

**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

\_\_\_\_\_ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ  
(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 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-зварювання оголовку колони**

Виконав:

студент IV курсу, групи ЗВ-11  
Кухарчук Ігор Володимирович

\_\_\_\_\_

Керівник:

старший викладач, PhD,  
Лисак Володимир Валерійович

\_\_\_\_\_

Консультант з розроблення стартап-проєкту:  
доцент, к.е.н., Глущенко Ярослава Іванівна

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2025 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

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проєкт студенту

**Кухарчуку Ігорю Володимировичу**

1. Тема проєкту «Технологія складання-зварювання оголовку колони»,  
керівник проєкту Лисак Володимир Валерійович, ст.викладач, затверджені  
наказом по університету від «26» 05 2025 р. № 1733-с
  
2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2025 р.
  
3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу  
– сталь P355 NL2. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності  
недопустимих дефектів. Річна програма виготовлення виробу – 100 шт. Умови  
виготовлення – цехові, температура експлуатації – від -40 °С до +60 °С.

#### 4. Зміст пояснювальної записки:

Виконати конструктивно-технологічний аналіз оголовку колони. 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 оголовку колони. Адаптувати вибране устаткування для складання і зварювання оголовку колони. Виконати компонування установки для зварювання швів оголовку колони. Призначити способи контролю якості зварних швів оголовку колони. Спланувати розміщення засобів технологічного спорядження на виробничій площі. Скласти операційну карту процесу зварювання. Зробити загальні висновки до технологічного розділу дипломного проекту. Розрахувати економічний ефект від впровадження розробленої технології у виробництво. Розробити заходи з охорони праці безпеки та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

1. Складальний кресленик оголовку колони (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення оголовку колони (1 А1).
3. Креслення пристрою для складання під зварювання оголовку колони (1 А1).
4. Креслення установки для зварювання оголовку колони (1 А1).
5. Креслення установки для складання та зварювання оголовку колони (1 А1).
6. План виробничої площі для зварювання оголовку колони (1 А1).

#### 6. Консультанти розділів проекту

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

#### 7. Дата видачі завдання 20 квітня 2025 р.

#### Календарний план

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

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ігор КУХАРЧУК

Керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Володимир ЛИСАК

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту включає 97 сторінок основного тексту, 25 рисунків, 22 таблиці та 40 джерел.

ОГОЛОВК КОЛОНИ, P355NL2, MAG-ЗВАРЮВАННЯ, ПРОЦЕС 135, РОЛИКОВИЙ СТЕНД, СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНА ОСНАСТКА, ГЕРМЕТИЧНІСТЬ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

У дипломному проекті розроблено технологію складання та автоматизованого MAG-зварювання (процес 135) оголовка колони апаратів високого тиску зі сталі P355NL2, призначеного для експлуатації у вертикальних технологічних посудинах хімічної та нафтопереробної промисловості при тиску до 6,4 МПа й температурі від  $-20$  °С до  $+200$  °С. Актуальність теми зумовлена потребою в герметичних і довговічних з'єднаннях обладнання, що працює під тиском, згідно з сучасними вимогами безпеки та ресурсної надійності.

Метою розробки є створення ефективної технології зварювання, яка забезпечує міцність, герметичність та економічність виготовлення оголовка. Основними завданнями проекту були вибір способу зварювання, підбір зварювальних матеріалів, розрахунок режимів, обґрунтування складу зварювального комплексу (роликівий стенд і колона-консоль), вибір складально-зварювальної оснастки, розроблення операційної карти процесу, визначення систем контролю якості та заходів охорони праці, а також економічне обґрунтування впровадження.

У роботі виконано розрахунки та описано процес складання та зварювання оголовку колони. А саме, складання і MAG-зварювання стикового шва обичайки з кованим фланцем із урахуванням вимог міцності та продуктивності. Також описано процес складання та зварювання повздовжнього шву обичайки. У роботі також розроблено стартап-проект та методи охорони праці та екологічної безпеки.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження запропонованої технології у серійному виробництві оголовків, що дає змогу скоротити трудомісткість, знизити брак і забезпечити відповідність вимогам безпеки та надійності апаратів під тиском.

## ABSTRACT

The explanatory note to the thesis project includes 97 pages of main text, 25 figures, 22 tables, and 40 sources.

COLUMN HEAD, P355NL2, MAG WELDING, PROCESS 135, ROLLER STAND, ASSEMBLY AND WELDING EQUIPMENT, TIGHTNESS, ECONOMIC EFFICIENCY.

The thesis project develops a technology for assembling and automated MAG welding (process 135) of the head of a high-pressure apparatus column made of P355NL2 steel, designed for use in vertical process vessels in the chemical and oil refining industries at pressures up to 6.4 MPa and temperatures from  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The relevance of the topic is due to the need for sealed and durable connections of pressure equipment in accordance with modern safety and resource reliability requirements.

The aim of the development is to create an effective welding technology that ensures the strength, tightness, and cost-effectiveness of the head manufacturing. The main tasks of the project were to select the welding method, select welding materials, calculate the modes, justify the composition of the welding complex (roller stand and column-console), select assembly and welding equipment, develop an operational process chart, determine quality control systems and occupational safety measures, as well as provide an economic justification for implementation. The work includes calculations and a description of the process of assembling and welding the column head. Specifically, it covers the assembly and MAG welding of the butt joint of the shell with a forged flange, taking into account strength and performance requirements. The process of assembling and welding the longitudinal seam of the shell is also described. The work also develops a start-up project and methods of occupational safety and environmental safety.

The practical significance of the work lies in the possibility of implementing the proposed technology in the serial production of heads, which makes it possible to reduce labor intensity, reduce defects, and ensure compliance with the safety and reliability requirements for pressure vessels.



1.10	Розрахунок режимів зварювання з'єднання для шву № 1 та №2 .....	45
1.11	Компанування зварювального пристрою .....	47
1.11.1	Вибір та обґрунтування вибору основного інверторного джерела.....	47
1.11.2	Вибір та обґрунтування компонування зварювальної установки.....	49
1.12	Контроль якості.....	51
1.13	Проектування ділянки цеху.....	52
2	РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ .....	56
2.1	Стартап як різновид підприємницької діяльності.....	56
2.2	Маркетинговий аналіз стартап - проекту з виготовлення оголовку колони.....	57
2.2.1	Опис ідеї проекту.....	57
2.2.2	Аналіз потенційних техніко-економічних переваг .....	58
2.2.3	Аналіз учасників ринку .....	59
2.3	Технологічний аудит ідеї проекту .....	61
3	ОХОРОНА ПРАЦІ .....	73
3.1	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ).....	73
3.2	Вимоги безпеки праці.....	75
3.2.1	Вимоги до технологічних процесів .....	75
3.2.2	Вимоги до персоналу.....	77
3.2.4	Організація робочого місця.....	79
3.2.5	Вентиляція .....	80
3.3	Електробезпека .....	83
3.3.1	Загальні вимоги електробезпеки.....	83
3.3.2	Класи електротехнічних виробів та вимоги до експлуатації зварювального обладнання .....	84
3.3.3	Вимоги до експлуатації зварювального обладнання .....	86
3.4	Захист від теплового випромінювання.....	87
3.5	Захист від теплового випромінювання.....	88
3.6	Пожежна безпека .....	90
	ВИСНОВКИ .....	93
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	94
	ДОДАТКИ .....	98

					Арк.
					9
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

$CEI_{IW}$  – вуглецевий еквівалент за рекомендацією IIW

DSN (DSH) – Державні санітарні норми

EN – European Norm (Європейський стандарт)

F – площа поперечного перерізу зварного шва

GMAW – Gas Metal Arc Welding (зварювання під дротовим наплавленням із захисним газом)

H – тепловкладення

HAZ – Heat Affected Zone (зона термічного впливу)

$H_{lim}$  – граничний вміст дифузійного водню

I – сила зварювального струму

IIW – International Institute of Welding (Міжнародний інститут зварювання)

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

MAG – Metal Active Gas (зварювання в активному газі)

MMA – Manual Metal Arc (ручне дугове зварювання покритим електродом)

P355NL2 – марка сталі за EN 10028-3

$R_{cm}$  – вуглецевий еквівалент із урахуванням мартенситоутворюючої здатності:

$Q_T$  – витрата зварювального газу

$t_{ip}$  – інтервал між проходами

U – напруга зварювальної дуги

$\delta_5$  – відносне видовження

						Арк.
						11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\eta$  – коефіцієнт плавлення (ефективності зварювання)

$\rho$  – густина матеріалу

$\sigma_t$  – межа текучості

$\sigma_v$  – межа міцності при розтягуванні

$\psi$  – відносне звуження

ДСН – Державні санітарні норми

ДСТУ – Державний стандарт України

КПІ ім. Ігоря Сікорського – Національний технічний університет України  
«КПІ»

Н. контр. – науковий контроль (відповідальний контролер)

НК – неруйнівний контроль

ШНВФ – шкідливі і небезпечні виробничі фактори

						Арк.
						12
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

На сучасному етапі розвитку зварювального виробництва особливе значення має забезпечення безпеки і надійності при виготовленні конструкційних елементів, таких як оголовки колони. Точність складання та якість виконання зварних швів оголовків колон безпосередньо впливають на загальну міцність, стійкість до навантажень і довговічність споруди, що дозволяє уникнути аварійних ситуацій в процесі її експлуатації.

Досягнення необхідних параметрів якості зварних з'єднань оголовка колони забезпечується завдяки застосуванню спеціалізованого технологічного оснащення, до якого належать складальне, складально–зварювальне та автоматичне обладнання.

Переваги використання автоматичного обладнання:

- складальне оснащення дозволяє точно позиціювати та міцно фіксувати елементи оголовка перед зварюванням, запобігаючи таким дефектам, як непровари, пористість або тріщини;
- складально–зварювальне оснащення забезпечує контроль рівня внутрішніх напружень у конструкції, що зменшує залишкові деформації та виключає виникнення локальних зон ослаблення, здатних привести до руйнування конструкції під дією великих навантажень;
- автоматизація зварювальних процесів сприяє підвищенню продуктивності, стабільності якості швів та зниженню впливу людського фактора, що значно зменшує ризик технологічних помилок.

Процес зварювання оголовка колони охоплює основні етапи: подачу деталей у зону складання, їхнє точне розташування, закріплення, контроль точності встановлення і виконання зварювальних операцій. Важливою складовою забезпечення високого рівня безпеки є використання спеціальних пристроїв для складання елементів, що сприяє оптимальному позиціонуванню конструкції та мінімізації ризику появи внутрішніх дефектів і механічних пошкоджень.

						Арк.
						13
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цій роботі розглядається технологічне оснащення для процесу складання та зварювання оголовка колони. Проект включає підбір відповідного обладнання та визначення оптимальної послідовності технологічних операцій з урахуванням сучасних вимог до точності складання, контролю напружень та забезпечення високої якості та безпеки зварних з'єднань.

						Арк.
						14
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Аналіз технологій та устаткування для виробництва подібних конструкцій

Важливим є огляд технологічного підходу і комплексу складальних операцій, що застосовуються під час виготовлення оголовків колон, — від традиційних суцільнокованих деталей до сучасних лазерно-гібридних ліній. Метою порівняння є визначити, у яких умовах кожен із варіантів доцільний, та обґрунтувати вибір базової схеми, прийнятої в дипломному проєкті (зварювання обичайки з кованим фланцем процесом MAG 135).

Базовий маршрут, закладений у проєкт, передбачає вальцювання обичайки, кування фланця та їхнє стикування кільцевим MAG-швом. Також детально розглядається складання та зварювання обичайки 135 способом зварювання. Такий спосіб потребує лише фаскознімального верстата, роликового стенда й інверторного джерела живлення, а довжина шва обмежується одним кільцем. Це мінімізує трудові витрати й обсяг неруйнівного контролю, забезпечує високу якість та помірну собівартість виробу; у середньосерійних умовах він виглядає оптимальним.

Першою альтернативою є цільнокована заготовка, коли оголовок і фланець формуються одним куванням. Повна відсутність стикових швів дає найвищу надійність, однак потребує потужних пресів і тривалих термінів виготовлення. Вартість та маса такої деталі приблизно на третину більші, ніж у зварного аналога, тому технологія життєздатна лише для унікальних апаратів із граничним робочим тиском.

Другий підхід — холодне спінінг-витягування купола з листа зі зварним приєднанням фланця. Метод забезпечує бездоганну геометрію й меншу масу, проте обмежується товщиною  $\leq 12$  мм та вимагає дорогих спінінг-станів.

						Арк.
						15
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняно з базовою MAG-схемою спінінг покращує форму й знижує концентрацію напружень, але суттєво підвищує капітальні витрати та технологічну складність.

Найдешевшим з погляду обладнання є секційний («пелюстковий») оголовок: купол збирають із вирізаних сегментів, а всі стики зварюють SAW або MAG. Це усуває потребу в пресах чи спінінгу, зате загальна довжина швів зростає в рази, різко підвищуючи трудомісткість, витрати на контроль і ризик деформацій. При серійному випуску він програє нашому варіанту майже за всіма показниками, окрім стартових інвестицій.

Нарешті, для серійного виробництва доцільно розглядати гібридне laser-MAG-зварювання. Воно забезпечує мінімальну зону термічного впливу й рекордну швидкість, проте потребує капіталовкладень понад 0,8 млн євро та ідеальної точності стику. Для дрібно- чи середньосерійного виробництва така технологія економічно необґрунтована, тоді як наш MAG-маршрут дає найкращий баланс між інвестиціями, продуктивністю та якістю[1].

## **1.2 Конструктивно-технологічний аналіз оголовку колони**

### **1.2.1 Призначення та області використання оголовку колони**

Зварний оголовок колони є завершальним елементом апарата, що працює під надлишковим тиском. Його конструкція наведена на кресленні ЗВ11.04.01.000 СК і повинна герметично замикати оболонку судини, рівномірно розподіляти внутрішній тиск на стінку та слугувати технологічною платформою для приєднання штуцерів, контр фланців і вимірювального обладнання. Від якості виготовлення оголовка залежить загальна герметичність посудини, її здатність витримувати циклічні навантаження й безпечно експлуатуватися упродовж усього міжремонтного інтервалу.

Під час роботи всередині колони підтримується робочий тиск до 2,5 МПа і температура середовища від -40 градусів Цельсія до +120 градусів Цельсія. Оголовок перебуває у безперервному контакті з паро—газовою сумішшю, яка

						Арк.
						16
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нерідко містить корозійно активні компоненти, вологу та абразивні частинки. Зовні вузол підпадає під дію атмосферних чинників: цикл «дощ / сонце», коливання вологості та низькі температури у зимовий період. Додаткові механічні впливи створюють моменти, що виникають під час монтажу трубопроводів та періодичного обслуговування арматури, встановленої на фланці.

У таких умовах оголовок має забезпечувати дві ключові характеристики: абсолютну герметичність швів і достатній запас міцності при багаторазових циклах «тиск–розрядження». Це висуває підвищені вимоги до хімічного складу основного металу, доцільності вибору зварювального дроту, точності підготовки крайок і режимів зварювання, а також до післязварювального контролю й захисного покриття. Тільки дотримання цих умов гарантує відсутність протікань, локальних деформацій і втомних тріщин у процесі тривалої експлуатації під тиском.

### **1.2.2 Характеристика конструкції**

Оголовок колони має габаритні розміри: висота 6500 мм, довжина 7500мм, діаметр фланця 5800 мм. Товщина стінки елементів конструкції 10 мм. Слід зауважити, що згідно завдання ми розглядаємо зварні з'єднання конструкції, а також детально описано зварювання стикового шву обичайки та кільцевого шву обичайки та фланя. В даному проекті будемо вважати, що на ділянку складання–зварювання ці два елемента конструкції надходять вже в сформованому вигляді (рисунок 1.1).

						Арк.
						17
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

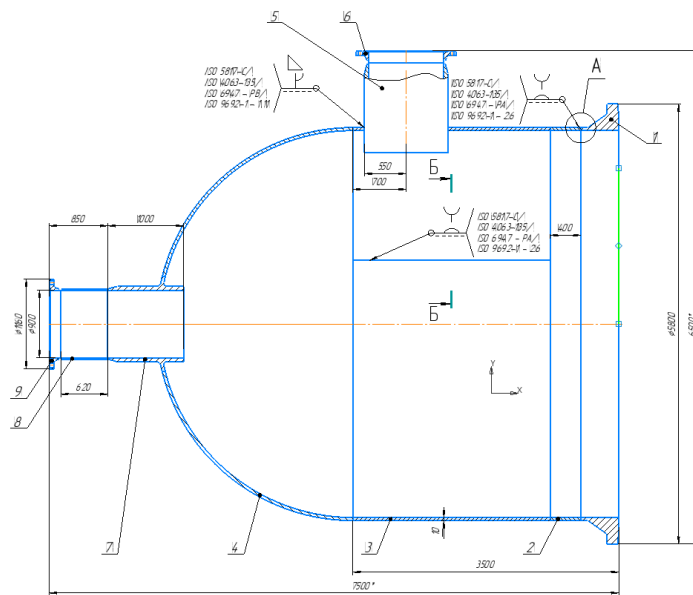


Рисунок 1.1 – Оголовок колони

Згідно з конструкцією, що потрібно детально розглянути виріб складається з:

- обичайки  $D = 5500$  мм, товщиною 10 мм (1шт). Сталь P355NL2 EN 10028 –4 ДСТУ 8541:2015;
- днище (радіусом 5500 мм) товщиною 10 мм (1шт). Сталь P355NL2 EN 10028 –4 ДСТУ 8541:2015;
- фланець з'єднувальний діаметром 5800 мм, висотою 500 мм. товщиною 10мм місці з'єднання з обичайкою 1шт. Сталь P355NL2 EN 10222 –3;
- штуцер діаметром  $DN = 1000$  мм(1шт). Сталь P355NL2 EN 10222 –3;
- патрубок діаметром 900 мм, довжиною 1000 мм (1шт). Сталь P355NL2 EN 10028 –4 ДСТУ 8541:2015;
- патрубок діаметром 900 мм, довжиною 620 мм (1шт). Сталь P355NL2 EN 10222 –3;
- штуцер вихідний діаметром  $DN = 900$  мм (1шт). Сталь P355NL2 EN 10222 –3.

До обичайки за допомогою зварювання кріпиться фланець, вимоги до зварного шва достатньо високі. Має бути герметичність, так як при не виконанні цієї умови може статись витікання небезпечної речовини.

						Арк.
						18
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі приварюються штуцера, що мають бути герметично та надійно закріплені на оголовку для запобігання витоку речовин.

Конструктивні особливості полягають в тому, що оголовок колони для агресивних середовищ має бути стійкий до впливів агресивних речовин, мати достатню несучу здатність.

### 1.2.3 Матеріал оголовку колони та його характеристики

Дана конструкція виготовляється з нержавіючої сталі P355 NL2, з товщиною деталей 10 мм, хімічний склад якої наведений у таблиці 1.1.

Ця сталь широко застосовується в будівництві, машинобудуванні, виробництві металоконструкцій та суднобудуванні. Завдяки своєму хімічному складу та властивостям, сталь P355NL2 добре піддається різним видам механічної обробки, зокрема зварюванню, різанню та гнуттю. Важливим аспектом є те, що на відміну від модифікації NL1 – вона може працювати в температурному режимі до –50 градусів Цельсія. Механічні властивості сталі також наведено в таблиці 1.2 [5].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі P355NL2 EN 10028 –4 [6]

Елемент	Вміст (%)
C	0.12
Si	0.55
Mn	1.6
P	0.035
S	0.035
Cr	0.3
Ni	0.3
N	0.12

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі P355 NL2 [4]

Властивість	Значення
Границя плинності (Rp0.2)	$\geq 355$ МПа
Тимчасовий опір розриву	від 490 МПа до 630 МПа
Відносне подовження (A5)	$\geq 22\%$
Твердість по Брінеллю	$\leq 185$ НВ
Модуль пружності	210 ГПа
Густина	7.85 г/см <sup>3</sup>

Особливості сталі P355NL2 EN 10028 –4 :

- висока міцність і пластичність;
- добра зварюваність без термічної обробки;
- висока ударна в'язкість при низьких температурах;
- стійкість до атмосферної корозії.

