

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Іванова Антона Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.

Електропривод положення різального органу машини киснево - плазменного
різу металу в цеху металоконструкцій Ливарно-механічного заводу

ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”

(повна назва теми)

за матеріалами з цеху металоконструкцій Ливарно-механічного заводу

ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

доцент, к.т.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Пироженко А.В.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 15.01. 2026 р. № 6

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступінь, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

Кривий Ріг – 2026

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр _____

Спеціальність _____ 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка» _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Іванову Антону Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод положення різального органу машини киснево - плазменного різку металу в цеху металоконструкцій Ливарно-механічного заводу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник випускної роботи Пироженко Андрій Володимирович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» жовтня 2025 року № 726-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 12.01.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: Об'єкт автоматизації – машина термічного різання ПКПЛЦ-3,5-6 у цеху металоконструкцій ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; двигун СЛ-369М (постійного струму, незалежне збудження); продуктивність – до 250 т/год; швидкість руху смуги – 0,5–1,5 м/с; габарити смуги – довжина 10–15 м, ширина 0,8–1,2 м; точність позиціонування – ± 2 мм; контроль параметрів – наявність смуги, швидкість, напрям, температура, довжина; вимоги – автоматичне приймання та скидання смуги, інтеграція з існуючими системами, відповідність стандартам безпеки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити 4.1 Аналітична частина: особливості технологічного процесу кисневого та плазмового різання; аналіз існуючої щупової системи стабілізації; обґрунтування необхідності модернізації. 4.2 Основна частина: технічне завдання на створення системи стабілізації; вибір роду струму та обґрунтування заміни двигуна постійного струму на асинхронний; розрахунок потужності двигуна та вибір частотного перетворювача; синтез трьохконтурної системи підлеглого регулювання (струму, швидкості, положення); розробка алгоритмів

стабілізації; ємнісного датчика для кисневого різачка та за напругою дуги – для плазмового; вибір технічних засобів; розробка апаратної реалізації пристрою стабілізації на мікросхемах TTL-логіки; розрахунок економічної ефективності. Аналіз небезпечних факторів (електрика, шум, вібрація, пил, оптичне випромінювання); заходи щодо електробезпеки, пожежної безпеки, захисту від перегріву та опіків; організація засобів індивідуального захисту та медичних оглядів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) ВРМ.141.726-ст.05.E7 – Схема розташування обладнання; ВРМ.141.726-ст.05.E2.1 – Функціональна схема щупової системи стабілізації; ВРМ.141.726-ст.05.E2.2 – Функціональна схема системи стабілізації положення різачка; ВРМ.141.726-ст.05.E1 – Структурна схема трьохконтурної системи підлеглого регулювання; ВРМ.141.726-ст.05.E5 – Схема підключення частотного перетворювача; ВРМ.141.726-ст.05.E2.3 – Функціональна схема пристрою стабілізації; ВРМ.141.726-ст.05.E0.1 – Алгоритм роботи пристрою стабілізації; ВРМ.141.726-ст.05.E0.2 – Графіки перехідних процесів; ВРМ.141.726-ст.05.ТЕП – Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Пироженко А.В.	20.10.2025	20.10.2025
Основна частина	Пироженко А.В.	20.10.2025	20.10.2025

7. Дата видачі завдання 20.10.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	28.11.2025	
2.	Основна частина	25.12.2025	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.12.2025	
4.	Виконання графічної частини	05.01.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	12.01.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	20.01.2026	

Студент

(підпис)

Іванов А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Пироженко А.В

(прізвище та ініціали)

№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.E7</i>	Схема розташування	1		
2			обладнання			
3	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.E2.1</i>	Функціональна схема	1		
4			щупової системи			
5			стабілізації			
6	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.E2.2</i>	Функціональна схема	1		
7			системи стабілізації			
8			положення різача			
9	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.E1</i>	Структурна схема	1		
10			трьохконтурної системи			
11			підлеглого регулювання			
12	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.E5</i>	Схема підключення	1		
13			частотного перетворювача			
14	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.E2.3</i>	Функціональна схема	1		
15			пристрою стабілізації			
16	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.E0.1</i>	Алгоритм роботи	1		
17			пристрою стабілізації			
18	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.E0.2</i>	Графіки перехідних	1		
19			процесів			
20	A3	<i>BPM.141.726-ст.05.ТЕП</i>	Техніко-економічні	1		
21			показники			
22	A4	<i>BPM.141.726-ст.05.ПЗ</i>	Пояснювальна записка	112		
23						
24						
				<i>BPM.141.726-ст.05.ВР</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод положення різального органу машини киснево - плазменного різання металу в цеху металоконструкцій Ливарно-механічного заводу ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" <i>Відомість роботи</i>	
<i>Розроб.</i>		<i>Іванов А. В.</i>				
<i>Пров.</i>		<i>Пироженко А.В.</i>				
<i>Н.контр.</i>		<i>Пироженко А.В.</i>				
<i>Затв.</i>		<i>Модло Є.О.</i>				
					<i>Літера</i> Літера	<i>Аркуш</i> Аркуш
					4	1
					ННПІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. ЕПА-24м	

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота магістра: 112 с., 47 джерел, 22 рис., 15 табл.

