості, безпеки праці та охорони навколишнього середовища.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.2-29:2025 "Промислові інженерні споруди. Основи проєктування". Київ: Міністерство розвитку громад і територій, 2025.
2. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій, 2012, - 896 с/
3. Марочник сталей і сплавів. Веб-сайт. URL: <https://www.splav-kharkov.com/main.php> (дата звернення 17.05.2026р.)
4. В.М. Коперсак. Теорія процесів зварювання – 2. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні: Текст лекцій. Ел.видання. К., НТУУ «КПІ», 2011. – 252 с.
5. Гуменюк І. В. Обладнання та технології зварювальних робіт : навч. посіб. / І. В. Гуменюк. — К. : Грамота, 2014. — 120 с.
6. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. Посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. 225 с.
7. Панчук М.В., Шлапак Л.С. Зварювання плавленням: конспект лекцій (Частина 1). Іва-но-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. 67 с.
8. Панчук М.В., Шлапак Л.С. Зварювання плавленням: конспект лекцій (Частина 2). Іва-но-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 109 с.
9. Fortis MIG/MAG. URL: <https://surl.li/bzdmhz> (дата звернення: 29.05.2026).
10. Гільотинні ножиці з ЧПК Yawei HGS(K)-8. URL: <https://abplanalp.ua/verstat-listoobrobni-j-gilotinni-nozhici-yawei-hgsk-8> (дата звернення: 03.06.2026).
11. Карпенко А . С . Технологічна оснастка у зварювальному виробництві. К . : Арістей , 2005 – 268 с .
12. Модернізація зварювальних цехів : навчальний посібник для самостійного виконання курсової роботи з дисципліни «Модернізація

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

зварювальних цехів» / доп. та перероб. В. П. Маршуба, Б. В. Сітніков. – Харків : НТУ «ХП», 2023. – 114 с.

13. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів, Афіша. 2002. – 310

14. Косовічева Н.В. Охорона праці та безпечне виконання робіт при підготовці кваліфікованих робітників професій зварювального напрямку: навчальний посібник з охорони праці для підготовки кваліфікованих робітників зварювального виробництва. – Харків: НМЦ ПТО, 2021 – 80 с.

15. НПАОП 0.00-1.01-18. Правила охорони праці під час електрозварювання. — Київ: МСП України, 2018.

					КРБ.3Т-80.00.00.000.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		