Ця сталь широко застосовується в будівництві, машинобудуванні, виробництві металоконструкцій та суднобудуванні. Завдяки своєму хімічному складу та властивостям, сталь P355NL2 добре піддається різним видам механічної обробки, зокрема зварюванню, різанню та гнуттю. Важливим аспектом є те, що на відміну від модифікації NL1 – вона може працювати в температурному режимі до –50 градусів Цельсія. Вона використовується для виготовлення відповідальних конструкцій, які працюють при низьких температурах і високих навантаженнях, таких як платформи, каркаси будівель, трубопроводи та несучі елементи мостів. Завдяки підвищеному вмісту марганцю та кремнію, ця сталь має хорошу зносостійкість і тривалий термін служби. Хімічний склад сталі P355NL2 наведено у таблиці 1.1.

					Арк.
					20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

## 1.2.4 Зварюваність сталі P355NL2

Зварюваність сталі P355NL2 обумовлена її низьколегованим складом і нормалізаційним термообробленням, що забезпечує дрібнозернисту феритно-перлітну структуру із задовільною ударною в'язкістю при температурах до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вміст вуглецю до 0,18 %, марганцю до 1,6 % та сполук хрому, молібдену і ванадію в сумі не перевищує 1,5 % дозволяє зменшити вуглецевий еквівалент ( $CE \approx 0,4\%$  за формулою ІІW) і, відповідно, мінімізувати ризик утворення холодних тріщин за звичайної технології дугового зварювання. Зварювання здійснюють без додаткового підігріву при товщині металу до 20 мм або з підігрівом до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  для перерізів більшої товщини, що забезпечує плавний температурний градієнт у зоні термічного впливу й зниження залишкових напружень, які є одним із рушійних чинників холодного тріщиноутворення. Для мінімізації дифузійного водню в наплавленому металу застосовують сухі низьководневі електроди та дріт згідно з EN ISO 14341, причому їхня водневмістність не повинна перевищувати 5 мл/100 г [4].

Підготовка крайок зазвичай передбачає V – або U-фаску з кутом  $\approx 30^{\circ}$  і радіусом заокруглення не менше 2 мм, що скорочує об'єм шва і кількість проходів, уповільнює швидкість охолодження та знижує жорсткість термічного циклу. Ці заходи є важливими для запобігання гарячих тріщин, які виникають у процесі кристалізації наплавленого металу при температурах близько до його ліквідусу. Наявність у границях зерен низькоплавких сполук сірки та фосфору може призвести до утворення крихкого інтеркристалітного прошарку, але заводський контроль домішок ( $S \leq 0,010\%$ ,  $P \leq 0,025\%$ ) у P355NL2 за стандартом EN 10028-3 гарантує їх мінімальну концентрацію. Ще одна міра протидії гарячому тріщиноутворенню — сповільнення охолодження шляхом збільшення часу між проходами та застосування модифікаторів (Ti, Zr), які утворюють стабільні сполуки з небажаними легуючими домішками.

Результатом згаданих технологічних заходів є наплавлений метал із

						Арк.
						21
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

однорідним складом, мінімальним рівнем залишкового водню й розподілом напруг, що не перевищує критичних значень при температурах до 100 °С.

### 1.2.5 Здатність до гарячих та холодних тріщин

Здатність сталі P355NL2 протистояти утворенню тріщин у процесі зварювання визначається трьома ключовими аспектами: хімічним складом (через вуглецевий еквівалент), тепловкладенням у шов та контролем водню (табл 1.1).

По-перше, для оцінки схильності до холодних тріщин використовують вуглецевий еквівалент за ІІW:

$$CE_{IIW} = C + 6Mn + 5Cr + Mo + V + 15Ni + Cu$$

для P355NL2, де  $C \leq 0,18 \%$ ,  $Mn \leq 1,6 \%$ , сума  $Cr + Mo + V \leq 1,5 \%$  та  $Ni + Cu$  незначна, отримаємо:

$$CE_{IIW} \approx 0,18 + 6 \cdot 1,6 + 5 \cdot 1,5 \approx 0,40 < 0,45$$

що свідчить про низьку ймовірність утворення холодних тріщин за умови правильної технології зварювання. Більш жорстка оцінка — параметр  $P_{ct}$ , що враховує мартенситоутворюючу здатність:

$$P_{ct} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

де B — легуючий бор (якщо є), всі елементи в %.

По-друге, тепловкладення у шов прямо впливає на швидкість охолодження та ризик гарячих тріщин:

$$H = \frac{U \times I \times 60}{1000 \times 1000}$$

де U — напруга дуги, В;

I — сила струму, А;

v — швидкість зварювання, мм/хв.

Низьке H (наприклад,  $\leq 1$  кДж/мм) забезпечує повільніше охолодження і знижує жорсткість термічного циклу.

					Арк.
					22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Отже, з наведених розрахунків, стає зрозуміло, що обраний матеріал оголовку колони не схильний до утворення холодних та гарячих тріщин, а виконання рекомендацій з підготовки крайок, попереднього підігріву і правильного вибору зварювальних матеріалів гарантує однорідну структуру шва, обмежений рівень залишкових напруг і відсутність водневих дефектів.

### **1.2.6 Опис зварних з'єднань оголовку колони**

У конструкції оголовку колони застосовано кілька типів зварних з'єднань, що забезпечують міцність, герметичність і технологічність при експлуатації в умовах змінного тиску та температур. Типові конфігурації обрано згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 9692–1:2014 щодо підготовки крайок. Основні стикові шви виконуються з повним проплавленням і контролюються за показником В відповідно до ДСТУ ISO 5817:2021. Для забезпечення якісного з'єднання застосовано підготовку крайок з фаскою типу V під кутом 30°, що гарантує повноцінне проплавлення при зварюванні елементів середньої товщини. Обрана підготовка крайок у вигляді V-подібної фаски з кутом 30° є технологічно доцільною для забезпечення стабільного проплавлення та допустимого тепловкладення при зварюванні елементів середньої товщини. Зварювання обичайки та обичайки з фланцем виконується автоматизовано за процесом 135 (MAG) у захисних газах, що сприяє формуванню стабільної дуги, якісного провару та зменшенню ризику утворення пор і не проварів у з'єднаннях із нержавіючої сталі. Перелік типів зварних з'єднань що детально розглядаються подано у табл. 1.3 [6].

						Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Типи зварних з'єднань та підготовки крайок що детально розглянуті

№ шва	Тип з'єднання	Позначення	Ескіз розроблення крайок
1	Стикове	Стикове поздовжнє зварне з'єднання з V-подібною підготовкою крайок відповідно до ISO 9692-1:2013, пункт 2.6.	
2	Стикове	Стикове кільцеве зварне з'єднання з V-подібною підготовкою крайок відповідно до ISO 9692-1:2013, пункт 2.6.	

У конструкції оголовку колони з сталі P355NL2 передбачено дев'ять основних зварних швів, які відрізняються за типом з'єднання, конфігурацією та просторовим розташуванням. Усі з'єднання виконуються неплавким електродом у суміші захисних газів згідно з процесом 135 за класифікацією ISO 4063 [7].

### 1.3 Вибір та розроблення технологічних процесів виготовлення оголовку колони

#### 1.3.1 Розробка технологічного маршруту виготовлення оголовку колони

Побудова технологічної послідовності включає вибір способу зварювання, підбір матеріалів, визначення режимів зварних процесів і необхідної оснастки для

складання. Також аналізують типи зварних з'єднань, раціональні схеми складання та, за потреби, поділ конструкції на окремі вузли. У межах даного дипломного проекту передбачено з'єднання двох попередньо виготовлених частин конструкції кільцевим швом, а також попереднє зварювання обичайки, тож необхідно розробити оптимальні варіанти їх складання та зварювання (рис. 1.2)

Розробка технологічного маршруту виготовлення оголовку колони починається з підготовки вихідних заготовок: листового прокату  $t = 10$  мм для обичайки та кованої паковки (кільцевого штампування) для фланця. Фланець виробляють із вуглецевої паковки за EN 10222–3, клас F52, що забезпечує підвищену чистоту металу, однорідність механічних властивостей і знижений вміст включень. Після кування заготовку піддають нормалізації та грубому токарному обробленню (залишок 3 мм на сторону) для створення рівної базової площини під складання (рис. 1.2).

Підготовка крайок і поверхні.

Обичайка отримує V –розкриття  $2 \times 30^\circ$ : фрезерована фаска з гарантованим кореневим зазором 2 мм. Паковка фланця обробляється на токарно –револьверному центрі; фаска дзеркально відповідає профілю обичайки, а внутрішній бурт під ущільнювальне кільце шліфується до  $Ra \leq 3,2$   $\mu\text{m}$ . Перед зварюванням обидві кромки зачищаються на 50 мм (механічні щітки/шліфкруги) і знежирюються. Стандарти TWI та EN 1011–2 прямо вказують, що бруд, мастила й оксиди — одна з головних причин пористості та холодних тріщин[7].

Такі ж роботи виконуються і для зварювання обичайки з листового металу  $t=10$  мм.

Щоб звести до мінімуму вплив людського чинника під час виготовлення, доцільно впровадити спеціалізовану складальну оснастку. Таке обладнання скорочує час на центрування, фіксацію й подальше зкріплення деталей, водночас підвищуючи загальну продуктивність цеху. Додаткове застосування роботизованих систем дає змогу істотно наростити темпи роботи, забезпечити стабільну якість зварних швів і помітно скоротити витрати на контроль (рис. 1.2).

						Арк.
						25
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### **1.3.2 Обґрунтування вибору технологічного процесу виготовлення оголовку колони**

Обґрунтування вибору технологічного процесу виготовлення оголовку колони базується на поєднанні високої точності обробки, стабільності геометричних розмірів та оптимізації виробничих витрат. Використання плазмового різання дозволяє отримати чисті зрізи з мінімальною зоною термічного впливу, що суттєво знижує обсяг подальшої слюсарної зачистки. Автоматичне зварювання в суміші газів забезпечує глибоке однорідне проплавлення без шлакових включень і підвищує продуктивність у порівнянні з ручними методами, а зварювання кільцевих швів у захисному газі 80 % Ar + 20 % CO<sub>2</sub> гарантує необхідну механічну міцність та відсутність пористості.

Вальцювання обичайки на роликовому стенді дає змогу досягти суворого дотримання внутрішнього діаметра Ø5800 мм і в таких же межах круглості без додаткового точіння, що підвищує повторюваність партії деталей. Складання з використанням пневмопритискачів забезпечує ідеальну співвісність обичайки та фланця перед остаточним зварюванням, що мінімізує нерівномірний розподіл напружень у швах. Завершальна слюсарна зачистка та контроль щільності гарантують відповідність кінцевого виробу технічному завданню та нормативам для напірних котлових конструкцій. Такий послідовний та інтегрований підхід реалізує всі вимоги дипломного проекту щодо якості, технологічності та економічної ефективності.

### **1.4 Вибір та розроблення засобів технологічного спорядження**

Вихідні дані для розроблення конструкції засобів технологічного спорядження

						Арк.
						27
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані:

- внутрішній діаметр обичайки  $\varnothing$  5800 мм;
- товщина стінки обичайки 10 мм;
- матеріал заготовок – сталь P355NL2 EN 10028-3;
- допуск круглості внутрішнього діаметра  $\pm$  1 мм;
- допуск співвісності обичайки та фланця  $\pm$  0,2 мм;
- маса 10 000 кг.

#### 1.4.1 Розроблення конструкцій засобів технологічного спорядження

У даній роботі було обрано автоматизовані засоби складання, що значно зменшують час складальної операції та мінімізують втручання операторів, що дає змогу зменшити відсоток браку продукції.

Для циліндричних виробів, зокрема оголовків колон, критичним є безпомилкове суміщення листів і стабільний зварювальний зазор. У цьому проекті передбачено вибір та аргументація складальної оснастки, призначеної саме для складання й зварювання обичайки та фланця кільцевим швом та самої обичайки такого оголовку стиковим швом. Під час розроблення враховують габарити та масу деталей, способи їх переміщення й добір вантажопідйомних механізмів.

За умов серійного випуску найбільше себе виправдовують спеціальні складальні пристрої, що зменшують затрату часу та ресурсу на налагодження й прискорюють такт виробництва. Якщо ж стандартна оснастка не задовольняє конкретні вимоги, доводиться конструювати спеціальні, вузькопрофільні рішення.

Враховуючи особливості виробу, що складається було обрано спеціальний складальний притискач для позиціонування обичайки та фланцю для встановлення прихваток та роликовий стенд для обертання та підтримування виробу.

Елементи майбутнього вузла вводять у пристрій послідовно, а кожний із них притискається складальним апаратом для встановлення прихваток. Таке роздільне

						Арк.
						28
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

закріплення, виконане з мінімальним зазором, гарантує точність позиціювання та високу якість шва.

Найкращий результат за продуктивністю та якістю досягається, коли вузол зварюють у нижньому положенні: гравітація не деформує ванну, а доступ до шва залишається відкритим по всій довжині.

#### **1.4.2 Обґрунтування необхідності вибору засобів технологічного спорядження**

Для забезпечення високої якості зварних з'єднань та підвищення продуктивності виробництва доцільно використовувати механізовані пристрої, що дозволяють точно позиціонувати деталі у необхідному положенні. Особливо це важливо при зварюванні відповідальних конструкцій, таких як оголовок колони, де стабільність процесу і точність геометрії шва мають вирішальне значення.

У цьому проекті для виконання детально розглянутих зварних швів застосовується зварювальна колона з висувною консоллю в комбінації з роликівим стендом (обертачем) та спеціальним притискачем. Таке поєднання обладнання дозволяє ефективно виконувати як прямолінійні, так і кільцеві зварні шви, забезпечуючи рівномірний розподіл теплового навантаження та зменшуючи ймовірність утворення внутрішніх напружень у зварних з'єднаннях.

Зварювальні колони служать опорою для зварювальної головки, забезпечуючи її точне позиціювання та плавне пересування вздовж шва.

Роликові опори доповнюють систему, утримуючи й обертаючи циліндричну заготовку навколо її вісі. Завдяки цьому шов зварюється безперервно в нижньому положенні, а тепла енергія розподіляється симетрично, що гарантує однорідну форму та глибину провару по всьому периметру.

В цей самий час стенд фіксує конструкцію та не дає їй впасти, за рахунок того, що вона конусної форми.

						Арк.
						29
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Синхронне використання зварювальної колони і роликового станду дає низку вагомих переваг:

- дає змогу зварювати кільцеві шви безперервно, не перериваючи процес на переустановку виробу;
- автоматично узгоджує швидкість поступального руху пальника з кутовою швидкістю обертання заготовки, що позитивно позначається на геометрії та проплавленні шва;
- суттєво розвантажує оператора, переводячи більшість дій у режим автоматичного керування та підвищуючи загальну продуктивність ділянки.

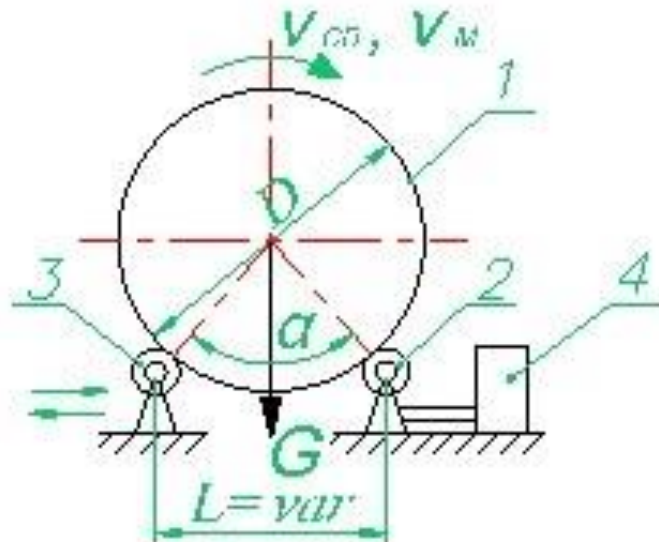
Комбінація «колона–стріла + роликовий стенд» різко зменшує трудомісткість, стабілізує тепловий режим і гарантує високу та повторювану якість швів — саме те, що необхідно для конструкцій, які працюють під високим тиском і не допускають дефектів.

Технічні дані зварювальної колони:

- висота рівня зварювання: найбільша 6000 мм, найменша 1000 мм;
- виліт консолі від осі колони до осі електрода: найбільший 1500 мм, найменший 500 мм;
- швидкість пересування візка; робоча, від 19 м/год до 77 м/год., маршова, 13 м / хв;
- швидкість підйому і опускання консолі, 2 м / хв;
- швидкість горизонтального переміщення консолі, 1 м / хв;
- габаритні розміри (довжина, ширина, висота), 3520 мм × 2880 мм × 8000 мм;
- маса, 4500 кг.

						Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.4.3 Розрахунки параметрів конструктивних елементів засобів механізації



1 – виріб; 2 – приводна роликоопора; 3 – не приводна роликоопора;  
4 – електропривод

Рисунок 1.4 – Роликовий стенд

Розрахунок роликового стенда.

Задамо числові значення геометричних параметрів роликового стенда:

Вихідні дані:

$m$  — маса оголовка колони.  $m = 10\,000$  кг;

$g$  — прискорення вільного падіння.  $g = 9,81\text{ м/с}^2 (\approx 10)$ ;

$$G = m \times g = 100\,000 \text{ Н}$$

де  $G$  — вага (сила тяжіння) виробу.

$i_p$  — кількість опорних роликів у стенді (пар роликоопор).  $i_p = 4$ ;

$\alpha$  — кут охоплення (контакту) виробу на роликах.  $\alpha = 60^\circ$ ;

$K_p$  — коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між роликами.

$K_p = 1,25$ ;

					Арк.
					31
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$\mu_s$  — коефіцієнт статичного тертя між поверхнею виробу та роликами.  $\mu_s = 0,35$ ;

$\eta$  — сумарний коефіцієнт корисної дії приводу стенда.  $\eta = 0,80$ ;

$n$  — робоча частота обертання роликів (обертів за хвилину).  $n = 6$  об/хв.

Статичні реакції

$$Q = 0,577 \times 100000 = 57\,700 \text{ Н}$$

де  $Q$  — сумарна вертикальна (радіальна) реакція від маси оголовка, що сприймається парою опорних роликів.

$$T_1 = T_2 = 0,01575 G = 1\,575 \text{ Н}$$

де  $T$  — тангенціальна складова сили кочення на кожному ролику.

$$T_{31} = 0,577 T_1 = 909 \text{ Н}$$

де  $T_3$  — горизонтальна (радіальна-поздовжня) складова сили кочення, що виникає через контакт виробу з роликом.

$$T_{32} = 2T_{31} = 1818 \text{ Н}$$

де  $T_3$  — горизонтальна (радіальна-поздовжня) складова сили кочення, що виникає через контакт виробу з роликом.

$$Q_1 = 0,953Q = 54\,988 \text{ Н}$$

де  $Q$  — фактична радіальна реакція в окремому ролику після урахування дії горизонтальної складової.

$$Q_2 = 1,046Q = 60\,354 \text{ Н}$$

де  $Q$  — фактична радіальна реакція в окремому ролику після урахування дії горизонтальної складової.

$$P_1 = K_p Q_1 = 1,25 \times 54\,988 = 68\,736 \text{ Н}$$

де  $P$  — розрахункове (проектне) навантаження на ролик з урахуванням коефіцієнта нерівномірності навантаження  $K_p$ .

$$P_2 = K_p Q_2 = 1,25 \times 60\,354 = 75\,443 \text{ Н}$$

де  $P$  — розрахункове (проектне) навантаження на ролик з урахуванням коефіцієнта нерівномірності навантаження  $K_p$ .