Мета роботи – модернізація системи стабілізації робочого зазору різача на машині термічного різання ПКПЛЦ 3,5-6, експлуатованій у виробничих умовах цеху металоконструкцій ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», шляхом заміни застарілої щупової системи та електроприводу постійного струму на сучасну автоматизовану систему з асинхронним двигуном і частотним перетворювачем.

Об'єкт дослідження – процес термічного різання листового металу (кисневе та плазмове), а також система вертикального переміщення різального органу машини термічного різання.

Методи дослідження: аналіз технологічних режимів кисневого та плазмового різання, техніко-економічне порівняння варіантів електроприводів, розрахунок динамічних параметрів системи, моделювання структурної схеми з підлеглим регулюванням.

У роботі проаналізовано недоліки існуючої щупової системи стабілізації: низька точність (± 2 мм), контактний характер роботи, швидкий знос елементів, неможливість забезпечення якості різку при скосі кромки під зварювання. Обґрунтовано доцільність переходу до безконтактних методів стабілізації: застосування ємнісного датчика для кисневого різача та стабілізації за напругою дуги – для плазмового.

Запропоновано замінити двигун постійного струму СЛ 369М на асинхронний двигун із частотним перетворювачем на базі IGBT-транзисторів. Це дозволяє підвищити надійність, енергоефективність та спростити обслуговування в умовах підвищеної запиленості, вологості та температурних коливань.

Ключові слова: асинхронний двигун, ємнісний датчик, IGBT, машина термічного різання, підлегле регулювання, стабілізація за напругою дуги, стабілізація робочого зазору, частотний перетворювач, електропривод.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Технологія газорізання металів	9
1.1.1 Технологія кисневого різання.....	10
1.1.1 Технологія плазмово-дугового різання.....	16
1.2 Машина термічного різання як об'єкт автоматизації	22
1.3 Аналіз існуючої системи стабілізації положення різача.....	27
1.4 Постановка завдання на модернізацію системи стабілізації	30
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	34
2.1 Обґрунтування й вибір системи електропривода положення різача.....	34
2.2 Розробка структурної й функціональної схеми системи стабілізації положення різача	36
2.3 Розрахунки потужності й вибір електродвигуна. Розрахунки механічних характеристик двигуна.....	38
2.4 Вибір перетворювача частоти.....	41
2.5 Вибір датчиків швидкості й положення різача	45
2.6 Розробка пристрою стабілізації положення різача	48
2.6.1 Обґрунтування вибору апаратної реалізації пристрою стабілізації ...	48
2.6.2 Розробка функціональної схеми пристрою стабілізації.....	51
2.6.3 Розробка алгоритму	55
2.7 Моделювання системи стабілізації положення різача	57
2.8 Економічне обґрунтування пропонуваного рішення	62
2.8.1 Характеристика основних техніко-економічних показників і економічної доцільності технічного рішення	62
2.8.2 Розрахунок капітальних вкладень	67
2.8.3 Розрахунок зміни поточних витрат	70
2.8.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	70
2.8.3.2 Розрахунок витрат на ремонт та обслуговування.....	71

2.8.3.3 Розрахунок економії енергоресурсів.....	71
2.8.3.4 Розрахунок економії на умовно-постійних витратах	73
2.8.4 Зведення зміни поточних витрат	74
2.8.5 Розрахунок проєктної собівартості продукції.....	75
2.8.6 Розрахунок економічної ефективності проєкту	75
2.8.6.1 Розрахунок додаткового прибутку	75
2.8.6.2 Розрахунок терміну окупності.....	76
2.8.7 Розрахунок коефіцієнта ефективності капітальних вкладень	76
2.8.8 Розрахунок річного економічного ефекту.....	77
2.8.9 Зведена таблиця техніко-економічних показників.....	77
2.9 Заходи з охорони праці.....	80
2.9.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації машини термічного різання	80
2.9.1.1 Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори	80
2.9.1.2 Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори.....	83
2.9.1.3 Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори	84
2.9.2 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.....	86
2.9.2.1 Організаційні заходи.....	86
2.9.2.2 Технічні заходи.....	89
2.9.3 Засоби індивідуального захисту та організація медичного обслуговування.....	94
2.9.4 Пожежна безпека.....	98
2.9.4.1 Організаційні заходи пожежної безпеки	99
2.9.4.2 Технічні заходи пожежної безпеки	100
2.9.4.3 Первинні засоби пожежогасіння	103
ВИСНОВКИ.....	107
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	109

ВСТУП

Сучасне металообробне виробництво висуває підвищені вимоги до точності, продуктивності та автоматизації процесів розкрою листового металу. Одним із ключових етапів у виготовленні металоконструкцій є термічне різання – технологія, що дозволяє отримувати заготовки складної конфігурації з високою продуктивністю. Найбільш поширеними способами є кисневе та плазмове різання, які використовуються як окремо, так і в комбінації (киснево-плазмове різання).