						Арк.
						32
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 – Моделі роlikоопор

Моделі роlikоопор					
Привідна	Холоста	Перекидна холоста	Номінальне навантаження на опору, Н	Мінімальний діаметр виробу, м	Діаметр ролика, мм
РП - 0,25	РХ-0,25	РХП-0,25	2500	0,25	410
РП - 0,5	РХ-0,5	РХП-0,5	5000	0,3	410
РП - 1	РХ-1	РХП-1	10000	0,5	410
РП - 2	РХ-2	РХП-2	20000	0,5	522
РП - 4	РХ-4	РХП-4	40000	0,8	522
РП - 8	РХ-8	РХП-8	80000	0,8	522
РП-16	РХ-16	РХП-16	160000	0,8	522

За таблицею 1.4 обираємо блок РП –8 (Ø ролика = 522 мм, допустиме навантаження 80 кН > P<sub>2</sub>).

Обрана роlikоопора має наступні геометричні параметри:

- діаметр черв'ячного колеса  $D_{\div} := 280$  мм;
- відстань від підшипника до черв'ячного колеса  $a := 80$  мм;
- відстань від черв'ячного колеса до роlikоопори  $b := 175$  мм;
- відстань від роlikоопори до підшипника  $c := 145$  мм.

Розрахунок навантаження на черв'ячне колесо.

$$S = T_2 \times \frac{D_p}{D_{\div}}$$

$$S = 1,867 T_1 = 2\,940 \text{ Н}$$

Зобразимо розрахункову схему (рисунок 1.3) та знайдемо реакції опор з рівняння моментів:

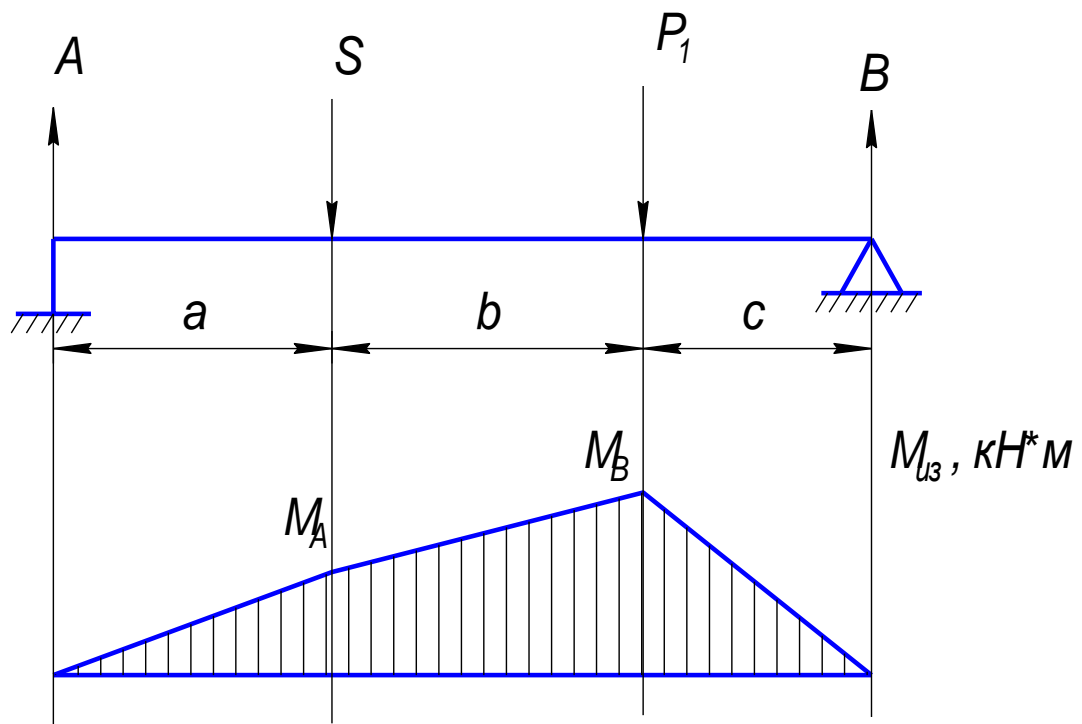


Рисунок 1.3 – Розрахункова схема

$$A := \frac{(P_2 \cdot c) + [S \cdot (b + c)]}{(a + b + c)} \quad B := \frac{[P_2 \cdot (a + b)] + (S \cdot a)}{(a + b + c)}$$

$$A = 0,518 P_1 = 35\,600 \text{ Н}; \quad B = 0,825 P_1 = 56\,200 \text{ Н}$$

$$A = 35600 \text{ Н} \quad B = 56200 \text{ Н}$$

де  $A, B$  — вертикальні реакції у нерухомих підшипникових опорах валу, Н

$$M_A = 0,0238 \times G = 2\,380 \text{ Н}\cdot\text{см}$$

де  $M_A, M_B$  — вигинальні моменти у характерних перерізах валу ( $A$  — ліва опора,  $B$  — роликкоопора), Н·см

$$M_B = 0,0708 \times G = 7\,080 \text{ Н}\cdot\text{см}$$

де  $M_A, M_B$  — вигинальні моменти у характерних перерізах валу ( $A$  — ліва опора,  $B$  — роликкоопора), Н·см

$$M_t = 0,119 \times G = 11\,900 \text{ Н}\cdot\text{см}$$

де  $M_t$  — крутний момент на валу від сил тертя між роликом і виробом, Н·см

					Арк.
					34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Еквівалентний момент:

$$M_{\text{е}} = \sqrt{(M_{B^2} + M_{t^2})} = \sqrt{(7\,080^2 + 11\,900^2)} = 13\,300 \text{ Н}\cdot\text{см}$$

де  $M_{\text{е}}$  — еквівалентний (розрахунковий) момент, що враховує сумісну дію вигину й кручення, Н·см

Розрахунок діаметру приводного валу.

$$d = \sqrt[3]{(32 \cdot M_{\text{е}} / (\pi \cdot \sigma_{\text{доп}}))}$$

де  $\sigma_{\text{доп}} = 80$  МПа

$\sigma_{\text{доп}}$  — допустиме напруження на вигин для матеріалу валу, МПа

$d$  — розрахунковий діаметр приводного валу, мм (приймається за результатами розрахунку або за стандартним найближчим значенням)

$$d = \sqrt[3]{(32 \cdot 13,3 \cdot 10^6 / (3,14 \cdot 80))} \approx 120 \text{ мм}$$

(приймаємо стандартний  $\varnothing$  125 мм)

Розрахунок потужності електродвигуна

$$P = 2\pi \cdot n \cdot M_{\text{т}} / (60 \cdot \eta)$$

$$P = 2\pi \cdot 6 \cdot 11\,900 / (60 \cdot 0,8) = 9,4 \text{ кВт}$$

де  $P$  — необхідна потужність електродвигуна приводу роликкоопори, кВт

З серійно виготовляємих двигунів (табл. 1.5) за потужністю обираємо підходящий нам двигун.

Таблиця 1.5 – Характеристики двигуна потужністю 11кВт

Номинальна потужність, $P_n$ , кВт	Тип двигуна	Частота обертання, $n_{\text{дв}}, \text{хв}^{-1}$	$T_{\text{пуск}} / T_{\text{ном}}$	$T_{\text{max}} / T_{\text{ном}}$	КПД, %
1	2	3	4	5	6
Синхрона частота обертання 3000 хв-1					
11,0	4A132M2У3	2900	1,7	2,8	88,0

Обираємо двигун потужністю 1 кВт та редуктор  $i \approx 160$ .

Перевіряємо зчеплення між роликом та обичайкою

$$K_{\text{цп}} = \frac{\mu_s G}{M_t/D_r} = \frac{0,35 \times 100\,000}{11\,900/0,20} \approx 34 > 2,5$$

В результаті визнаємо, що зчеплення гарантоване, а ковзання виключено.

Розрахунок відстані між роликами

$$L \approx 0,5 D = 0,5 \times 5800 = 2900 \text{ мм}$$

Виходячи з отриманих розрахунків стає зрозуміло, що однієї рами з двома роликами  $\varnothing 400$  мм достатньо для стійкої підтримки оголовка (рис 1.4).

Виходячи з отриманих значень обираємо роликовий стенд типу HGZ-10(клас «10 т») характеристики якого наведені у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Характеристики роликового стенду HGZ-10(клас «10 т»)

Основні паспортні дані	Значення
Максимальне навантаження	10 000 кг на пару опор (з довідкового каталогу — фактичний запас 12 т).
Діапазон діаметрів обичайок	Від 500 мм до 6 000 мм (перекриває 5 800 мм).
Матеріал роликів	Поліуретан + сталь (коєф. тертя $\mu \approx 0,35$ ; відповідає розрахунку зчеплення).
Кількість роликоопор (ір)	4 (приводна + холоста секція).
Діаметр ролика	400 мм.
Потужність електропривода	1,5 кВт; редукторний мотор-барабан, КПД $\eta \approx 0,8$ .
Діапазон швидкості	Від 0,2 об/хв до 8 об/хв (частотне керування інвертором).
Міжроликова база однієї секції	3 000 мм (відповідає $L \approx 2\,900$ мм).
Клас захисту / живлення	IP54, 3 × 400 В, 50 Гц.

## 1.5 Вибір та обґрунтування зварювального пристрою для поздовжнього шву

Для зварювання обичайки встановлюємо лист горизонтально у спеціальний складально-зварювальний стенд (рисунок 1.6), співвісно та виконуємо зварювання шву №2.

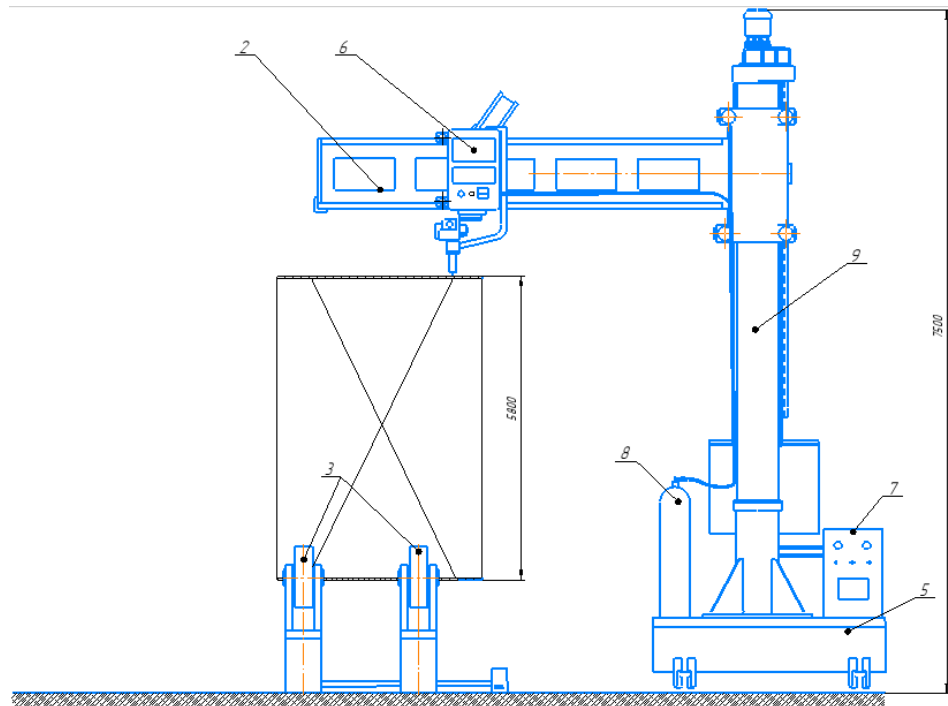


Рисунок 1.6 – Установка для зварювання обичайки

Основні вузли установки для зварювання обичайки:

- роликовий стенд;
- глагольний візок;
- колона стріла;
- зварювальна каретка;
- балон з захисним газом;
- джерело живлення .

Обичайка подається складеною та встановлюється горизонтально на роликовий стенд, після цього за допомогою пересувної зварювальної каретки виконується зварювання повздовжнього шву 135 способом у суміші захисних газів  $Ar + CO_2$ .

Режим зварювання, зварювальні матеріали, захисний газ, зварювальний апарат – використовуватися ті ж самі, що і для зварювання стикового шву №1.

### 1.6 Вибір та обґрунтування складального пристрою для кільцевого шву

Для складання обичайки з фланцем встановлюємо їх горизонтально у спеціальний складально-зварювальний стенд (рисунок 1.4), співвісно та виконуємо прихватки. Враховуючи невелику товщину стінки та великий діаметр обичайки та фланця потрібно контролювати їх співвісність та зазор для зварювання між ними.

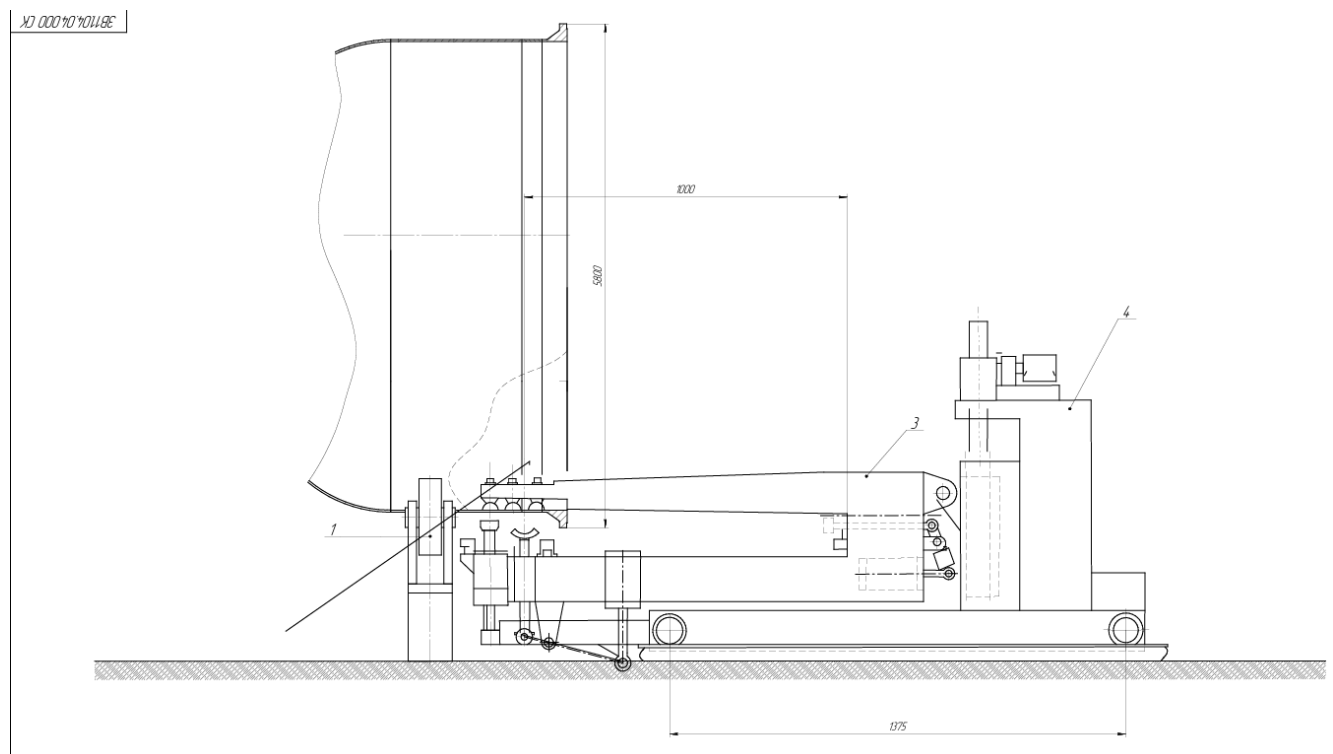


Рисунок 1.5 – Установка для складання обичайки та фланця

Стенд забезпечує точне складання-зварювання фланця з обичайкою. Його головні функції — забезпечення точності стику «фланець – обичайка», утримання

					Арк.
					38
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

виробу у потрібному положенні під час прихваток та зручне повертання вузла в процесі кругового МАG-зварювання.

Основні вузли складально-зварювального стану наведені в таблиці 1.7. Вона описує кожен елемент та його безпосередню функцію.

Таблиця 1.7 – Основні вузли а функції складально-зварювального стану

Елемент	Функція
Самоналагоджувальна роликів рама	Підтримує і плавно обертає обичайку Ø 5800 мм; ролики Ø 400 мм автоорієнтуються під власною вагою виробу.
Вертикальна опора-консоль	Несе приводний редуктор з роликом-центратором, що притискає циліндр і запобігає осьовому зсуву; висота регулюється гвинтовою парою.
Крокодил-затискач	Поворотна «гойдалка» з шарнірною лапою фіксує кований фланець, базуючи його по торцю; пневмоциліндр опускає й піднімає лапу.
Лінійна каретка-рама	Об'єднує всі вузли на спільному ложі й дає змогу налаштувати відстань між роликами ( $\approx 2900$ мм) під різні діаметри.
Гідропідйомник з важільною тягою	Точно виставляє кут $\alpha \approx 60^\circ$ між осями роликів і площиною стику, мінімізуючи провисання.
Електропривід	Двигун 1,5 кВт через редуктор задає обертання 6 об/хв для безперервного зварювального шва.

Обичайку з фланцем встановлюють горизонтально на роликові опори так, щоб їх осі збігалися по всій довжині. Спочатку великий пояс обичайки заводять у фланець і коректують положення кутовими гайками опор, домагаючись суворого співвісного зазору. Після цього оператор за допомогою гідропідйомника підводить зварювальний маніпулятор і виконує прихватки: три-чотири коротких точкових шва рівномірно розташовують по колу на відстані приблизно  $90^\circ$ , контролюючи відстань дуги та повний проплавлення кореня. Після затвердіння прихваток перевіряють повторно зазор і співвісність; у разі необхідності коригують положення обичайки, доки всі прихватки не створять рівномірний підпір для остаточного зварювання.

						Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.7 Вибір способу зварювання для кільцевого шву та повздовжнього шву

При виборі методу зварювання важливим фактором є серійний характер виробництва, який потребує застосування високопродуктивних технологій зварювання. Аналізуючи особливості зварюваних деталей, такі як їхні розміри, просторове положення під час зварювання, матеріал, довжину швів, ми визначили, що оптимальними способами є автоматичне зварювання під флюсом та автоматичне зварювання плавким електродом у суміші захисних газів.

Однак, зварювання під флюсом передбачає додаткові витрати часу і ресурсів порівняно з газовим зварюванням, зокрема: нанесення і контроль товщини флюсового шару, збір залишків флюсу після виконання операції, очищення шва від шлакової кірки. Також необхідно враховувати збільшені витрати на придбання зварювальних матеріалів порівняно із застосуванням газових сумішей.

З огляду на зазначене вище, найбільш доцільним і економічно вигідним для нашої роботи є автоматичне механізоване дугове зварювання плавким електродом у суміші газів (MAG), 135 спосіб. Для цієї сталі особливо важливо застосовувати активні газові суміші, такі як суміш аргону (Ar) від 15 % до 20% вуглекислого газу, що дозволяє забезпечити струменеве перенесення електродного металу, знижує ризик утворення пор і забезпечує високу якість зварного шва.

Згідно до даних отриманих з рисунку 1.6, зварювання буде виконуватись в один прохід.

Оскільки зварні шви №1 та №2 мають однакові параметри, обраний спосіб зварювання та режим буде використовуватись у обох випадках.

						Арк.
						40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### Переваги застосування суміші аргон + CO<sub>2</sub>:

- раціональне використання ресурсів: така суміш є значно доступнішою за вартістю, ніж чистий аргон, що дозволяє суттєво знизити загальні витрати на зварювання;
- покращені зварювальні характеристики: вуглекислий газ у складі суміші сприяє кращій стабільності дуги, покращеному переносу металу та рівномірному формуванню шва;
- глибоке проплавлення: забезпечується краща глибина проникнення шва, що є особливо важливим при зварюванні товстостінних елементів (у нашому випадку — 10 мм).