Однак ефективність цих процесів напряму залежить від стабільності робочого зазору між різакон і поверхнею листа. Навіть незначні відхилення висоти різакон призводять до зниження якості різун, неповного прорізання, дефектів кромок та додаткових витрат на подальшу механічну обробку, особливо при підготовці деталей під зварювання.

На багатьох підприємствах, зокрема в цеху металоконструкцій ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», досі експлуатуються застарілі машини термічного різання (зокрема, моделі ПКПЛЦ), оснащені морально застарілою щуповою системою стабілізації. Ця система не забезпечує необхідної точності, має низьку надійність і практично не використовується – керування зазором здійснюється оператором вручну, що суперечить принципам сучасної автоматизації.

Метою даної роботи є модернізація електроприводу вертикального переміщення різального органу шляхом заміни двигуна постійного струму на асинхронний із частотним керуванням, а також заміни датчикової системи – на ємнісну для кисневого різакон та дугову (за напругою) – для плазмового.

Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення якості заготовок, зниження трудомісткості та енергетичних витрат, а також інтеграції вітчизняного обладнання до світових стандартів автоматизації. Результати роботи мають практичне значення для модернізації існуючих машин термічного різання на промислових підприємствах України.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологія газорізання металів

Різання металів – це процес відокремлення окремих частин або заготовок від сортового, листового чи литого металу. Його поділяють на механічне (за допомогою ножиць, пилок, різців), ударне (рубка) та термічне.

Термічне різання полягає у вирізуванні заготовок, стрічок або отворів шляхом локального нагріву матеріалу. У результаті утворюється щілина, яку називають різом. За характером обробки розрізняють розділове (повне розрізання деталі) і поверхнєве (видалення шару з поверхні) різання. Залежно від якості поверхні різку виділяють заготівельне (грубе) і чистове (точне) різання. Перевагами термічного різання є висока продуктивність, відносно невеликі енерговитрати та можливість обробляти метал великої товщини, отримуючи при цьому деталі складної форми.

Існують три основні групи методів термічного різання: на основі окиснення, плавлення та комбінованого процесу (плавлення з окисненням).

При різанні окисненням метал у зоні різку спочатку нагрівають до температури, за якої він запалюється в кисні, а потім спалюють у струмені кисню. Тепло, що виділяється під час горіння, використовується для підігріву сусідніх ділянок. Продукти згорання видаляються з різку струменем кисню та газів, утворених при реакції. До цієї групи належать газополуменеве (кисневе) та киснево-флюсове різання.

При різанні плавленням метал у зоні різку нагрівають потужним концентрованим джерелом тепла до температури, що перевищує точку плавлення, після чого розплав видаляють із різку завдяки дії струменя газу, тиску плазми, парів металу, електродинамічних сил тощо. До цієї категорії відносять дугове, повітряно-дугове, плазмове (стислою дугою), лазерне та термоструменеве різання.

Комбіноване різання (плавлення з окисненням) поєднує обидва зазначені механізми. До нього належать такі способи, як киснево-дугове, киснево-плазмове та киснево-лазерне різання.

1.1.1 Технологія кисневого різання

Окисненням можна різати лише метали, температура запалення яких у кисні нижча за температуру їхнього плавлення. Це перша умова. Такий метал горить у твердому стані, різ виходить рівним за шириною, поверхня його гладка, продукти горіння легко видаляються кисневим струменем.

Друга умова – температура плавлення оксидів, що утворюються при горінні, повинна бути нижчою за температуру плавлення металу, що розрізається. Тоді вони при температурі різання рідкоплинні й легко видаляються з різку.

І третя умова – метал, що розрізається, повинен мати низьку теплопровідність, щоб легко було нагріти зону різання до температури запалення.

Усім цим умовам відповідають залізо та вуглецеві сталі. Температура горіння заліза в кисні – від 1050 до 1360°C, температура його плавлення – 1535°C. Оксиди FeO та Fe_3O_4 плавляться при температурі 1350 і 1400°C. Теплопровідність заліза в порівнянні з іншими конструкційними матеріалами низька.

Здатність матеріалу піддаватися кисневому різанню називають породжуваністю. Породжуваність вуглецевих сталей із збільшенням вмісту в них вуглецю погіршується. Легувальні елементи в сталі також перешкоджають кисневому різанню. До параметрів режиму кисневого різання відносяться потужність полум'я, тиск різального кисню та швидкість різання. Потужність полум'я характеризується витратою горючого газу в одиницю часу й залежить від товщини металу, що розрізається. Потужність вибирають таку, щоб забезпечити швидкий підігрів металу на початку різання до температури

запалення та необхідне нагрівання під час різання. Для ручного різання потужність беруть у 1,5–2 рази більшу, ніж при машинному. При різанні лиття її підвищують у 3–4 рази, оскільки поверхня виливків покрита піском і пригаром. Для різання стали товщиною до 300 мм застосовують нормальне полум'я, для більшої товщини – науглецювальне, з надлишком ацетилену. Довжина факела такого полум'я повинна бути більшою за товщину металу, що розрізається. Тиск різального кисню залежить від товщини металу, форми різального сопла та чистоти кисню. При товщині від 5 до 20 мм тиск може становити від 0,3 до 0,4 МПа, при товщині від 60 до 100 мм – від 0,7 до 0,9 МПа. Надлишок тиску, так само як і його нестача, зменшує продуктивність різання та погіршує якість поверхні різі.

Швидкість різання повинна відповідати швидкості окиснення металу по товщині аркуша, що розрізається. При заниженій швидкості будуть оплаватися верхні краї аркуша, що розрізається, і потік іскор з різі буде виходити зі зворотного боку різі в напрямку різання. Якщо швидкість зависока, то потік іскор буде слабким і сильно відхилятиметься убік, протилежний напрямку різання. Лінія різі буде відхилятися від вертикалі, відставати, можливе непрорізування металу. При нормальній швидкості потік іскор повинен бути спокійним і майже паралельним струменю різального кисню; він лише трохи відхиляється проти напрямку різання. Зменшення чистоти кисню на 1% знижує швидкість різання на 20%. Застосовувати кисень чистотою нижче 95% недоцільно через зниження швидкості та якості поверхні різі. Найбільш доцільним та економічно виправданим є застосування, особливо при машинному кисневому різанні, кисню чистотою 99,5% та вище.

На швидкість різання також впливають ступінь механізації процесу (ручне або машинне різання), форма лінії різі (прямолінійна або фігурна) та якість поверхні різі (чорнова, заготівельна із припуском на механічну обробку, заготівельна під зварювання, чистова).

Швидкість ручного різання, крім таблиць, також можна визначити за формулою:

$$v = \frac{40000}{50 + \delta} \text{ мм / хв} \quad (1.1)$$

де δ – товщина сталі, що розрізається, мм.

Режими машинного чистового різання деталей із прямолінійними краями без наступної механічної обробки під зварювання наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Режими машинного різання деталей

№	Показники	Од. вим.	Товщина металу, що розрізається, мм							
			5	10	20	30	60	100	150	200
1	Номер мундштука (для машинного кисневого різання ацетилен–кисень)	–	1	1	2	3	4	4	5	6
2	Тиск різального кисню	кгс/см ² (МПа)	3,5 (0,35)	4,5 (0,45)	4,5 (0,45)	4,5 (0,45)	6,0 (0,60)	10,5 (1,05)	10,5 (1,05)	10,5 (1,05)
3	Швидкість різання при роботі одним різаком	мм/хв	590–640	480–520	390–420	350–380	300–330	240–260	210–230	200–210
4	Витрата кисню	дм ³ /м	65	95	160	250	560	1180	2250	3920
5	Витрата ацетилену	дм ³ /м	12	15	23	27	42	62	95	125
6	Швидкість різання при роботі двома різаками	мм/хв	–	400–500	320–340	260–330	230–290	190–240	160–200	–
7	Витрата кисню (два різаки)	дм ³ /м	–	215	255	565	1260	2700	–	–
8	Витрата ацетилену (два різаки)	дм ³ /м	–	35	50	60	95	140	–	–

Примітки:

1. Режими наведені для машинного чистового кисневого різання деталей без подальшої механічної обробки кромки під зварювання.

2. Дані відповідають використанню кисню чистотою не нижче 99,5 %. При меншій чистоті витрата кисню й ацетилену зростає, а швидкість різання зменшується; ці величини визначаються множенням на поправочний коефіцієнт.

3. Для фігурного різання швидкість приймається в межах, зазначених для роботи двома різаками.

4. При заготівельному різанні швидкість може бути збільшена на 10–20 %.

5. Для товщин металу понад 100 мм робота двома різаками не застосовується через зниження якості різі та нестабільність процесу.

6. Максимальна кінематична швидкість машини ПКПЛЦ-3,5-6 не обмежує швидкість різання, яка визначається фізикою процесу кисневого різання.

Таблиця 1.2

Поправочні коефіцієнти

Чистота кисню, %	99,2	99,0	98,8
Коефіцієнти			
витрати кисню	1,10	1,15	1,18
ацетилену	1,05	1,12	1,15
швидкості	0,94	0,9	0,88

При різанні аркушів товщиною до 100 мм економічно виправдане застосування полум'я, що підігріває, з надлишком кисню для якомога швидшого нагрівання поверхні металу.

При різанні потрібно підтримувати постійну відстань між мундштуком і поверхнею металу, що розрізається. Вона впливає на якість різі й залежить від товщини металу: при товщині від 3 до 10 мм цю відстань краще встановлювати від 2 до 3 мм, при товщині від 100 до 300 мм – від 7 до 10 мм.