Оскільки зварювання буде виконуватись у заводських умовах, є можливість застосування місцевої струменевої подачі захисного газу, що забезпечує стабільний процес і формування якісного шва з дрібнокрапельним або струменевим переносом металу. Це дозволяє не лише досягти високої якості з'єднання, але й мінімізувати дефекти, пов'язані з розбризкуванням та нестабільною дугою.

Захисний газ Ar + 18% CO<sub>2</sub> (ДСТУ ISO 14175:2014) забезпечує:

- стабільність дуги. Основна роль аргону — формувати ідеально чисте захисне середовище, що знижує ймовірність дефектів у металі шва. Додавання CO<sub>2</sub> сприяє кращій стабільності дуги та підвищує швидкість перенесення металу;
- глибина проплавлення. Вміст CO<sub>2</sub> (близько 18%) дозволяє отримувати більш глибоке проплавлення шва, що є вирішальним для з'єднання стінок товщиною 10 мм;
- знижені витрати. Порівняно з чистим аргонем, використання суміші Ar+CO<sub>2</sub> допомагає зменшити витрати на зварювальні гази без критичного погіршення якості шва.

						Арк.
						42
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.9 Вибір зварювального дроту

Для зварювання обичайки та фланця товщиною 10 мм, виготовлених зі сталі P355NL2 (ДСТУ 8541:2015), рекомендовано використовувати зварювальний дріт типу ER70S –6 у поєднанні із захисним газом Ar + 18% CO<sub>2</sub>. Це оптимальне рішення для низьколегованих сталей, які працюють під високим тиском та в агресивному середовищі, забезпечуючи високу якість з'єднання й належні механічні властивості зварного шва.

Опис зварювального дроту ER70S –6 (G4Si1, ДСТУ ISO 14341:2014), призначення та склад.

ER70S–6 має підвищений вміст кремнію і марганцю, що сприяє формуванню більш стабільної дуги та покращеному перенесенню металу. Така комбінація легувальних елементів забезпечує міцний і пластичний зварний шов, стійкий до втомного руйнування, дані наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Склад зварювального дроту ER70S –6 (G4Si1) згідно з ДСТУ ISO 14341:2014

Компонент	Вміст (% , максимальний)
Вуглець (C)	від 0,06 до 0,15
Марганець (Mn)	від 1,40 до 1,85
Кремній (Si)	від 0,90 до 1,20
Молібден (Mo)	до 0,20
Нікель (Ni)	до 0,15
Кобальт (Co)	до 0,05
Фосфор (P)	до 0,025
Сірка (S)	до 0,025
Мідь (Cu)	до 0,50

Цей склад дає дроту ER70S –6 хорошу зварювальну здатність, міцність і стійкість до тріщин і пористості. Зварювальний дріт ER70S–6 зазвичай

використовується для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей у середовищі активних газів, таких як суміш аргон + CO<sub>2</sub>.

Переваги використання ER70S –6 в захисному газі Ar + 18% CO<sub>2</sub>:

- економічність: менша витрата дорогого аргону порівняно з повністю інертним середовищем;
- якість зварного з'єднання: оптимальна комбінація хімічного складу дроту й властивостей газової суміші дає можливість отримати якісний і надійний шов;
- висока продуктивність: струменеве або дрібнокрапельне перенесення металу забезпечує рівномірне формування шва та зменшує розбризкування;
- універсальність: підходить для зварювання як середніх, так і більш товстих металів, зокрема 10 мм і більше;
- здатність до зварювання. Дріт ER70S –6 добре використовується за різних термічних умов, що дозволяє працювати з деталями середньої та значної товщини (10 мм і більше) без ризику утворення внутрішніх дефектів;
- сумісність із низьколегованими сталями. Завдяки своєму хімічному складу дріт забезпечує достатній вміст легувальних елементів у шві, що особливо важливо для деталей, які експлуатуються при підвищених навантаженнях та у корозійно–активних середовищах.

Недоліки та рекомендації:

- ризик утворення пор: при недостатньому контролі параметрів (швидкості зварювання, витрати газу) можуть утворюватися пори у металі шва;
- можливе окислення шва: наявність CO<sub>2</sub> сприяє частковому окисленню, що за потреби вимагає додаткових операцій з обробки поверхні (зачищення, шліфування);

						Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- необхідність точного налаштування: важливо правильно підібрати режим струму та напруги, щоб забезпечити належну стабільність дуги і мінімізувати ризик появи дефектів.

### 1.10 Розрахунок режимів зварювання з'єднання для шву № 1 та №2

Розрахунок сили струму.

$$j = 140 \dots 180 \text{ A/mm}^2$$

де  $J$  – щільність струму

Розрахунок площі перерізу дроту.

$$A = \pi d^2/4 = 1.13 \text{ mm}^2$$

$$I = j A_{др}$$

Врахуємо середнє  $j = 160 \text{ A/mm}^2$

$$I = 160 \times 1,13 \approx 180 \text{ A}$$

Розрахунок напруги дуги.

$$U = 14 + 0,05 I$$

$$U = 14 + 0,05 \times 180 \approx 23 \text{ B}$$

Розрахунок швидкості подачі дроту.

$$v_{др} = \frac{I}{k}$$

де  $K$  – емпіричний коефіцієнт,  $k = 30$

$$v_{др} = \frac{180}{30} = 6 \text{ м/хв}$$

Розрахунок витрати захисного газу.

$$Q_{газ} = 8 + 0,02 I \approx 8 + 0,02 \times 180 \approx 11 \text{ л/хв}$$

Розрахунок швидкості зварювання.

					Арк.
					45
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$v = \frac{\eta U I 60}{E \times 10^3}, \quad \eta = 0,8.$$

$$v = \frac{0,8 \times 23 \times 180 \times 60}{5,0 \times 10^3} \approx 23,5 \text{ м/год.}$$

Розрахунок діаметру зварювального дроту.

$$F_H \approx \underbrace{\frac{1}{2} h B}_{\text{трикутник}} + \underbrace{bc}_{\text{корінь}} = \frac{1}{2}(10 - 2)(14) + 2 \times 2 \approx 56 + 4 = 60 \text{ мм}^2$$

$$d_{\text{др}} = k_d F_H^{0.625}, \quad k_d \in 0,18 \dots 0,22$$

$$d_{\text{др}} = 0,20 \times 60^{0.625} \approx 0,20 \times 7,0 \approx 1,4 \text{ мм}$$

Ближчим до розрахункового є каталожний  $\varnothing 1,6$  мм дріт ER70S-6, який забезпечує потрібну продуктивність та якісний провар.

Лінійну енергію розраховуємо за формулою:

$$H = (U \times I \times 60) / (v \times 1000)$$

Допустима межа для конструкційної сталі — до 2,5 кДж/мм, отже значення у межах норми.

Розрахунок площі V-шва за формулою:

$$A = \frac{b_{\text{верх}} + b_{\text{корінь}}}{2} \times t$$

$$\frac{14 + 2}{2} \times 10 = 80 \text{ мм}^2$$

Розрахунок об'єму металу на 1 м за формулою:

$$V = A \times 1000 \text{ мм}$$

$$8 \times 10^4 \text{ мм} = 80 \text{ см}^3$$

Розрахунок маси металу на 1 м за формулою:

$$m = V \times \rho_{\text{St}}$$

$$80 \times 7.85 = 628 \text{ г}$$

					Арк.
					46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Тому приймаємо, що площа шва дорівнює  $80\text{мм}^2$ , об'єм металу на 1 м дорівнює  $80\text{ см}^3$ , маса металу на 1 м дорівнює 628г.

Отримані дані зведемо у таблицю 1.9.

Таблиця 1.9 – Режим зварювання для шву №1

№ проходу	Призначення	Струм I, А	Напруга U, В	Швидкість подачі дроту, м/хв	Швидкість зварювання, мм/хв	Лінійна енергія*, кДж/мм	Міжпрохідна T, °C
1	Повне проплавлення	180	23	6	220 – 230	0,70 – 0,80	$\leq 150$

## 1.11 Компанування зварювального пристрою

### 1.11.1 Вибір та обґрунтування вибору основного інверторного джерела

Зварювання оголовка колони відноситься до групи критично важливих операцій: надійність стиків безпосередньо визначає безпеку всієї конструкції, а будь-який дефект у шві може спричинити порушення герметичності, а це в свою чергу – аварійні наслідки. Тому процес виконують на високоточному обладнанні з жорстким контролем параметрів.

Для даної конструкції застосовано автоматичне MAG –зварювання у суміші аргону з 18 %  $\text{CO}_2$ . Такий газовий захист забезпечує стабільну дугу, глибоке проплавлення крайок і рівномірне формування металу шва — саме ті характеристики, що необхідні для деталей, які працюють під значним тиском та циклічними навантаженнями.

Процес ведеться на сучасному інверторному джерелі, скомпонованому з підвісним напівавтоматом, розрахованим на роботу у середовищі активних газів. Завдяки синергічному керуванню оператор задає лише товщину металу, а система автоматично вибирає оптимальний струм, напругу та швидкість подачі дроту, гарантуючи повторювану якість кожного проходу.

						Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі розрахункових даних у процесі зварювання використовується ESAB Aristo Mig U5000i WC (рис. 1.8) – сучасне джерело живлення, що відповідає суворим вимогам до зварювання відповідальних конструкцій. Це обладнання забезпечує стабільне горіння дуги та оптимальні параметри зварювання, необхідні для створення міцного й герметичного з'єднання. Технічні характеристики даного джерела наведені в таблиці 1.10.

Автомат встановлюється на спеціалізованій зварювальній колоні з висувною консоллю, що забезпечує точне позиціонування та стабільність режимів зварювання. Такий підхід мінімізує ймовірність утворення дефектів та гарантує однорідність структури металу в зоні зварного шва.

Залучення автоматизованих комплексів дає змогу у нижньому положенні обварювати як поздовжні, так і кільцеві стикові шви оголовка. Такий режим одночасно підвищує вихідну продуктивність і гарантує стабільні геометричні параметри шва. Для нашої конструкції це принципово: навіть мінімальне відхилення в проплавленні або зміна ширини валика можуть різко знизити несівну здатність вузла, який працює під високим тиском. Тому автоматизація процесу — ключ до безпечної та довговічної експлуатації колони.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд джерела живлення

					Арк.
					48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики

Вхідна напруга	380V, 50/60 Hz
Вихідна потужність зварювання GMAW	500 A39 V @ 60 % Duty Cycle 400 A34 V @ 100 % Duty Cycle
Вихідна потужність зварювання GTAW	500 A30 VDC @ 60 % Duty Cycle 400 A26 V @ 100 % Duty Cycle
Вихідна потужність зварювання SMAW	500 A40 V @ 60 % Duty Cycle 400 A36 VDC @ 100 % Duty Cycle
Напруга холостого ходу	68 –80 V 59 V 72 –88 V < 35 V
Коефіцієнт потужності при максимальному струмі	0.90
ККД при максимальному струмі	84 %
Діапазон налаштувань MIG/MAG	8 –60 VDC (16 –500 A)
Діапазон налаштувань MMA/DC	16 –500 A
Діапазон налаштувань TIG/DC	4 –500 A
Повільний запобіжник	32 A
Режим енергозбереження	36 W
Робоча температура	–10 – +40 °C ( 14 –104 °F )
MCableX	4x6 mm <sup>2</sup>
Номінальна потужність кВА	25.2 kVA
Вага	66 kg

### 1.11.2 Вибір та обґрунтування компонентів зварювальної установки

Для зварювання кільцевого шву оголовку колони було розроблено спеціальну установку для зварювання оголовку колони, що складається з (рис. 1.9):

- роликовий стенд;
- глгольний візок;
- колона стріла;
- зварювальна каретка;
- балон з захисним газом;

— джерело живлення .

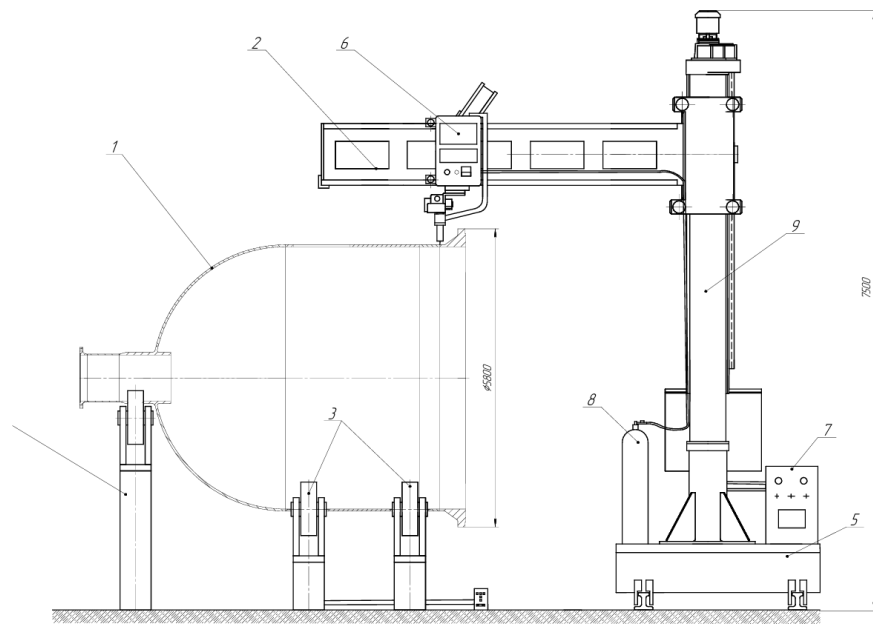


Рисунок 1.9 – Установку для зварювання оголовку колони

Обрана компоновка передбачає встановлення колони (поз.9) не на жорсткому фундаменті, а на пересувному візку, що рухається по рейковому напрямку вздовж виробу. Це дає змогу плавно переміщувати зварювальну головку уздовж кола обичайки без необхідності обертання самої деталі, зберігаючи постійну орієнтацію маніпулятора (поз.6) та оптимальний кут підведення дуги. Роликовий стенд (поз.3) забезпечує підтримку корпусу (поз.1) та стабілізують його під час проходження зварювальної зони, а гнучкі кондуктори живильних кабелів і дроту (поз.8) виключають закручування й передчасний знос при русі візка. Консольна балка (поз.2) із можливістю регулювання висоти та вильоту в поєднанні з мобільним пультом керування (поз.7) дозволяє оператору оперативно коригувати параметри дуги та швидкість подачі дроту, рухаючись разом із візком уздовж обичайки. Така схема гарантує рівномірне тепловкладення, мінімальні деформації та високу якість зварювання стикового шва по всьому периметру зварювання.

					Арк.
					50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

## 1.12 Контроль якості

Оскільки оголовок колони це посудина, що працює під тиском – всі зварні з'єднання на ньому мають проходити обов'язковий контроль якості.

Система контролю якості спрямована на гарантоване отримання зварних з'єднань, що задовольняють вимоги EN 13445-4 та ДСТУ ISO 5817 (рівень В для посудин високого тиску). Вона охоплює всі етапи життєвого циклу виробу — від приймання матеріалів до випробувань готового оголовка.

На вхідному контролі перевіряють сертифікати плавок сталі P355NL2, результати механічних випробувань та маркування поковок фланця. Геометричні параметри заготовок (товщина 10 мм, підготовка крайок V-30°) звіряють з робочими кресленнями штанген-інструментом та шаблоном-контуром; допустимі відхилення —  $\pm 0,5$  мм по ширині та  $\pm 2^\circ$  по куту фаски.

Перед складанням контролюють чистоту крайок, відсутність корозії, мастил і задирок; параметри зазору ( $2 \text{ мм} \pm 0,2 \text{ мм}$ ) вимірюють листовими щупами. Базування фланця у пристрої «крокодил» перевіряють індикатором (биття по діаметру  $\leq 0,3 \text{ мм}$ ). Після прихваток виконують візуально-вимірювальний контроль (ВТ) згідно з ISO 17637; тріщини, непровари й пори  $> 0,3 \text{ мм}$  неприпустимі.

Під час MAG-зварювання здійснюють оперативний контроль режимів зварювання, записуючи струм, напругу, швидкість подачі дроту та витрату газу у журнал WPS-логера. Допустимі коливання:  $\pm 10 \text{ А}$ ,  $\pm 2 \text{ В}$ ,  $\pm 10 \%$  по швидкості й витраті газу. Температуру міжпрохідного металу підтримують  $< 150 \text{ }^\circ\text{C}$  (інфрачервоний пірометр). Показники напруги та швидкості роликowego стенда калібрують перед кожною зміною.

Після завершення шва проводять всебічний візуальний огляд і магнітопорошковий контроль (МТ, ISO 17638) зовнішньої поверхні; нерівностей посилення більше 1,5 мм та підрізів  $> 0,5 \text{ мм}$  не допускають. Далі виконують ультразвукову дефектоскопію (УТ, ISO 17640) суцільно по довжині стику:

						Арк.
						51
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

амплітуда відбитого сигналу не перевищує рівень від контрольного плоского відбивача Ø 3 мм на глибині 10 мм. За результатами УТ усі відбитки, що еквівалентні дефектам > 2 мм, підлягають вибірковому шліфуванню та повторній перевірці.

Для підтвердження властивостей металу шва застосовується атестація технології (WPQR) за EN ISO 15614-1: зварюють контрольний зразок-кільце, вирізають поперечні макрошліфи, натяг і ударні зразки KV –20 °С; значення  $\sigma_{\text{мін}} \geq 510$  МПа, KV  $\geq 47$  Дж. Разова перевірка здійснюється при кожній зміні партії зварювального дроту або газу.

Після складання оголовка з корпусом колони проводять гідростатичні випробування тиском  $1,25 \times 6,4 = 8,0$  МПа протягом 30 хв відповідно до EN 13445-5. Витік або падіння тиску > 1 % неприпустимі. Закінчення випробувань оформлюють актом.

Усі етапи контролю документують у маршрутній карті; результати зберігаються в електронній системі Trace-Weld протягом 10 років. Незадовільні показники усувають шляхом виправлення дефектів, повторного контролю та внесення коригувальних дій у карту процесу. Сукупність перелічених заходів забезпечує необхідну надійність і безпеку оголовка колони у реальних умовах експлуатації.

### 1.13 Проектування ділянки цеху

Проект ділянки цеху для виготовлення оголовка колони передбачає раціональне розміщення обладнання, забезпечення безпечного та ефективного технологічного потоку, а також комфортних умов праці. Загальна площа відведена під ділянку складає 120 м<sup>2</sup>, що включає зону підготовки заготовок, рольганг із роликівим стендом, простір для роботи зварювальної колони, а також проходи й зону контролю якості.

						Арк.
						52
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вхідна зона розташована біля воріт постачання матеріалів. Тут передбачено місце для тимчасового складування обичайок і фланців на піддонах, а також стелажі із запасом зварювального дроту та газових балонів. Поверхня підлоги в цій зоні виконана з зносостійкого бетонного покриття, що витримує навантаження навантажувачів.

Сусідньою зоною розташовується робочий майданчик роликового стенда і колоно-стрілового маніпулятора. Відстань між осями роликів становить 2,9 м, що точно відповідає діаметру корпусу, а відстань до стіни — не менше 1 м, щоб забезпечити вільний доступ для обслуговування. Над стендом змонтовано стаціонарні кабелі живлення та шланги з газовими лініями в кабель-каналах на стелі, що дозволяє уникнути плутанини та травматизму.

Далі розміщується робоче місце підвісної зварювальної колони. Консоль колони закріплена на фундаментній плиті з протиковзким покриттям. Навколо робочого простору передбачено металеві екрани висотою 2,5 м для захисту інших працівників від випромінювання й бризок металу. Підлога в цій зоні покрита діелектричними килимками шириною 0,8 м, що відповідає ДСТУ EN 61482-1-1, та оснащена антивібраційними опорами.