Перед початком різання потрібно підготувати аркуш, що розрізається. Його потрібно покласти на підкладки так, щоб зазор між його нижньою поверхнею і підлогою був не менше ніж 100 мм плюс половина товщини металу, що

розрізається. Зазвичай різання роблять у нижньому положенні. Однак у монтажних умовах просторове положення різку може бути різним, на якість різку воно впливає незначно. Поверхня аркуша в місці різку повинна бути зачищена. При ручному різанні очищають полум'ям різача смугу шириною від 30 до 50 мм.

Процес різання починають із нагрівання металу на початку різку до температури його запалення в кисні, потім подають різальний кисень і, переконавшись, що почалося окиснення металу по всій товщині, переміщують різак по лінії різку. Якщо ріжуть сталь товщиною до 50 мм, різак на початку різку встановлюють вертикально. При більшій товщині його спочатку відхиляють від площини торця аркуша на 5° , а після початку різання збільшують цей кут від 20° до 30° від вертикалі, нахиляючи різак убік, протилежний напрямку різку.

Складніше почати різання не з краю, а з середини аркуша. У цьому випадку на початку різку повинен бути отвір. При різанні металу товщиною до 20 мм отвір пробивають різачом. Для цього нагрівають ділянку на початку різку так само, як і при різанні з краю аркуша. Потім, плавно відкриваючи вентиль, подають різальний кисень і припиняють подачу горючого газу – гасять полум'я, що підігріває. Після того, як отвір утвориться, знову подають горючий газ, полум'я загоряється від розпеченого металу. Цей прийом запобігає ударам полум'я та зворотним ударам. При товщині металу понад 50 мм отвір діаметром від 5 до 10 мм просвердлюють. Пробивати отвір бажано на ділянці аркуша, який після різання піде у відходи.

Поверхня металу, що розрізається, повинна бути чистою і розташована горизонтально. При дотриманні цих умов точність розмірів деталі, що вирізається, і якість поверхні різку будуть найкращими. Тому перед різанням на стаціонарних машинах кисневого різання аркуші спочатку виправляють на листопрямильних вальцях, а потім очищають усю поверхню хімічно або механічно (наприклад, дробоструминним способом).

Процес різання. Різак із запаленим полум'ям розташовують над місцем початку різку; після того, як полум'я, що підігріває, нагріє поверхню металу (від 5 до 35 секунд при товщині аркуша від 5 до 100 мм) до температури початку

горіння, включають подачу різального кисню і після прорізання металу по всій товщині включають електродвигун переміщення різак над поверхнею, що розрізається. У процесі різання необхідно підтримувати встановлений режим.

Різання фланців (рис.1.1) здійснюється в такий спосіб: спочатку вирізають внутрішню частину 1 у металі, що йде у відходи, а потім вирізають контур 2. На аркуші певного розміру разом із кресленнями деталей наводиться карта розкрою, тому місце початку різання зовнішнього контуру вибирають на відході.

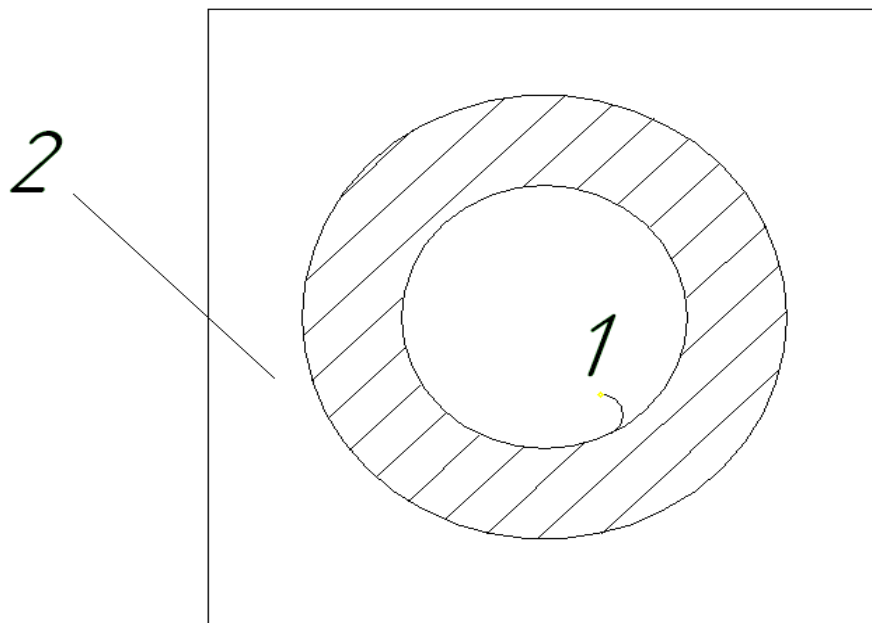


Рис. 1.1. Вирізка фланців [1; 2]:

1 – внутрішня частина; 2 – контур.

При різанні зі скосом кромки (рис. 1.2) поверхні різку неоднакові за якістю. Поверхня «b» краща, ніж поверхня «a». Гострий кут на поверхні «a» оплавляється сильніше, оскільки на ньому концентрується більша частина полум'я, що підігріває. Тупий кут поверхні «a» (нижня кромка) омивається рідким шлаком і кисневим струменем, внаслідок чого також оплавляється. Тому краще, якщо це дозволяє характер різку, розташовувати різак таким чином, щоб була використана відрізана частина з поверхнею «b».