Між стендом і колоною передбачено робочий коридор шириною 1,2 м, що забезпечує безперешкодний рух персоналу та доставку інструментів на візках. У цьому коридорі встановлено стійку з пультом керування роботизованим маніпулятором і системою моніторингу параметрів зварювання (WPS-логер).

Зона контролю якості винесена в окремий сектор з гідравлічною випробувальною станцією та стелажми для зберігання готових виробів. Поблизу розміщено ультразвуковий дефектоскоп та магнітопорошкову установку, встановлені на вібростійких опорах. Робочий стіл для макрошліфів і мікроскопії знаходиться в закритій кімнаті з освітленням не менш ніж 500 лк.

Система вентиляції поєднує загальнообмінну припливно-витяжну установку з продуктивністю 10 000 м<sup>3</sup>/год та локальні витяжні головки над столом роликового

						Арк.
						53
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стенда й зони зварювання. Повітряні канали прокладені в стелі, обладнані шумопоглинальними вставками, щоб рівень шуму не перевищував 80 дБ.

Для забезпечення пожежної безпеки по периметру дільниці встановлено вогнегасники по класам А і С, а підлогу марковано пожежними виходами й шляхами евакуації. Освітлення організовано лінійними світильниками з інтенсивністю від 400 лк до 600 лк у робочих зонах і аварійними лампами на випадок відключення живлення.

У такий спосіб планування дільниці гарантує безперервний технологічний процес складання та МАG-зварювання оголовків колон, високий рівень безпеки та зручність обслуговування обладнання.

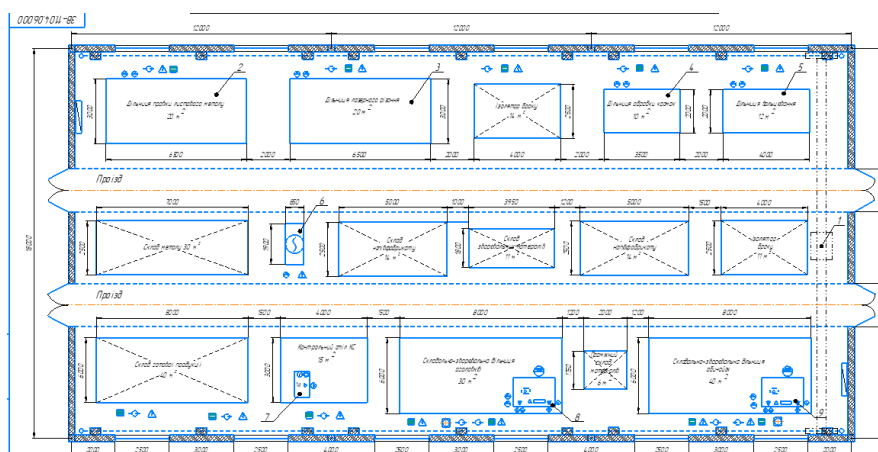


Рисунок 1.10 – Схема виробничої площі

### Висновки до технологічного розділу

Аналіз технології виготовлення оголовку колони з урахуванням особливостей конструкції (Ø 5800 мм, товщина 10 мм) показав, що єдиним оптимальним методом зварювання оглянутих швів є процес 135. Підготовку крайок виконано плазмовим різанням PlasmaJet DS12030 (120 А, точність ±0,5 мм), що

						Арк.
						54
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімізує зону термічного впливу й знижує обсяг слюсарної обробки. Зварювання проводять у захисному газі 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub> зі струмом від 280 А до 350 А, напругою від 30 В до 32 В і подачею дроту 12 м/хв, що забезпечує глибоке й однорідне проплавлення без пористості. Роликовий стенд гарантує круглість Ø 5800 мм із відхиленням до ±1 мм, а пересувна рейкова система з вантажопідйомністю 2 т і швидкістю руху 0,5 м/хв дає змогу підтримувати стабільну швидкість зварювання й положення обичайки відносно маніпулятора. Для запобігання холодним тріщинам перед зварюванням проводять попередній підігрів до 150 °С і підтримують інтеркритичну температуру ≤ 200 °С, а контроль водню в металі через використання низьководневого дроту (≤ 5 мл/100 г) виключає утворення дефектів. Цей комплекс параметрів і методів повністю відповідає вимогам дипломного проекту, дозволяючи забезпечити високу якість, технологічність та повторюваність виготовлення оголовків колон.

Обране обладнання:

- джерело живлення ESAB Aristo Mig U5000i WC ;
- колона стріла D-TL-HCJ Dumeta;
- зварювальна каретка AXXAIR Weldtravel WT1;
- Роликовий стенд РП-8.

						Арк.
						55
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

### 2.1 Стартап як різновид підприємницької діяльності

У двадцять першому столітті підприємництво відкрило для себе нові форми, зокрема стартапи — проекти, зосереджені на нестандартних рішеннях та швидкому розширенні. Це не просто свіжостворені компанії, а підприємницькі задуми, які прагнуть до масштабування, впровадження інновацій та проникнення на нові ринки.

Специфіка стартапів полягає у прагненні відшукати нові підходи до розв'язання актуальних проблем. Це може бути втілення технологічних рішень, створення унікальних сервісів або розробка продуктів, яких ще не існує на ринку. Зазвичай, такі проекти працюють в умовах обмежених ресурсів, через що змушені діяти оперативно та креативно.

Керування стартапом відрізняється від традиційного бізнесу динамічністю процесів. Команда зазвичай невелика, але мультифункціональна, що дає змогу оперативно реагувати на зворотний зв'язок, змінювати бізнес-модель або покращувати продукт у відповідь на потреби користувачів.

Фінансове забезпечення стартапів нерідко надходить із нетрадиційних джерел. Починаючи від інкубаторів та акселераторів, закінчуючи приватними інвесторами чи платформами колективного фінансування — нові бізнеси шукають не тільки гроші, але й наставницьку підтримку та вихід на корисні контакти.

Звісно, така модель не вільна від ризиків: висока конкуренція, невизначеність попиту, недостатність досвіду в управлінні — усе це може призвести до невдачі. Але саме завдяки готовності ризикувати та експериментувати, стартапи здатні змінювати цілі галузі.

					<i>ПЗ ЗВ11.04.00.000</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>Розроблення стартап-проєкту</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Кухарчук І.В.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Глуценко Я.І.</i>					56	102
<i>Н. контр.</i>		<i>Лисак В.В.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім.. Є.О. Патона</i>		
<i>Затв.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>						

Отже, стартапи — це не тільки спосіб реалізації бізнес-ідей, а й рушій змін у суспільстві. Їхній внесок у розвиток інновацій, цифровізацію та глобалізацію економіки важко переоцінити. Для багатьох підприємців це шанс вплинути на світ і створити щось по-справжньому вартісне..

## 2.2 Маркетинговий аналіз стартап - проєкту з виготовлення оголовку колони

### 2.2.1 Опис ідеї проєкту

Метою стартап-проєкту є запуск серійного виробництва зварних оголовків колони — заключного елемента посудин і колон, що працюють під тиском у хімічній, нафтохімічній, енергетичній, харчовій та фармацевтичній промисловості. Продукція розрахована на внутрішній тиск до 2,5 МПа, виготовляється зі сталі P355NL2 і призначена для замикання оболонки, приєднання технологічних патрубків, фланців і опорних елементів. Запропонована технологія базується на напівавтоматичному МАG-зварюванні (процес 135), що забезпечує високу якість швів при помірній собівартості.

Деталізований опис ідеї стартап-проєкту з виготовлення оголовку колони наведемо у вигляді таблиці 2.1. Отже, згідно таблиці 2.1, попередньо, можна зробити висновок, що потенційними ринками збуту продукції будуть компанії, які спеціалізуються на будівництві жилих, промислових та інфраструктурних об'єктів.

Таблиця 2.1 – Опис ідеї стартап-проєкту виготовлення оголовку колони

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Впровадження розробленої технології виробництва оголовку колони, яка забезпечить необхідний рівень якості при мінімальній собівартості.	1. Хімічна промисловість	Безпека, герметичність, надійність, екологічність, довговічність
	2. Нафтохімічна промисловість	Надійність, довговічність, міцність, герметичність
	3. Харчова промисловість	Надійність, довговічність, міцність, стерильність
	4. Енергетична промисловість	Безпека, надійність, довговічність, екологічність

## 2.2.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг

Повне уявлення про конкурентоспроможність нашого проекту можна сформулювати, порівнявши його основні характеристики з пропозиціями чинних виробників деталей для посудин під тиском. До переліку ключових критеріїв, які визначають привабливість і життєздатність ініціативи, належать такі аспекти:

– експлуатаційні витрати. До цієї категорії входять усі поточні витрати, необхідні для підтримання виробничої лінії у працездатному стані: планові профілактичні огляди зварювального обладнання, заміна контактних наконечників, форсунок і фільтрів, а також закупівля витратних матеріалів (зварювальний дріт, захисні гази, шліфувальні круги та флюси для контролю). Низька частка ручних операцій і використання стандартизованих витратників дають нашому підприємству змогу зменшити експлуатаційні видатки порівняно з виробниками, що базуються на РДЗ або РДП-процесах;

– виробнича спроможність. Показник визначається кількістю оголовок, які цех здатен видати «з дверей» за добу чи місяць. З огляду на автоматизований маршрут (МАГ-зварювання, механізоване фрезерування крайок, наскрізний неруйнівний контроль) проєктована лінія дозволяє виготовляти до 80 виробів на місяць без перевантаження обладнання, що вигідно вирізняє її на фоні цехів, де переважає ручне дугове зварювання;

– надійність і довговічність. Сталь P355NL2 забезпечує високу ударну в'язкість за мінусових температур і стійкість до циклів «тиск–розрядження». У поєднанні з післязварювальним відпуском це продовжує ресурс виробу та зменшує ризики аварій під час експлуатації в агресивних середовищах;

– трудомісткість виготовлення. Автоматизація більшості операцій (роботизована подача крайок, позиціонери, частково роботизоване зварювання) скорочує кількість нормо-годин на один оголовок на 20–25 % у порівнянні з

						Арк.
						58
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

традиційною схемою на основі РДЗ. Відповідно знижується собівартість і підвищується оперативність виконання замовлень;

– герметичність швів. Стандартний маршрут передбачає 100 % ультразвуковий контроль та гідростатичні випробування, що гарантує повну непроникність стиків. Це критична перевага на ринку апаратів під тиском, де навіть незначні витoki неприпустимі;

– енергоспоживання. Використання енергоощадних інверторних джерел живлення у процесі 135 та рекуперація теплоти димових газів забезпечують нижче енергоспоживання на одну тонну готової продукції порівняно з аналогічними лініями, що працюють на застарілих трансформаторах;

– екологічний профіль. Запроектована система вентиляції зі змінними фільтрувальними касетами знижує концентрацію шкідливих аерозолів у зоні зварювання до рівня, що відповідає європейським директивам. Зменшення відходів і можливість переробки шліфувального шламу позитивно позначаються на екологічному іміджі компанії та полегшують проходження сертифікацій ISO 14001.

Отже, за більшістю критичних позицій — від трудомісткості та герметичності до енергоефективності й екології — стартап із виготовлення оголовків колон демонструє суттєві переваги над традиційними виробниками, що робить проєкт конкурентоспроможним на національному й потенційно на зарубіжних ринках.

### 2.2.3 Аналіз учасників ринку

На ринку виготовлення зварних конструкцій діють низка компаній, які вже мають досвід і напрацьовану інфраструктуру. Наведемо короткий огляд кількох із них:

– ТОВ «Машзавод» - національний виробник, що виготовляє сталеві зварні посудини та апарати, що працюють під тиском не більше 16,0 МПа (160 кгс/см<sup>2</sup>), під наливом і в вакуумі діаметром до 5000 мм з вуглецевих, низько- і

					Арк.
					59
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

високолегованих, жароміцних сталей, біметалів для нафтопереробних і нафтохімічних підприємств, газо- і нафтотранспортних систем, для облаштування газових і нафтових родовищ, терміналів зберігання зрідженого газу та інше обладнання.;

– ТОВ «Северодонецький завод хімічного нестандартизованого обладнання» - підприємство що займається виготовленням посудин, що працюють під тиском в складних умовах. Технологічні можливості і технічне оснащення заводу дозволяють випускати обладнання будь-якої складності на сучасному рівні з вуглецевих, низьколегованих, корозійностійких сталей і сплавів на залізонікелевій основі, а також сплавів титану, цирконію, алюмінію;

– ПрАТ «Факел» — одне з провідних машинобудівних підприємств України з виробництва обладнання для нафтогазового комплексу, хімічної, харчової, фармацевтичної промисловості, автозаправного комплексу.

Всі вищезазначені особливості та відомості будуть зібрані до таблиці 3.3, що ретельно презентуватиме зіставлення сильних сторін та недоліків проекту стосовно згаданих конкурентів.

Таблиця 2.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			
		Проект	ТОВ «Машзавод»	ТОВ «СЗХНО»	ПрАТ «Факел»
1.	Вартість обслуговування та експлуатації обладнання	S	W	N	W
2.	Обсяг виробництва	S	N	S	N
3.	Довговічність	W	N	N	W
4.	Трудомісткість виготовлення	S	W	S	N
5.	Забезпечення міцності/герметичності жорсткості/зварної конструкції	S	W	N	W
6.	Енергоефективність	S	W	S	S
7.	Екологічність	N	W	N	N

						Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

На підставі зведених показників порівняльної таблиці можна стверджувати, що запропонований проєкт з виготовлення оголовоків колони володіє переконливим конкурентним потенціалом. Насамперед ми маємо суттєві переваги у довговічності виробу, зниженій трудомісткості процесу та гарантованому рівні міцності й герметичності зварної конструкції. Саме ці параметри є визначальними для замовників обладнання, що працює під тиском.

Водночас показник обсягу виробництва наразі поступається можливостям деяких конкурентів. Його можна підвищити щонайменше до нейтрального рівня шляхом інвестування в додаткові автоматизовані пости МАG-зварювання та розширення площ цеху. Модернізація лінії не лише збільшить випуск, а й забезпечить гнучкість при виконанні партій різної номенклатури без втрати якості.

У цілому стартапі орієнтується на сегмент, де замовник потребує швидкого виготовлення сертифікованих оголовоків зі сталі P355NL2 із гарантованою герметичністю. За умови поетапного нарощування виробничої потужності проєкт здатен успішно конкурувати з чинними вітчизняними та зарубіжними постачальниками і посісти стійку нішу на ринку посудин і їхніх комплектувальних деталей.

### **2.3 Технологічний аудит ідеї проєкту**

Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Перед тим як оцінити економічну доцільність запуску стартап-проєкту з випуску оголовоків колон, необхідно перевірити, чи забезпечує підприємство повний набір технологій, без яких виробництво буде неконкурентним або

						Арк.
						61
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ризикованим. Насамперед ідеться про спосіб зварювання, засоби підготовки крайок, позиціонування важких виробів, неруйнівний контроль і операції заготівельного та фінішного циклів (від різання металу до антикорозійного покриття).

У таблиці нижче узагальнено ключові елементи технологічного ланцюжка, потрібні для серійного виготовлення оголовків колон, а також зазначено їх фактичну наявність і доступність на вітчизняному ринку. Це дає можливість швидко з'ясувати, які операції можна реалізувати власними силами вже сьогодні, а для яких потрібні додаткові інвестиції або залучення сторонніх підрядників.

Таблиця 2.3 – Ключові елементи технологічного ланцюжка

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виробництво оголовку колони	135 спосіб зварювання (за ISO 4063).	Наявна	Доступна
	Механізоване оснащення для прецизійної підготовки крайок (фрезерна лінія або плазмове фаскознімання)	Наявна	Доступна
	Роликовий стенд у комплекті з колонно-стріловим маніпулятором для обертання та позиціонування виробу	Наявна	Доступна
	Повний цикл неруйнівного контролю (ультразвук, капілярна дефектоскопія, гідростатичні випробування)	Наявна	Доступна
	Технології заготовчого етапу: автоматичне плазмове різання,	Наявна	Доступна

Продовження таблиці 2.3

	вальцювання обичайок, кування фланця		
	Нанесення двошарового епоксиполіуретанового покриття для зовнішнього захисту	Наявна	Доступна

Детальне дослідження стану ринку металевих конструкцій вказує на низку сприятливих факторів для стрімкого розвитку виробництва оголовків колон, що використовуються для посудин, що функціонують під тиском. Очікуване збільшення попиту зумовлено кількома стратегічно важливими обставинами.

По-перше, значне знищення критичної інфраструктури внаслідок бойових дій створює нагальну потребу у її відновленні. Модернізація енергетичних, хімічних, транспортних і логістичних об'єктів неодмінно передбачатиме встановлення нових посудин під тиском, а це, у свою чергу, підвищить споживання зварювальних елементів – зокрема оголовків, які забезпечують герметичне замикання колон та реакторів.

По-друге, просторове переміщення та оновлення виробничих площ після релокації підприємств стимулюють інвестиції в нарощування їх потужностей. Особливо активно цей процес розгортається у нафтопереробній, харчовій, фармацевтичній та оборонній галузях, де потрібні великі обсяги сертифікованих деталей, що працюють під тиском, із гарантованою герметичністю.

Третій суттєвий аспект – підвищення ролі безпеки. В умовах збройного конфлікту різко зростає попит на мобільні та швидкокомтовані резервуарні системи, сховища рідин і газів, модульні заправні станції. Всі ці рішення потребують міцних зварних оголовків, що підлягають оперативному виготовленню та встановленню.

У глобальному контексті, санкційна політика, ініційована адміністрацією Дональда Трампа, справила неоднозначний вплив. З одного боку, міжнародні компанії, що втратили частину азійських потужностей, активно шукають нові

						Арк.
						63
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничі центри та готові інтегрувати ніші у Центральній та Східній Європі. Це відкриває перспективи для українських стартапів, здатних швидко адаптуватися та запропонувати конкурентоспроможний продукт. З іншого – зміни логістичних та фінансових потоків ускладнюють доступ до високотехнологічного обладнання та імпорتنних компонентів, а також збільшують бар'єри для виходу на зовнішні ринки.

Внутрішні ризики також залишаються значущими: триваюча війна, загрози для критичної інфраструктури, політична та фінансова нестабільність, дефіцит кваліфікованого персоналу. Запуск виробництва оголовків під тиском вимагає значних первинних капіталовкладень у сучасне зварювальне та контрольньо-випробувальне обладнання, налагодження логістики, формування висококваліфікованої команди та активну маркетингову підтримку.

Підсумовуючи, ринкове середовище поєднує істотний потенціал зростання з підвищеним рівнем непередбачуваності, що обумовлено як внутрішніми, так і глобальними чинниками. Успіх стартап-проектів з виробництва зварних оголовків колон можливий за умови ретельного аналізу ринку, стратегічно виважених інвестицій та гнучкої реакції на зовнішні виклики.

Таблиця 2.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	800000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає, завдяки відновленню та модернізації нафтопереробних, хімічних і енергетичних підприємств, а також релокації.
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі інвестиції у сертифіковане зварювальне та випробувальне обладнання, обов'язкова наявність атестованих зварників і персоналу НК.

Продовження таблиці 2.4

5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Обов'язкова відповідність EN 13445 / Директиві PED 2014/68/EU; сертифікація ISO 3834-2, атестація виробництва за DSTU EN ISO 9606-1; 100 % неруйнівний контроль швів
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	18%

Цільова аудиторія охоплює як масштабні ЕРС-підряди на будівництво нових технологічних ліній, так і нішеві ремонти та мобільні рішення. Ключовими чинниками вибору залишаються сертифікована якість, стислий термін виготовлення та повний пакет документів, який підтверджує відповідність оголовка колони міжнародним та національним вимогам до обладнання під тиском.

Потреби, котрі формують ринок; вимоги споживачів до товару; ринкову поведінку потенційних клієнтів деталізовано в таблиці 2.3.1

Таблиця 2.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Нове будівництво й монтаж посудин під тиском для хімічних та нафтохімічних комплексів	ЕРС-контракти, інжинірингові компанії, генпідрядн	Орієнтація на стислий графік постачання, потреба у повному пакеті сертифікатів (PED 2014/68/EU, EN 13445), відсутність	Безумовна герметичність, відповідність стандартизованим розмірам фланців, 100 %

Продовження таблиці 2.5

2	Створення мобільних та резервних сховищ рідин і газів для оборонного та логістичного сектору	Військово-логістичні структури, виробники мобільних резервуарів	Своєчасність та повнота постачання, відповідність державним стандартам та нормам, сертифікація виробів, дотримання гарантійних зобов'язань	Легка, але міцна конструкція, робочий тиск до 2,5 МПа, сертифіковане епоксиполіуретанове
---	--	---	--	--

Для створення вдалої маркетингової стратегії та пропонування якісного продукту з повним супроводом сервісу, надзвичайно важливо глибоко усвідомлювати потреби вашої цільової аудиторії та розуміти зміни в ринковому середовищі. Такий підхід дає змогу не тільки правильно представити продукт, а й ефективно використовувати ресурси, враховуючи обставини, що сприяють або, навпаки, заважають виходу проєкту на ринок.

Одним з ефективних інструментів такого аналізу є таблиці можливостей та ризиків. Вони дають повну картину ринку, допомагають приймати обдумані рішення, а також дозволяють показувати інвесторам обґрунтованість бізнес-ідеї. Адже збільшення довіри з боку інвесторів є ключовим елементом успішної реалізації будь-якого інноваційного проєкту.

Взяття до уваги згаданих вище аспектів дозволяє підприємству швидко реагувати на зміни на ринку, результативно розпоряджатися наявними ресурсами та збільшувати рівень якості товарів. Застосування цих переваг формує підґрунтя для тривалого конкурентного успіху, мінімізації потенційних загроз і поліпшення інвестиційної привабливості проєкту на будь-якій стадії його виконання.

Створення та розбір інформації, поданої у табличному форматі, де відображено фактори, що стимулюють або ускладнюють вихід проєкту на ринок, – критичний інструмент для винесення обґрунтованих управлінських вердиктів. Такий розбір надає можливість глибше проникнути в суть ринкової кон'юнктури,

						Арк.
						66
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зважити як потенційні небезпеки, так і перспективи, і слугує формуванню результативних стратегій та планів активностей. Це, у свою чергу, збільшує вірогідність вдалого виконання проекту, гарантує раціональне використання ресурсів та дає змогу аргументовано представити проект потенційним інвесторам та партнерам.

## 2.4 SWOT-аналіз стартап-проєкту

SWOT-аналіз — потужний інструмент стратегічного планування, який дає змогу комплексно розглянути внутрішні характеристики ініціативи (сильні й слабкі боки) та зовнішні ринкові чинники (можливості й ризики). Така оцінка дозволяє:

- визначити конкурентні плюси (скажімо, інноваційні технології або згуртовану висококваліфіковану команду);
- окреслити внутрішні обмеження (наприклад, вагомі стартові інвестиції чи обмежену масштабованість виробництва);
- урахувати вплив зовнішнього середовища — від зростання попиту до посилення конкуренції та змін у законодавстві — щоб сформувану обґрунтовану стратегію розвитку;

Ключові блоки SWOT-аналізу:

- strengths (сильні сторони): внутрішні переваги, що формують конкурентний імідж підприємства — сучасні виробничі рішення, досвід персоналу, налагоджена логістика тощо;
- weaknesses (слабкі сторони): внутрішні недоліки, які можуть гальмувати зростання — завелика собівартість, обмежені маркетингові бюджети, невеликий тираж продукції;
- opportunities (можливості): зовнішні умови, здатні стимулювати розвиток — підвищений попит, державні гранти, нові технологічні чи демографічні тренди;

						Арк.
						67
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– threats (загрози): зовнішні фактори, що несуть потенційну шкоду — агресивна конкуренція, економічні коливання, логістичні перебої, дефіцит кадрів тощо.

SWOT-аналіз підсумовує ринкове дослідження: на його базі формують альтернативні сценарії поведінки на ринку та визначають доцільні терміни реалізації кожного з них, зважаючи на можливі кроки конкурентів.

Таблиця 2.6 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Висока герметичність і міцність швів, підтвержені 100 % НК та гідровипробуваннями	1. Значні початкові інвестиції в сертифіковане зварювальне та випробувальне обладнання
2. Використання автоматизованого MAG-процесу (процес 135) — низька трудомісткість і стабільна якість	2. Обмежені виробничі обсяги на старті (невелика партія устаткування)
3. Корозійна стійкість і ударна в'язкість сталі P355NL2 при низьких температурах	3. Залежність від постачання легованого листового прокату й інертних газів
4. Енергоефективні інверторні джерела живлення та рекуперація теплоти	4. Невеликі маркетингові бюджети й низька впізнаваність бренду на експортних ринках
Можливості	Загрози
1. Відновлення та модернізація хімічної, енергетичної й нафтопереробної інфраструктури після бойових дій	1. Падіння інвестиційної активності та відтермінування проєктів у разі економічної рецесії
2. Державні програми підтримки машинобудування та компенсації відсотків для МСП	2. Посилення конкуренції з боку великих виробників посудин під тиском та імпортерів
3. Попит на мобільні резервуарні системи для оборонного й логістичного сектору	3. Валютні коливання, інфляція й загальна фінансова нестабільність
4. Експортні ніші у країнах ЄС, Близького Сходу та Північної	5. Руйнування або пошкодження виробничих потужностей внаслідок війни

Продовження таблиці 2.6

Африки, які шукають альтернативних постачальників	
5. Підтримка «зелених» виробництв — перевага для енергоощадних технологій з низькими викидами	4. Технологічні збої або кібератаки на роботизовані лінії
6. Швидке впровадження цифрових паспортів виробу та ERP-системи, що підвищує довіру клієнтів	6. Перебої в логістиці
	7. Втрата кваліфікованих кадрів

За результатами проведеного SWOT-аналізу було обрано SO-стратегію, що дасть змогу ефективно розподіляти виробничі потужності та конкурувати з іншими учасниками ринку.

#### 2.4.1 Активна ринкова стратегія розвитку

З урахуванням невеликої кількості конкурентів та середнього рівня їхньої конкурентоспроможності, доцільним є застосування стратегії активного ринкового розвитку. Такий підхід передбачає постійний аналіз ринкової кон'юнктури, динаміки конкурентного середовища та змін у споживчому попиті. Головна мета — ефективно використання ринкових можливостей для формування та зміцнення довгострокової конкурентної переваги.

Провідні ознаки активної ринкової стратегії:

- оперативна адаптація;
- миттєва реакція на коливання ринкових параметрів;
- гнучке перегрупування портфеля продуктів, цінових рішень і каналів збуту;
- безперервний пошук та освоєння передових технологій, нових товарів і бізнес-моделей;
- формування унікальних ринкових пропозицій із випередженням конкурентів;

					Арк.
					69
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- наступальне просування продукції;
- використання сучасних digital-інструментів для залучення й утримання клієнтської бази.

Критичні чинники успішного впровадження:

- глибоке розуміння потреб і мотивацій споживачів;
- точне позиціонування продукту під конкретні запити ринку;
- аналіз трендів, технологічних новинок і кроків конкурентів;
- завчасне виявлення ризиків та вікон можливостей;
- системні інвестиції в r&d;
- випуск на ринок конкурентоспроможних, технологічно досконалих рішень;
- формування сильного бренда через багатоканальну взаємодію;
- підвищення впізнаваності та лояльності цільових сегментів;
- швидке коригування стратегічних акцентів під нові виклики;
- підтримання сталого розвитку навіть у періоди ринкової турбулентності;
- забезпечення фінансування всіх фаз стратегії;
- збалансування ризику й очікуваного доходу інвестиційних рішень.

У підсумку активна ринкова стратегія дозволяє компанії не лише пристосовуватися до змін, а й формувати сам ринок, утверджуючи проактивну позицію. Її реалізація потребує гнучкого менеджменту, далекоглядного бачення, достатніх ресурсів і готовності до швидких трансформацій. За умови грамотної реалізації така стратегія забезпечує динамічне зростання бізнесу й міцне закріплення на обраному ринку.

Таблиця 2.7 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової	Ймовірність отримання	Строки реалізації
1	Маркетинговий аналіз стартап-	Середня	3 місяці

Продовження таблиці 2.7

2	Пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції компанії	Висока	3-6 місяці
3	Організація стартап-проєкту	Середня	3 місяці
4	Проведення рекламної кампанії	Середня	1 місяць
5	Реалізація продукції	Висока	3 місяці
6	Проведення опитування і отримання відгуків	Низька	1 місяць
7	Аналіз отриманих даних	Висока	0,5 місяців
8	Адаптація проєкту під ринок	Висока	1-3 місяці

Для успішного виведення на ринок зварних оголовоків колон — критичних елементів посудин під тиском, що забезпечують герметичне замикання реакторів і колон у нафтопереробній, хімічній, фармацевтичній, харчовій та енергетичній промисловості — необхідний комплексний аналіз ринкового середовища. Вирішальну роль відіграє системне вивчення як внутрішніх, так і зовнішніх чинників, здатних впливати на економічну ефективність ініціативи. SWOT-аналіз дозволяє чітко окреслити наші сильні сторони (наприклад, сертифіковані зварні шви з 100 % контролем), виявити обмеження (зокрема високі стартові інвестиції), визначити можливості зростання (відбудова критичної інфраструктури, державні гранти) і заздалегідь оцінити ризики (коливання попиту, логістичні труднощі).

В динамічних умовах галузі найбільш доречною є активна ринкова стратегія, що передбачає:

- швидке реагування на зміни кон'юнктури;
- неперервне впровадження інновацій у сфері матеріалів і зварювальних технологій;
- гнучке управління асортиментом та ціноутворенням;
- агресивне просування продукції через цифрові й галузеві канали;
- активне залучення інвестицій, R&D-ресурсів і сучасних маркетингових інструментів.

Реалізація цієї стратегії ґрунтується на:

					Арк.
					71
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- глибокому розумінні потреб інжинірингових компаній і кінцевих експлуатантів;
- безперервному моніторингу технологічних трендів і дій конкурентів;
- послідовних інвестиціях у розробки, що підвищують надійність і корозійну стійкість оголовків;
- формуванні багатоканальної комунікації з клієнтами для зміцнення бренда;
- гнучких управлінських рішеннях, які дозволяють швидко переключувати пріоритети залежно від ринкових викликів;
- стабільному фінансуванні всіх етапів розвитку, із балансом між ризиком і очікуваною прибутковістю.

Такий підхід забезпечує:

- зростання конкурентоспроможності наших оголовків колон;
- оптимізацію виробничих і збутових процесів;
- тривке закріплення на глобальному й локальному ринках у короткостроковій та довгостроковій перспективах.

Отже, поєднання інновацій, аналітично обґрунтованого управління й проактивної ринкової тактики створює надійну платформу для успішної комерціалізації зварних оголовків колон і відкриває широкі можливості масштабування виробництва відповідно до зростаючого попиту промисловості.

						Арк.
						72
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

У процесі напівавтоматичного зварювання в середовищі активного газу (MAG-135), застосованого на ділянці виготовлення оголовка колони, виникає комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Зварювальний пост оснащений роликівим стендом, колонно-стріловим маніпулятором та інверторним джерелом живлення; тому вплив цих факторів поширюється як на оператора-наладника, так і на персонал сусідніх робочих місць. До фізичних шкідливих факторів належать електромагнітні поля (ЕМП), шум, вібрація, інфрачервоне випромінювання та оптичне випромінювання зварювальної дуги.

Зварювальна дуга генерує інтенсивне оптичне випромінювання (УФ, видимий та ІЧ діапазони), тепловий потік і бризки розплавленого металу. Інтегральне теплове навантаження не повинно перевищувати  $350 \text{ Вт/м}^2$  на постійному робочому місці (ДСН 3.3.6.042-99)[10]; у зоні зварювання показник може доходити до  $500 \text{ Вт/м}^2$ , отже потрібні світловідбивні екрани й термостійкі костюми. Інвертор і кабельні лінії створюють електромагнітне поле частотою 50 Гц; його напруженість не має перевищувати 1,4 кА/м за восьмигодинної зміни (ДСН 3.3.6.096-2002). Рівень шуму від вентиляторів витяжної системи та привідних мотор-редукторів може сягати від 90 дБ до 95 дБ, що перевищує допустимі 80 дБ (ДСН 3.3.6.037-99) і вимагає використання протишумових навушників. Загальна вібрація, передана від привідного вала роликівого стенда, нормується 84 дБ (ДСН 3.3.6.039-99)[10] і контролюється шляхом балансування роликів та перекриттям амортизувальних прокладок.[26]

При MAG-зварюванні у суміші  $\text{Ar} + 18 \% \text{CO}_2$  формується аерозоль із дрібнодисперсних оксидів заліза й марганцю (гранично допустима концентрація  $6 \text{ мг/м}^3$  та  $0,2 \text{ мг/м}^3$  відповідно), а також оксиди азоту (ГДК  $5 \text{ мг/м}^3$ ) і оксид вуглецю (ГДК  $20 \text{ мг/м}^3$ ). УФ-складова дуги спричиняє утворення озону; його допустима середньозмінна концентрація  $0,1 \text{ мг/м}^3$  може перевищуватися у 15–20 разів у зоні

дуги, що потребує локального витяжного ковпака й загальнообмінної вентиляції. Клас небезпеки озону та оксидів азоту — II, тому безперебійна робота фільтрувально-вентиляційної системи є обов'язковою.

Напруга холостого ходу інверторного джерела сягає від 70 В до 80 В; прямий або непрямий контакт із струмопровідними частинами створює ризик ураження електричним струмом. Для захисту застосовують автоматичні вимикачі, заземлення, використання рукавиць КЩС-типу та щоденний огляд цілісності ізоляції.

Оператор зварювального маніпулятора виконує точне позиціонування горілки та контроль шва через захисний екран, перебуваючи у статичній позі. Це спричиняє локальне м'язове напруження спини й плечового поясу. Відповідно до «Гігієнічної класифікації праці» (Наказ МОЗ № 472-14) параметри важкості й напруженості повинні залишатися в межах II класу; для цього впроваджується чергування операцій, регламентовані перерви та ергономічне розташування пульта керування.

Температура в цеху підтримується на рівні не нижче +18 °С при відносній вологості від 40% до 60 % і швидкості повітря до 0,3 м/с (ДСН 3.3.6.042-99)[10]. Відхилення параметрів призводить до прискореної втоми й погіршення концентрації оператора.

Отже, у процесі MAG-зварювання оголовка колони працівник зазнає дії оптичного випромінювання, зварювальних аерозолів, шуму, вібрації, електромагнітних полів та можливого розбризкування металу. Для їхньої нейтралізації на дільниці впроваджені технічні (екрани, витяжна вентиляція, шумопоглинальні кожухи, системи блокування), організаційні (перерви, чергування операцій, інструктаж) та індивідуальні засоби захисту (автоматичний щиток із фільтром DIN 13, фільтруючий респіратор класу FFP3, вогнестійкий одяг, краги та діелектричне взуття). Комплексне застосування цих заходів забезпечує відповідність умов праці чинним нормативам і знижує виробничі ризики до прийняттого рівня.

						Арк.
						74
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до чинної «Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності» № 0472-14, параметри важкості й напруженості робіт мають залишатися в межах II класу, що відповідає середньому рівню фізичних і психофізіологічних навантажень. Перевищення цих меж призводить до функціональних розладів, швидкої втоми та підвищеного травматизму, тому організація безпечної праці при МАГ-зварюванні оголовка колони базується на раціональному розподілі операцій, регламентованих перервах і ергономічному оснащенні робочого місця.

Для нашого процесу напівавтоматичного МАГ-зварювання основними шкідливими й небезпечними чинниками є: інтенсивне оптичне випромінювання дуги, аерозолі зварювального диму (оксиди заліза, марганцю, азоту та озон), електромагнітні поля від інверторного джерела, підвищений рівень шуму від витяжної та приводної апаратури, розбризкування крапель розплавленого металу й іскор, а також ризик ураження електричним струмом. Для їх нейтралізації необхідна комплексна система технічних, організаційних і індивідуальних заходів захисту, що докладно розглядатиметься у наступному підрозділі.

## **3.2 Вимоги безпеки праці**

### **3.2.1 Вимоги до технологічних процесів**

Напівавтоматичне зварювання в середовищі активного захисного газу (МАГ-135), що застосовується на дільниці виготовлення оголовка колони зі сталі Р355NL2, виконується відповідно до вимог НПАОП 28.52-1.31-13 «Правила охорони праці під час електрозварювальних робіт» та положень ДСТУ 2456-94 «Роботи зварювальні дугові й електрошлакові. Вимоги безпеки». При організації процесу пріоритет надають технологічним рішенням, які мінімізують утворення аерозолу металу, знижують тепловий та електромагнітний вплив на персонал і скорочують частку ручних операцій.[13]

						Арк.
						75
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування роликового станда в комбінації з колонно-стріловим маніпулятором дозволяє винести оператора за межі небезпечної зони: керування струмом, напругою й подачею дроту здійснюється з дистанційного пульта. Це різко зменшує ризик ураження електричним струмом та вплив оптичного випромінювання дуги. Разом із тим обслуговування інверторного джерела, привідної апаратури й системи позиціонування потребує суворого дотримання правил роботи з електроустановками напругою до 1000 В (ДСТУ ІЕС 60364-4-41) та проведення щоденного візуального огляду цілісності ізоляції.

Усі витратні матеріали — зварювальний дріт, газова суміш Ar + 18 % CO<sub>2</sub>, антипригарні спреї — повинні мати чинний гігієнічний висновок і належати не вище до II класу безпеки. Балони із захисним газом зберігають у вентилязованому металевому шкафу не менше ніж за 5 м від поста зварювання та захищають від прямого сонячного випромінювання. Приєднувальні шланги оснащують зворотними клапанами і перевіряють на герметичність перед кожним включенням.

Для вилучення зварювального аерозолі застосовують місцеву витяжну вентиляцію, змонтовану безпосередньо у зоні факела. Мінімальна витрата повітря для MAG-процесу становить не менше 170 м<sup>3</sup>/год на один пальник; воздуховоди обладнують іскрогасниками та змінними фільтрами тонкого очищення. Проведення зварювання за вимкненої або несправної витяжної системи забороняється.

Оптичне й теплове випромінювання дуги екранується світловідбивними щитами; оператор користується автоматичним зварювальним фільтром DIN 13 та вогнестійким костюмом типу Ciz-5/M. Для зниження акустичного навантаження корпус інвертора й приводи станда закриті шумопоглинальними кожухами; при рівні шуму > 80 дБ персонал зобов'язаний застосовувати протишумові навушники.

Усі електричні з'єднання кабелів і шлангів повинні мати ступінь захисту не нижче IP 44, бути легкодоступними для огляду і маркованими за схемою однолінійного приєднання. Працювати дозволяється лише на сухій, нековзкій підлозі; поруч зі зварювальним постом розміщують переносний вуглекислотний

									Арк.
									76
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

вогнегасник ВВК-5, а на дільниці — блок автоматичного відключення живлення при витоку струму > 30 мА.