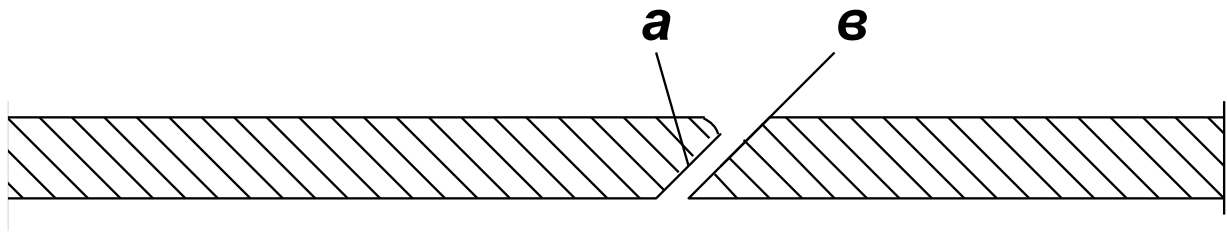


Рис. 1.2. Вид поверхонь (а, b) похилого різну [1; 2]

При різанні зі скосом кромки дуже важливу роль відіграє висота різак над аркушем, оскільки при відхиленні від заданої висоти під час процесу різання кромка виходить нерівною.

У момент наближення різак до краю аркуша, коли струмінь різального кисню виходить з різну (щілини), різак необхідно затримати на кілька секунд, оскільки через відставання струменя різального кисню нижній кут аркуша може бути непрорізаним. У разі різання декількома різакми дотриматися цієї вимоги складніше.

Розділове різання по контуру усередині аркуша починається з пробиття отвору. При машинному різанні можливе пробиття отворів різакм при товщині до 100 мм. Спочатку розігрівають полум'ям, що підігріває, місце пробиття до температури запалення металу в струмені кисню. Потім поступово відкривають вентиль різального кисню, одночасно опускаючи різак, і повільно збільшують тиск кисню до оптимального. У цьому випадку при подачі різального кисню починають переміщення різак від точки пробиття до контуру деталі, що вирізається, – на мундштук різак, що рухається, не потрапляють бризки металу, що зменшує ймовірність його засмічення та виникнення зворотних ударів.

При роботі на сучасних автоматизованих машинах термічного різання пробиття отворів здійснюється спеціальним обладнанням, що забезпечує плавне збільшення витрати різального кисню при повільному переміщенні різак до контуру деталі. Мінімальна відстань від місця пробиття отвору до контуру деталі встановлюється від 6 до 45 мм для металу товщиною від 10 до 100 мм.

1.1.1 Технологія плазово-дугового різання

Різання плазмовою дугою (рис.1.3) засноване на здатності стислої дуги глибоко проникати в метал, проплавляючи його по лінії різку дуговим розрядом. Під дією високої температури стислої дуги газ 2, проходячи через дуговий розряд, сильно іонізується, утворюючи струмінь плазми, який видаляє розплавлений метал з місця різку.

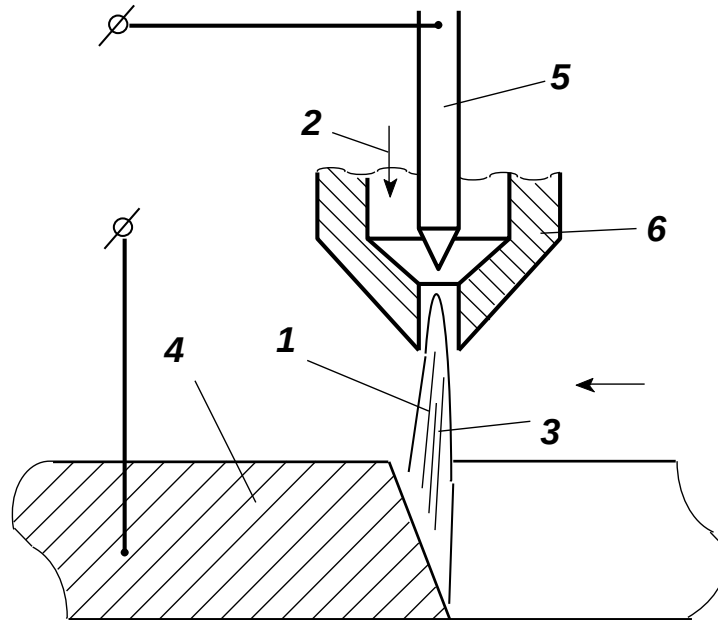


Рис. 1.3. Схема процесу різання плазмовою дугою:

1 – дуга; 2 – плазмотвірний газ; 3 – дугова газорозрядна плазма;
4 – метал; 5 – вольфрамовий електрод; 6 – головка різача.