### 3.2.2 Вимоги до персоналу

Персонал, який обслуговує напівавтоматичні МАГ-установки для зварювання оголовків колон, має бути належним чином кваліфікований, пройти навчання з охорони праці та первинний/повторний інструктаж відповідно до НПАОП 0.00-1.21-98 і вимог ПУЕ-2017[22]. До виконання робіт допускаються лише працівники, які пройшли попередній та періодичний медичний огляд, мають не нижче II групи з електробезпеки й ознайомлені з інструкціями щодо експлуатації зварювального джерела, роликового станда, газового господарства та дій у разі аварійної ситуації.[21]

Оператор зобов'язаний знати межі робочої та небезпечної зон, не перетинати траєкторію руху колонно-стрілового маніпулятора під час роботи та постійно користуватися засобами індивідуального захисту за ДСТУ 7239:2011[15]. До мінімального комплекту ЗІЗ входять:

- автоматичний зварювальний щиток зі світлофільтром DIN 13 (ДСТУ EN 169:2001)[16];
- вогнетривкі рукавиці (ДСТУ EN 420:2017)[17];
- захисна каска з лицьовим екраном (ДСТУ EN 397:2001)[18];
- діелектричні черевики або гумовий килимок для ізоляції від землі.

Робота заборонена без повторного інструктажу, у стані втоми чи погіршеного самопочуття, а також при виявленні будь-яких несправностей у джерелі живлення, системі подачі газу чи роликовому приводі. Оператор повинен уміти негайно зупинити установку кнопкою «Emergency Stop», сповістити відповідальну особу та надати домедичну допомогу в разі ураження електричним струмом чи опіків розплавленим металом.[18]

						Арк.
						77
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2.3 Вимоги до виробничих приміщень

Приміщення дільниці, де здійснюється напівавтоматичне зварювання оголовків колон у середовищі активного газу (MAG-135) на роликівих стендах, повинні відповідати діючим будівельним і санітарним нормам: ДБН В.2.2-28:2010[27], ДБН В.2.5-67:2013[23], ДСН 3.3.6.042-99[10], ДСН 3.3.6.037-99 та вимогам ДСТУ 2456-94 до безпеки дугових зварювальних робіт. Конструкція і планування приміщення мають забезпечувати безпечне виконання технологічного процесу, що супроводжується виділенням зварювального аерозолу, тепла, ультрафіолетового та електромагнітного випромінювань, а також шумом приводного обладнання.[13]

У приміщенні необхідно передбачити вільне розміщення роликівого стенда, колонно-стрілового маніпулятора, джерела живлення, шафи з газовими балонами та пульта керування. Проходи між обладнанням і огорожувальними конструкціями мають бути не менше 1 м, а при розташуванні двох зварювальних постів один навпроти одного — не менше 3 м. Висота виробничої зали повинна забезпечувати вільне переміщення маніпулятора, виключати відбивання оптичного випромінювання та створювати достатню зону для руху теплого повітря вгору, сприяючи ефективному повітрообміну.

Стіни, стеля та підлога виконуються з негорючих матеріалів низької теплопровідності. Підлога — рівна, несковзка, антистатична; у робочих зонах укладаються діелектричні настили. Робочі місця відділяють світлонепроникними екранами висотою не менше 2,5 м, виготовленими з вогнестійких матеріалів, що поглинають ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання.

Цех обладнують припливно-витяжною системою, що забезпечує щонайменше п'ятикратний обмін повітря за годину. Безпосередньо над зоною дуги змонтовано місцевий відсмоктувач, інтегрований у голівку пальника; він повинен видаляти не менше 170 м<sup>3</sup>/год на кожний зварювальний пост. Відпрацьоване повітря очищають у багатоступеневій фільтраційній установці до нормативних

						Арк.
						78
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гранично-допустимих викидів. У холодний період температура припливного повітря підтримується не нижче +20 °С і подається у зону дихання з вертикальною складовою вниз, щоби не задувати зварювальну дугу.

Параметри мікроклімату мають відповідати санітарним нормам: температура від 18 °С до 22 °С, відносна вологість від 40% до 60 %, швидкість руху повітря не більше 0,3 м/с. Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 80 дБ; у разі перевищення монтують шумопоглинальні кожухи на інвертор та приводні двигуни станда, а персонал забезпечують протишумовими навушниками.

Загальне штучне освітлення виконують світлодіодними світильниками з дифузним екраном, забезпечуючи мінімум 300 лк у зоні підготовки деталей та 200 лк у зоні керування. При роботах усередині замкнених порожнин використовують переносні світильники напругою не вище 12 В з освітленістю не менше 30 лк.

### 3.2.4 Організація робочого місця

Робоче місце оператора, який керує напівавтоматичною MAG-установкою на дільниці виготовлення оголовок колон, облаштовують відповідно до НПАОП 28.5-1.02-07[20], ДСТУ 2456-94[13] та ДБН В.2.5-67:2013[23]. Основне завдання організації такого поста полягає в тому, щоб забезпечити одночасно безпеку, ергономічність і виробничу ефективність, максимально знижуючи дію зварювального аерозолю, оптичного та електромагнітного випромінювання, шуму і потенційних механічних травм. У зоні постійного перебування працівника підлога покривається діелектричним настилом завширшки не менше сімдесяти сантиметрів; поверхня має бути рівною, антистатичною і такою, що не ковзає. Пульт керування джерелом живлення, приводом роликowego станда та газовою арматурою розміщують поза траєкторією руху колонно-стрілового маніпулятора, на безпечній відстані не менше одного метра від його крайньої точки, водночас

						Арк.
						79
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кнопка аварійної зупинки повинна залишатися доступною з будь-якої робочої пози.[20]

Планування ділянки виключає перехрещення транспортних шляхів із зоною дії маніпулятора; між стаціонарним устаткуванням витримують проходи не менше одного метра, тоді як у місцях можливого переміщення рухомих вузлів передбачають щонайменше півтораметрові коридори. Загальне освітлення забезпечують світлодіодними світильниками, що дають не менше трьохсот люкс у зонах підготовки деталей і близько двохсот люкс біля пульта; якщо роботу виконують усередині замкненої порожнини, застосовують переносні лампи напругою до дванадцяти вольт із освітленістю не менш як тридцять люкс. У безпосередній досяжності – не далі десяти метрів від поста – встановлюють вуглекислотний або порошковий вогнегасник, аптечку та наочний план евакуації; кабельні траси і шланги подачі газу прокладають у захисних лотках або під підлогою, маркують і жорстко фіксують, щоб запобігти їх пошкодженню.

Електрична безпека гарантується наявністю автоматів захисного відключення з порогом струму витoku тридцять міліампер, двоконтурним заземленням та щоденним оглядом ізоляції. Робота дозволяється тільки після проходження працівником медичного огляду, первинного й повторного інструктажів, а також підтвердження не нижче другої групи з електробезпеки. Працівник повинен уміти швидко знеструмити установку, повідомити відповідальну особу й надати домедичну допомогу у випадку електротравми чи опіку. Правильне дотримання цих вимог забезпечує безпечне, зручне та безперервне виконання операцій при зварюванні оголовків колон.

### 3.2.5 Вентиляція

У зоні напівавтоматичного МАГ-зварювання оголовка колони у повітря робочого простору виділяються аерозоль заліза й марганцю, озон, а також оксиди азоту та вуглецю. Щоб підтримати концентрації цих речовин на рівні, який не

						Арк.
						80
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищує гранично допустимих, дільниця оснащується поєднаною системою вентиляції: місцевим відсмоктувачем безпосередньо біля пальника та загальнообмінною припливно-витяжною установкою. Вимоги до такої системи задають ДБН В.2.5-67:2013[23], ДСН 3.3.6.042-99[10] та ДСТУ 2456-94[13].

Місцева витяжна вентиляція повинна відводити шкідливі речовини безпосередньо від джерела їх утворення – зони зварювальної дуги. У роботизованих системах доцільно використовувати інтегровані витяжні головки, всмоктувальні канали, плазмові укриття з витяжними соплами. Мінімальна швидкість всмоктування повітря в зоні дії повинна становити не менше 0,5 м/с (при ручному зварюванні) або від 1,0 м/с до 1,4 м/с – при плазмовому або механізованому зварюванні.

Розрахунок об'єму повітря, який необхідно видалити місцевою вентиляцією  $L_m$ , виконується відповідно до методики, виходячи з умов забезпечення необхідної швидкості повітря в зоні всмоктування. Загальна формула має вигляд:

$$L_m = 3600 \times F_o \times V_o$$

де  $F_o$  – площа відкритого перерізу витяжного отвору, м<sup>2</sup>,

$V_o$  – швидкість всмоктування повітря в прорізі, м/с.

Площа  $F_o$  залежить від конструктивних особливостей витяжного пристрою (наприклад, отвір діаметром 0,15 м  $\Rightarrow F_o \approx 0,0177$  м<sup>2</sup>). Значення  $V_o$  визначається за допустимими швидкостями повітря, встановленими для конкретного типу зварювання.

Для МАG-процесу в суміші Ar + 18 % CO<sub>2</sub> рекомендована швидкість становить:

$$V_o = \text{від } 0,15 \text{ м/с до } 0,3 \text{ м/с}$$

Приклад розрахунку:

Нехай маємо витяжний отвір прямокутної форми шириною  $b = 0,12$  м і відстанню від джерела шкідливих речовин  $X = 0,25$  м. Згідно з формулою:

						Арк.
						81
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_0 = 6 \times V_x \times X / b$$

де  $V_x$  – необхідна швидкість у зоні зварювання (0,30 м/с);

$X$  – відстань від зони до отвору – 0,25 м;

$b$  – ширина прорізу – 0,12 м.

Підставляючи значення:

$$V_0 = 6 \times 0,25 \times 0,3 / 0,12 = 3,75 \text{ м/с}$$

Площа:

$$F_0 = 0,12 \text{ м} \times 0,20 \text{ м} = 0,024 \text{ м}^2$$

Тоді об'єм повітря:

$$L_m = 3600 \times 0,024 \times 3,75 = 324 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, щоб ефективно уловлювати не менше 90 % зварювального аерозолі під час МАГ-зварювання оголовка колони, потрібно забезпечити відсмоктування приблизно 320–330 м<sup>3</sup>/год на кожен зварювальний пост.

Решта від 10 % до 15 % забруднень, що не вловлюються локально, мають усуватися припливно-витяжною системою із п'ятикратним повітрообміном за годину. Температура притоку у холодну пору року підтримується не нижче +20 °С, подача повітря спрямовується у верхню зону приміщення, а видалення — через стелю над постами зварювання. Перед викидом у атмосферу повітря очищують до нормативних ГДВ у каскадній фільтроустановці.

						Арк.
						82
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Електробезпека

#### 3.3.1 Загальні вимоги електробезпеки

Під час виконання зварювальних робіт, особливо з використанням роботизованих систем, важливо забезпечити надійний захист персоналу від ураження електричним струмом. Основними небезпеками є: доторкання до відкритих струмопровідних частин, поява напруги на металевих неструмопровідних елементах унаслідок пошкодження ізоляції, ураження електричною дугою або кроковою напругою. У зв'язку з цим приміщення зварювального виробництва належать до категорії особливо небезпечних за умовами ураження струмом.

Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 та ПУЕ-2017[22], усі металеві частини зварювального обладнання, які можуть опинитися під напругою, повинні бути надійно заземлені. Не дозволяється використання будівельних конструкцій, трубопроводів, опалювальних систем як елементів заземлення. Для кожного зварювального апарата слід передбачити окремий заземлювальний провід, з'єднаний з головною магістраллю.

Для захисту працівників у робочому режимі повинні використовуватись:

- ізоляція струмопровідних частин (робоча, подвійна або посилена);
- оболонки, що перешкоджають випадковому контакту;
- екрани від оптичного, електромагнітного та теплового випромінювання;
- захисне занулення або заземлення;
- засоби контролю ізоляції з аварійним відключенням при її пошкодженні;
- використання безпечної напруги (до 42 В змінного струму або 110 В постійного) у ручному електроінструменті.

В роботі роботизованого зварювального комплексу важливо також забезпечити електробезпеку в системах автоматизованого керування, зокрема – у пультах, приводах, датчиках, електромагнітах. Всі електричні кола керування повинні бути екрановані та захищені від перенавантаження. Застосування

						Арк.
						83
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристроїв аварійного відключення (кнопок «стоп») є обов'язковим. Їх слід розміщувати не далі ніж за 10 м один від одного у великих автоматизованих зонах.

У разі використання джерел живлення з високою напругою холостого ходу (понад 113 В для постійного струму), вони мають бути оснащені пристроями зниження напруги, що автоматично зменшують її до безпечного рівня ( $\leq 42$  В) протягом від 0,3 до 2 секунд після припинення зварювання .

Додатково, персонал повинен бути інструктований щодо небезпеки ураження струмом, навчений методам надання першої допомоги та допущений до роботи лише після медичного огляду та перевірки знань з електробезпеки. Усі роботи мають проводитися лише за наявності справного обладнання, що перевіряється на початку кожної зміни.

### **3.3.2 Класи електротехнічних виробів та вимоги до експлуатації зварювального обладнання**

Електротехнічні вироби, що використовуються у зварювальному виробництві, класифікуються за ступенем захисту людини від ураження електричним струмом згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98. Залежно від конструктивного виконання і наявності захисних елементів вони поділяються на п'ять класів: 0, 0І, І, ІІ та ІІІ.

Клас 0 – вироби мають тільки робочу ізоляцію без будь-яких додаткових захисних заходів. Елементів для заземлення немає. У разі пошкодження ізоляції корпус опиняється під напругою. Використання таких виробів у виробничих умовах заборонено.

Клас 0І – передбачає наявність робочої ізоляції і заземлювального елемента, проте кабель живлення не має заземлювальної жили. Вироби цього класу застосовуються лише в умовах контрольованого середовища.

Клас І – мають робочу ізоляцію, елемент заземлення, а також кабель живлення із заземлювальною жилою і вилкою із заземлювальним контактом. Це

						Арк.
						84
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найпоширеніший тип обладнання для зварювальних установок. У разі пошкодження ізоляції напруга перетікає на корпус і спрацьовує автоматичний захист.

Клас II – включає вироби з подвійною або посиленою ізоляцією, без заземлювального елемента. Такі пристрої вважаються електробезпечними конструктивно, і їх можна застосовувати в умовах підвищеної небезпеки.

Клас III – це вироби, в яких усі внутрішні та зовнішні кола працюють на напрузі не вище 42 В змінного струму або 110 В постійного струму. Вони застосовуються в особливо небезпечних умовах – замкнені простори, висота, підвищена вологість.

Зварювальні установки, застосовані на ділянці МАГ-зварювання оголовків колон, допускаються до роботи лише за умови повної відповідності вимогам ДСТУ 2456-94[13], що регламентує безпеку дугових процесів. Підключення, технічне обслуговування й ремонт інверторних джерел, роликів стелів і керувальних шаф виконує електротехнічний персонал із групою допуску не нижче III; живильні лінії приєднують до мережі напругою не вище 600 В, пряме живлення дуги від силової або освітлювальної мережі категорично заборонене. Корпуси інверторів, трансформаторів і металеві частини стенда заземлюють окремими провідниками; послідовне під'єднання кількох апаратів в один заземлювальний контур не допускається. Кожен зварювальний кабель повинен мати суцільну ізоляцію, бути захищеним від перегину й стиску, а з'єднання кабелів виконують лише муфтами або гвинтовими затискачами заводського виготовлення.

На посту встановлюють вольтметр або сигнальну лампу, що відразу повідомляє про появу напруги. Якщо напруга холостого ходу джерела перевищує 113 В для постійного струму, апарат оснащують автоматичним пристроєм її зниження. Перед початком зміни бригадир проводить технічний огляд: перевіряє цілісність ізоляції, справність блокувань і кнопок «Стоп», наявність і ефективність заземлення, правильність підключення газових рукавів і водяного охолодження. Робота на обладнанні з механічними пошкодженнями кабелю, роз'єднаними

						Арк.
						85
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колодками чи несправними вентиляторними каналами забороняється; залишати увімкнений інвертор без нагляду також не дозволено.

Усі операції зі зварювальним комплексом виконують працівники, які пройшли спеціальне навчання, перевірку знань із охорони праці та електробезпеки, ознайомлені з паспортами установок і технологічними інструкціями. Такий порядок експлуатації гарантує надійну роботу МАГ-обладнання та зводить електротравмонебезпечні фактори до мінімуму.

### **3.3.3 Вимоги до експлуатації зварювального обладнання**

Експлуатацію напівавтоматичних МАГ-установок, що застосовуються під час зварювання оголовків колон, здійснюють відповідно до вимог ДСТУ 2456-94 (дугові процеси) [13]. Усе устаткування повинно бути технічно справним, забезпечуватися паспортом, інструкцією з експлуатації та протоколом перевірки електробезпеки.

Підключення, регламентне обслуговування та ремонт інверторних джерел струму, роликів стелів і керувальних шаф виконують лише електротехнічні працівники з групою допуску не нижче III. До роботи не допускають апарати без захисного заземлення чи з пошкодженою ізоляцією. Усі струмопровідні частини мають бути надійно ізольовані; зварювальні кабелі з'єднують муфтами або клемами заводського виконання, що виключають перегрів і втрати струму.

Корпуси інверторів, трансформаторів, пультів і привідних двигунів станда заземлюють окремими провідниками, під'єднаними до головної заземлювальної шини; послідовне підключення кількох апаратів в один контур заборонено. Вторинні обмотки трансформаторів, педалі керування й металеві частини розподільних шаф також приєднують до захисного контуру.

Джерела зварювального струму оснащують вольтметром або сигнальною лампою, що індикуює наявність напруги. Якщо напруга холостого ходу перевищує 113 В постійного струму (для умов підвищеної небезпеки), апарати комплектують

						Арк.
						86
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блоками автоматичного зниження, які протягом 2 сек. після розриву дуги знижують напругу до безпечних 42 В.

Перед початком кожної зміни майстер здійснює візуальний і функціональний огляд: перевіряє цілісність кабелів, стан ізоляції, справність систем керування, аварійних вимикачів, вентиляції й заземлення. Будь-які виявлені дефекти усувають до запуску технологічної операції.

Робота заборонена, якщо вентиляція, світловідбивні екрани або захисні кожухи відсутні чи несправні, а також у разі пошкодження комутаційних елементів. Усі операції виконують суворо згідно з паспортом виробника обладнання та діючими інструкціями з охорони праці.

### **3.4 Захист від теплового випромінювання**

Під час напівавтоматичного МАГ-зварювання оголовка колони зварювальна дуга, розігріта металоконструкція та зона термічного впливу випромінюють значну кількість енергії в інфрачервоному, видимому й ультрафіолетовому діапазонах. За умови тривалого перебування без належного захисту таке теплове навантаження може спричинити місцеві опіки шкіри, перегрів організму, порушення терморегуляції й розвиток теплового удару, особливо в замкненому просторі або за недостатньої вентиляції. Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [10] інтегральна інтенсивність оптичного випромінювання на постійному робочому місці не повинна перевищувати 350 Вт/м<sup>2</sup>; граничні значення для окремих спектральних зон наведено у табл. 3.1.

						Арк.
						87
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Допустима інтенсивність теплового випромінювання в оптичному діапазоні

Зона спектра	Довжина хвилі, мкм	Допустима інтенсивність, Вт/м <sup>2</sup>
Ультрафіолетова	0,22 – 0,28	0,001
	0,28 – 0,32	0,05
	0,32 – 0,4	10
Інфрачервона	0,76 – 1,4	100
	1,4 – 3	120
	3 – 5	150
	> 5	120

Таблиця 3.2 – Інтенсивність теплового випромінювання залежно від часу впливу

Інтенсивність, Вт/м <sup>2</sup>	700	1050	1400	1750	2100	2450	2800
Макс. тривалість, хв	20	15	12	9	7	5	2,5

У разі перевищення допустимих рівнів теплового випромінювання необхідно застосовувати засоби екранування, вентиляцію, теплозахисні костюми, обмеження часу безперервної роботи, а також використовувати регламентовані перерви згідно з таблицею 3.2.

### 3.5 Захист від теплового випромінювання

У роботизованих зварювальних комплексах джерелом електромагнітного випромінювання є зварювальні апарати (інвертори), джерела живлення, електродвигуни приводів, а також системи автоматичного керування, що працюють на змінному струмі частотою 50 Гц.

Згідно з ДСН 3.3.6.096-2002[26], у виробничих умовах встановлено гранично допустимі рівні (ГДР) напруженості електричного та магнітного полів (див. табл. 3.3):

							Арк.
							88
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 3.3 – ГДР напруженості електричного та магнітного полів

Параметр	ГДР при 8-годинному робочому дні
Напруженість електричного поля	$\leq 5$ кВ/м
Напруженість магнітного поля	$\leq 1,4$ кА/м

У зонах обслуговування зварювальних робіт працівник не повинен перебувати ближче ніж на 0,5 м від джерел випромінювання (кабелі живлення, інвертори). При роботі з високими струмами або у слабо екранованих зонах ці відстані можуть бути збільшені.

Для зниження впливу електромагнітних полів застосовуються такі технічні та організаційні засоби:

- екранування джерел випромінювання (металеві кожухи, фільтри, щити);
- застосування трьох жильних екранованих кабелів з правильним заземленням;
- оптимальне прокладання кабелів живлення – мінімальна довжина, віддалення від робочого місця;
- розміщення операторів за межами зони впливу ЕМП (у кабінах, за захисними перегородками);
- зменшення часу перебування працівника у зоні дії ЕМП (організаційний захист);
- періодичне вимірювання рівнів ЕМП спеціальними приладами (наприклад, ПЗ-30 або НВЧ-05).

Додатково рекомендується використання індивідуального моніторингу для операторів, які тривалий час працюють поблизу потужних інверторів або високочастотних пристроїв, з веденням журналу оцінки впливу ЕМП.

Таким чином, дотримання санітарно-гігієнічних норм, належна організація робочого простору, регулярний контроль та технічна профілактика дозволяють ефективно захистити персонал від шкідливої дії електромагнітного випромінювання.

						Арк.
						89
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.6 Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 [40], приміщення, в яких виконуються зварювальні роботи, за вибухо-пожежною небезпекою належать до категорії Г, якщо мають негорючі речовини і матеріали в гарячому або розплавленому стані, а також джерела відкритого полум'я або тепла. При наявності горючих газів або пилу – до категорії В. Відповідно до ДБН В.1.1-7:2016 і ДСТУ 4479:2005[25], категорія встановлюється на підставі об'ємів зберігання горючих речовин, їхньої фізико-хімічної природи та способу використання.

Робоча зона роботизованої зварювальної установки підпадає під клас П-Ша (зварювання з використанням електричної дуги з негорючими електродами та обмеженим розбризкуванням металу). Якщо використовується флюс або горючі гази – можливий перехід до класу П-Пб. Основні пожежонебезпечні фактори – це розжарені частки металу, іскри, перегрів елементів, електричне замикання, залишки аерозолів і пилу.[25]

Згідно з таблицею 3.4, клас пожежі Е (пов'язаний із аваріями електроустановок) потребує специфічних вогнегасних засобів: вуглекислотні (CO<sub>2</sub>), порошкові, холодні розчини (водяні з добавками). Застосування води у чистому вигляді – заборонено.

Таблиця 3.4 – Клас пожеж, пов'язаних із аваріями електроустановок

Клас	Тип середовища	Вогнегасний засіб
Е	Електроустановки (високовольтні)	CO <sub>2</sub> , порошок, хладони, водяні розчини з добавками

Для забезпечення пожежної безпеки у зварювальних приміщеннях впроваджуються такі заходи:

					Арк.
					90
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- наявність системи автоматичного захисту джерел струму (УЗО, ПЗВ, реле);
- встановлення вогнегасників (ВВК, ВП-5, ОУ-5) на кожному посту;
- ізоляція струмопровідних частин та герметизація контактів в умовах підвищеної вологості;
- відведення аерозолів за допомогою вентиляції та фільтрації;
- наявність плану евакуації та навчання працівників діям при пожежі;
- щорічна перевірка засобів пожежогасіння, маркування та наявність сертифікатів.

Оператори роботизованих установок зварювання мають проходити пожежно-технічний мінімум та бути ознайомленими з місцями розміщення засобів пожежогасіння. Забороняється зберігати поблизу зони зварювання легкозаймісті матеріали, флюси, очищувальні речовини без відповідних ємностей.

У випадку аварії або загрози загоряння передбачене аварійне відключення обладнання, від'єднання від мережі живлення та використання первинних засобів пожежогасіння згідно з категорією Е.

						Арк.
						91
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки з охорони праці

У підсумку проведеного аналізу встановлено, що під час напівавтоматичного MAG-зварювання оголовків колон оператор зазнає дії цілої сукупності шкідливих і небезпечних чинників. Хімічну небезпеку створюють аерозолі металу та оксиди марганцю, заліза, азоту, озон і оксид вуглецю, які утворюються у високотемпературній дузі; крім того, інертний захисний газ, потрапляючи в робочу зону, може витіснити кисень. До фізичних ризиків належать інтенсивне оптичне та теплове випромінювання, шум, локальна вібрація, можливість електротравми, а також статичні та психоемоційні перенавантаження, що супроводжують тривале спостереження за процесом.

Для зниження хімічного навантаження першочерговим є обладнання постів ефективною приточно-витяжною та місцевою витяжною вентиляцією, здатною своєчасно видаляти зону газового факела й подавати очищене повітря. Обмеження дії фізичних факторів досягається впровадженням ергономічної організації робочого місця, режимів регламентованих перерв, автоматизованих блокувань, що запобігають увімкненню устаткування за небезпечних умов, а також застосуванням сертифікованих засобів індивідуального захисту та систем колективної безпеки. Комплекс цих заходів забезпечує допустимі параметри виробничого середовища і суттєво знижує ризики для здоров'я та життя персоналу на ділянці зварювання оголовків колон.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи були розроблені й обґрунтовані всі ключові етапи технології виготовлення оголовку колони: від вибору матеріалу та аналізу її зварюваності до проектування спеціалізованих засобів технологічного спорядження і компонування зварювальної установки. Проведено глибокий аналіз схильності матеріалу до гарячих і холодних тріщин із застосуванням вуглецевого еквівалента  $PW$  та показника  $P_{cm}$ , підібрано оптимальні режими тепловкладення та контролю водню, що забезпечують відсутність дефектів у наплавленому металі. Розроблені конструкції оснастки враховують всі геометричні параметри виробу і гарантують точність співвісності, круглість та повторюваність допусків. Обґрунтовано вибір плазмового різання для підготовки крайок, автоматичного зварювання під флюсом і в захисному газі, а також пересувної візкової системи з колонно-стрілецьким маніпулятором для рівномірного проплавлення по всьому периметру. Запропоновані методи підтвердили надійність технології. Комплексний підхід до організації виробничого процесу, оптимізація матеріальних і трудових ресурсів, введення уніфікованих параметрів і стандартів дозволяють забезпечити високу якість, економічну ефективність та безпеку виготовлення оголовків колон в умовах серійного виробництва.

						Арк.
						93
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ EN ISO 4063:2022. Зварювання та споріднені процеси. Перелік й умовні позначки процесів. – Чинний від 2023-12-31. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 22 с.
2. ДСТУ EN ISO 2553:2022. Зварювання та суміжні процеси. Символічне зображення на кресленнях. Зварні з'єднання (EN ISO 2553:2019, IDT; ISO 2553:2019, IDT). – Чинний від 2023-12-31. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 55 с.
3. Марочник сталі та сплавів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.splav-kharkov.com/z\\_mat\\_start.php?zname\\_id=3367](https://www.splav-kharkov.com/z_mat_start.php?zname_id=3367) (дата звернення: 06.12.2024). – Назва з екрана.
4. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. – На заміну ГОСТ 1050-88 ; чинний від 2016-04-01. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 22 с.
5. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів. Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 "Прикладна механіка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. А. Сливінський. – Електронні текстові дані (1 файл: 8.58 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 51 с.
6. Лисак В. В. Інститут післядипломної освіти КПІ ім. Ігоря Сікорського. Платформа дистанційного навчання «Сікорський». Дистанційний курс «кладально-зварювальне оснащення» [Електронний ресурс] / Володимир Валерійович Лисак // Інститут післядипломної освіти КПІ ім. Ігоря Сікорського. Платформа дистанційного навчання "Сікорський". – Режим доступу: <https://do.ip.o.kpi.ua/course/view.php?id=46> (дата звернення: 26.11.2024). – Назва з екрана.

						Арк.
						94
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» магістерської роботи / уклад. кафедра охорони праці. – К., 2023. – 30 с.

9. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності умов праці: Наказ МОЗ України № 248 від 08.04.2014.

10. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – К.: МОЗ України, 1999. – 25 с.

11. Гігієнічні вимоги до шуму на робочому місці: ДСН 3.3.6.037-99. – К.: МОЗ України, 1999. – 16 с.

12. Норми виробничої вібрації: ДСН 3.3.6.039-99. – К.: МОЗ України, 1999.

13. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове та електрошлакове. Вимоги безпеки. – К.: Держстандарт України, 1994. – 12 с.

14. ДСТУ 2489-94. Зварювання контактне. Вимоги безпеки. – К.: Держстандарт України, 1994. – 16 с.

15. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту працівників. Загальні вимоги. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 10 с.

16. ДСТУ EN 169:2001. Засоби захисту очей при зварюванні. Технічні вимоги. – К.: Держстандарт України, 2001.

17. ДСТУ EN 420:2017. Рукавиці захисні. Загальні вимоги та методи випробування. – К.: Мінекономрозвитку України, 2017.

18. ДСТУ EN 397:2001. Промислові захисні каски. – К.: Держстандарт України, 2001.

19. НПАОП 28.5-1.31-13. Правила охорони праці під час електрогазозварювальних робіт. – К.: Мінсоцполітики України, 2013.

20. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила безпечної експлуатації зварювального обладнання. – К.: Мінсоцполітики України, 2007.

21. НПАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К.: Мінпраці України, 1998.

						Арк.
						95
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2017). – Х.: ФОРУМ, 2017. – 416 с.
23. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіон України, 2013.
24. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015.
25. ДСТУ 4479:2005. Пожежна безпека. Загальні вимоги. – К.: Держспоживстандарт України, 2005.
26. ДСН 3.3.6.096-2002. Гігієнічна оцінка електромагнітних полів частотою 50 Гц. – К.: МОЗ України, 2002.
27. ДБН В.2.2-28:2010. Будівлі і споруди. Промислові будівлі. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
28. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Мінрегіон України, 2016.
29. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінбуд України, 2006.
30. ISO 15011-4:2020. Welding fumes – Part 4: Equipment and procedures for measurement of particulate fume emission rate. – Geneva: ISO, 2020.
31. Методика проектування вентиляції для зварювального виробництва / уклад. кафедра охорони праці. – К., 2023.
32. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила безпеки систем управління технологічними процесами. – К.: Мінпраці України, 2010.
33. ДСТУ EN 60974-1:2016. Зварювання дугове. Частина 1. Джерела живлення. – К.: Мінекономрозвитку України, 2016.
34. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги в електричних мережах загального призначення. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014.
35. ДСТУ EN ISO 7010:2015. Графічні символи. Кольори безпеки та знаки безпеки. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015.

36. ISO 3864-1:2011. Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 1: Design principles for safety signs and safety markings. – Geneva: ISO, 2011.

37. IEC 61140:2016. Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment. – Geneva: IEC, 2016.

38. ISO 11611:2015. Protective clothing for use in welding and allied processes. – Geneva: ISO, 2015.

39. ISO 11612:2015. Protective clothing – Clothing to protect against heat and flame. – Geneva: ISO, 2015.

40. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорій приміщень і будівель за вибухопожежною та пожежною безпекою. – К.: МНС України, 2007.

						Арк.
						97
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТКИ

Інвентарний номер	Зона	Лист	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса																															
				<u>Документація</u>																																	
A1			ZB11.04.01.000 СК	Оголовок колони																																	
				<u>Складальні одиниці</u>																																	
		1		Фланець	1																																
		2		Обичайка	1																																
		3		Обичайка	1																																
		4		Днище	1																																
		5		Патрубок	1																																
		6		Фланець	1																																
		7		Патрубок	1																																
		8		Патрубок	1																																
		9		Фланець	1																																
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 40%;"> <tr> <td>Зм.</td> <td>Арк.</td> <td>№ докум.</td> <td>Підп.</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td>Розроб.</td> <td></td> <td>Курочко І. В.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Перев.</td> <td></td> <td>Лисак В. В.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Нконтр.</td> <td></td> <td>Лисак В. В.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Затв.</td> <td></td> <td>Ковальчук В. В.</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <div style="text-align: center; flex-grow: 1;"> <h3 style="margin: 0;">ZB11.04.01.000 СП</h3> <h2 style="margin: 0;">Оголовок колони</h2> </div> <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 30%;"> <tr> <td>Лит.</td> <td>Аркш.</td> <td>Аркшів</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </table> </div> <p style="margin-top: 10px; font-size: small;">КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е. О. Патона</p>							Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розроб.		Курочко І. В.			Перев.		Лисак В. В.			Нконтр.		Лисак В. В.			Затв.		Ковальчук В. В.			Лит.	Аркш.	Аркшів			1
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата																																	
Розроб.		Курочко І. В.																																			
Перев.		Лисак В. В.																																			
Нконтр.		Лисак В. В.																																			
Затв.		Ковальчук В. В.																																			
Лит.	Аркш.	Аркшів																																			
		1																																			

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Змін.

Арк.

98

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса
				<i>Документація</i>		
A1			<i>ЗВ11.04.03.000 СК</i>	<i>Креслення пристрою для зварювання оголовоків колони</i>		
				<i>Складальні одиниці</i>		
		1		<i>Обичайка</i>	1	
		2		<i>Висувна консоль</i>	1	
		3		<i>Роликовий стенд</i>	1	
		4		<i>Глагольний візок</i>	1	
		5		<i>Джерело живлення</i>	1	
		6		<i>Газовий балон</i>	1	
		7		<i>Зварювальна колона</i>	1	

					<i>ЗВ11.04.03.000 СП</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Кучарчук І. В.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Аркциш</i>	<i>Аркцишів</i>
<i>Перев.</i>		<i>Лисак В. В.</i>					1
<i>Н.контр.</i>		<i>Лисак В. В.</i>			<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е. О. Патона</i>		
<i>Затв.</i>		<i>Квасницький В. В.</i>					
					<i>Креслення пристрою для зварювання оголовку колони</i>		

<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

Змін.

Арк.

99

Формат	Зона	Лоз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса
				Документація		
A1			ZB11.04.04.000 СК	Установка для складання під зварювання оголовку колони		
				Складальні одиниці		
		1		Роликоопора		
		2		Обичайка		
		3		Прижимна консоль стенду		
		4		Силова частина стенду		

				<b>ZB11.04.04.000 СП</b>			
Зм. Арк.	№ док.им.	Підп.	Дата	Установка для складання та зварювання оголовку колони	Лит.	Аркцил	Аркцилв
Разроб.	Кухарчук І. В.						1
Перед.	Лисак В. В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Е. О. Патона		
Н.контр.	Лисак В. В.						
Затв.	Квасницький В. В.						

					Змін.	Арк.
Змін.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Дата		100

Формат	Зона	Лоз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса
				<u>Документація</u>		
A1			<i>ZB11.04.05.000 СК</i>	<i>Установка для зварювання оголовку колони</i>		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		<i>Оголовок колони</i>	1	
		2		<i>Висувна консоль</i>	1	
		3		<i>Роликовий стенд</i>	1	
		4		<i>Роликоопора</i>	1	
		5		<i>Глагольний візок</i>	1	
		6		<i>Блок керування пальником</i>	1	
		7		<i>Блок живлення роликового стенду</i>	1	
		8		<i>Газовий балон</i>	1	
		9		<i>Зварювальна колона</i>	1	

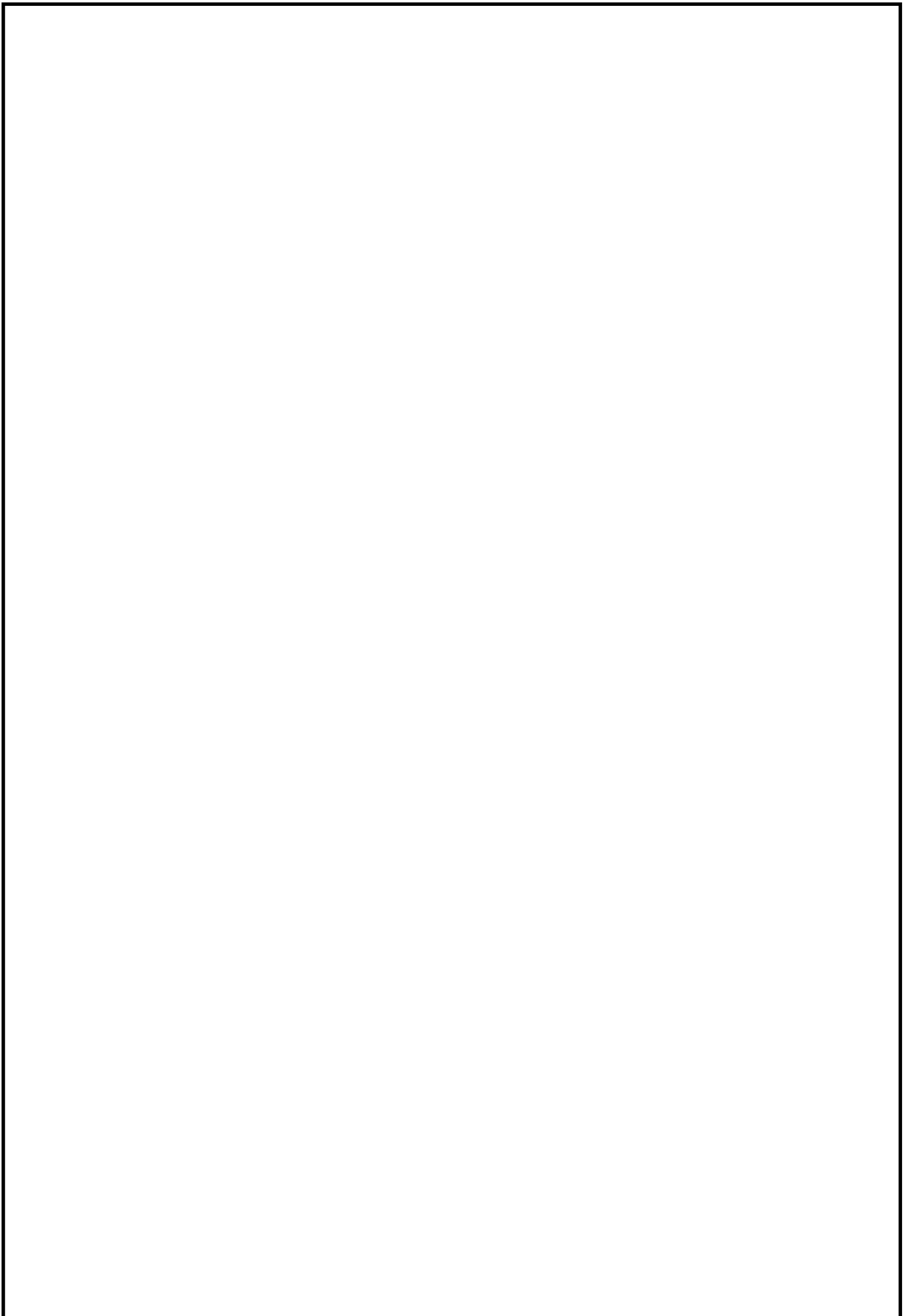
					<i>ZB11.04.05.000 СП</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разроб.</i>		<i>Кухарчук І. В.</i>			<i>Установка для зварювання оголовку колони</i>		
<i>Перев.</i>		<i>Лисак В. В.</i>					
<i>Н.контр.</i>		<i>Лисак В. В.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Аркциш</i>	<i>АркцишВ</i>
<i>Затв.</i>		<i>Квашницький В. В.</i>					1
					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Є. О. Патона</i>		

<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>

Підп.

Арк.

101



						Арк.
						102
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		