(розроблено автором з використанням [1; 2])

Дуга 1 збуджується між металом, що розрізається, 4 та вольфрамовим електродом, що не плавиться, 5. Дугову газорозрядну плазму 3 називають низькотемпературною (її температура становить від 5000 до 20000°C).

Застосовувані при плазмово-дуговому різанні плазмотвірні гази повинні забезпечувати отримання плазми та необхідний захист вольфрамового електрода від окиснення. Як такі гази застосовують аргон, азот та суміші аргону з азотом, воднем і повітрям. Як електроди використовується лантанований вольфрам ВЛ-15. Вольфрамовий електрод розташовують соосно із соплом плазмотрона. Струмінь плазми має високу швидкість витікання та форму витягнутого конуса, переріз якого на виході відповідає перерізу сопла.

Плазмово-дугове різання застосовують для різання металів, які неможливо або важко різати іншими способами, наприклад, для різання корозійно-стійких легованих сталей, алюмінію, магнію, титану, чавуну та міді.

При різанні плазмовим струменем метал, що розрізається, не входить до електричного кола дуги. Дуга горить між кінцем вольфрамового електрода та внутрішньою стінкою охолоджуваною водою наконечника плазмотрона.

Сутність різання плазмовою дугою полягає у виплавленні металу з зони різі.

На рис. 1.4 схематично представлено процес різання плазмовим струменем.

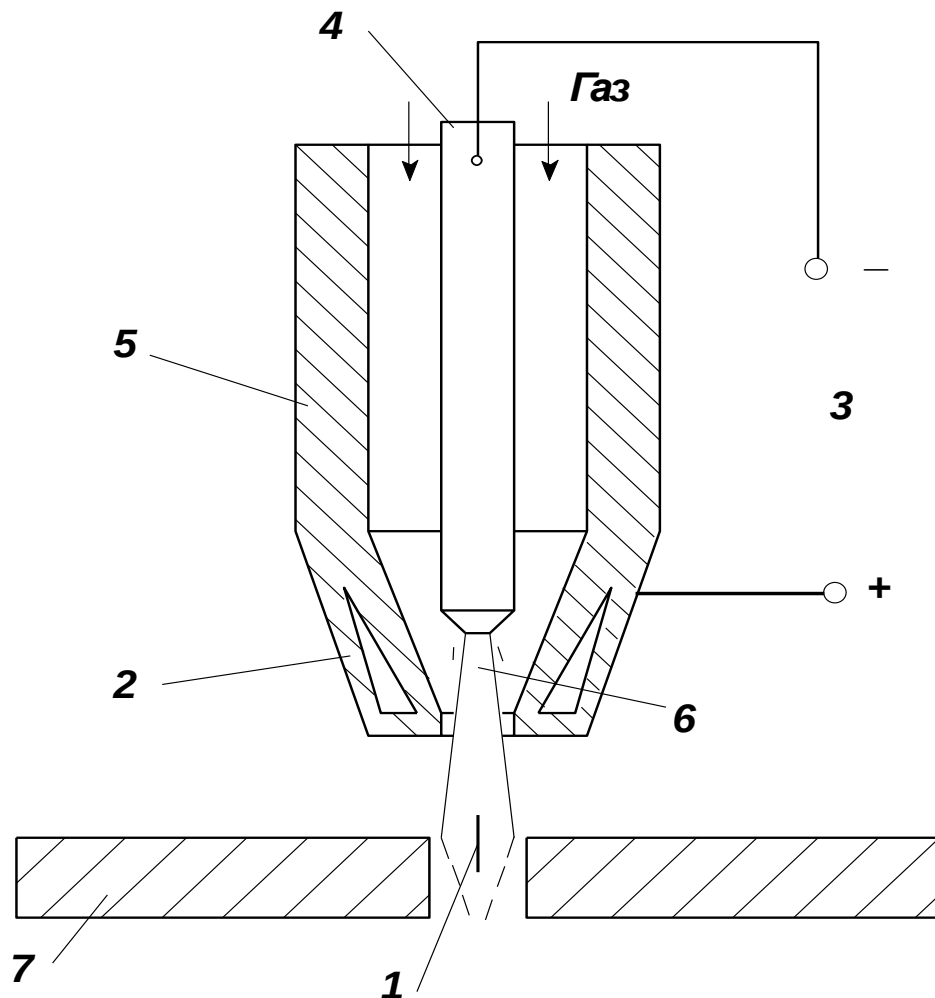


Рис. 1.4. Різання плазмовим струменем:

1 – струмінь плазми; 2 – мідне сопло; 3 – джерело постійного струму;
4 – вольфрамовий електрод; 5 – мундштук; 6 – дуга; 7 – метал, що розрізається.

(розроблено автором з використанням [1; 2])

Живлення здійснюється від джерела постійного струму 3. Мінус підводиться до вольфрамового електрода 4, а плюс – до мідного сопла 2, яке

охолоджується водою. Дуга 6 горить між електродом і соплом і видувається газовою сумішшю з внутрішньої порожнини мундштука 5 з утворенням струменя плазми 1, яка проплавляє метал, що розрізається, 7. Як плазмотвірний газ використовують переважно аргон та суміш аргону з азотом.

Плазмовий струмінь застосовується для різання тонкого металу. Швидкість різання плазмовим струменем залежить від властивостей металу, що розрізається, та від параметрів і режиму різання (сила струму, напруга, витрата газу). Різання плазмовим струменем проводиться як ручним, так і механізованим способом.

Для плазово-дугового різання застосовується спеціальне устаткування, яке живиться електричною енергією. Основним елементом при плазовому різанні є різальний плазмотрон. У ручному плазмотроні є обладнання для керування робочим циклом різання – подачею та перекриттям газів, запалюванням допоміжної дуги.

Для забезпечення нормального процесу плазово-дугового різання поверхню листового металу необхідно очистити від консерваційного мастила. При розмітці деталей необхідно враховувати припуски на різання залежно від призначення деталей, що вирізаються. При машинному розділовому різанні розмітка замінюється копіюванням або програмним контурним керуванням.

Початок різання визначається моментом утворення різальної дуги. При різанні необхідно підтримувати постійну відстань між торцем наконечника плазмотрона та поверхнею металу, що розрізається. Зазвичай ця відстань становить до 10 мм.

При встановленні режимів необхідно враховувати особливості різання різних металів – низьковуглецевих і легованих сталей, алюмінію та його сплавів, міді та її сплавів, титану, нікелю та інших металів.

Алюміній та його сплави схильні до утворення тугоплавких оксидів, крім того, алюміній у розплавленому стані активно поглинає водень. Різання алюмінію та його сплавів товщиною від 5 до 20 мм проводять у азоті, товщиною

від 20 до 150 мм – у азотно-водневих сумішах (65% азоту та 35% водню). При вмісті водню понад 35% метал поверхні різку насичується воднем.

При ручному різанні вміст водню знижують до 20%, оскільки в цьому випадку дуга горить стабільніше і її легше підтримувати при зміні відстані між мундштуком і поверхнею металу, що розрізається.

Висока якість поверхні різку забезпечується при використанні аргонно-водневої суміші, що містить до 50% водню. Використання аргонно-водневих сумішей є доцільнішим при різанні алюмінієвих сплавів товщиною понад 100 мм.

Орієнтовні режими плазово-дугового різання алюмінієвих сплавів наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Режими плазменно-дугового різання алюмінію

Товщина металу, що розрізається, мм	Діаметр сопла, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Потужність, кВт	Витрата газів, м ³ /год			Швидкість різання, м/год
					аргону	азоту	водню	
10	2	200	170-180	18	-	5	-	350
15	3	250	140-160	40	0,7	-	0,5	60
30	5	250	180-200	40	-	1,5	1	36
50	5	450	160-180	50	-	1,5	1	27
80	5	450	160-180	50	-	1,7	1,5	25
200	7	700	160-180	116	0,4	-	4	12

Нержавіючі сталі товщиною до 20 мм розрізають із застосуванням чистого азоту, а при товщині від 20 до 50 мм – суміші 50% азоту та 50% водню. Як робочі гази при плазово-дуговому різанні низьковуглецевих сталей товщиною до 50 мм застосовують стиснене повітря.

Орієнтовні режими машинного різання нержавіючих сталей наведено в табл.

1.4.

Таблиця 1.4

Режими машинного різання нержавіючих сталей

Товщина металу, що розрізається, мм	Діаметр сопла, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Потужність, кВт	Витрата газів, м ³ /год			Швидкість різання, м/год
					аргону	азоту	водню	
10	3	300	150	45	-	1	-	180
20	5	500	75	38	-	1	-	160
30	5	100	165	17	0,7	-	0,5	-
40	5	350	120	42	-	1,6	-	18
50	4,5	490	80	40	0,9	-	-	14
75	4	500	85	43	-	1,5	-	10
100	7	700	145	100	0,4	-	4	17

Мідь та мідні сплави характеризуються високою теплопровідністю, тому при їх різанні потужність дуги повинна бути вищою, ніж при різанні сталей. Як плазмотвірний газ застосовують аргонно-водневу суміш, азот або атмосферне повітря. При повітряно-плазмовому різанні міді на поверхні різку утворюється легковиддаваний тендитно-склоподібний грат. При різанні міді малих і середніх товщин переважним є повітряно-плазмове різання.

При різанні латуні (сплаву міді з цинком) використовують ті ж робочі гази, що й для різання міді; швидкість різання збільшується на 20–25% порівняно зі швидкістю різання міді. Орієнтовні режими різання міді та латуні наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Режими різання міді й латуні

Товщина металу, що розрізається, мм	Діаметр сопла, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Потужність, кВт	Витрата газів, м³/год				Швидкість різання, м/год
					аргону	азоту	водню	повітря	
Мідь									
5	3	300	75	22	-	2,2	-	-	90
15	4	300	92	25	-	1,9	-	-	40
25	4	350	90	31	1	-	0,5	-	15
40	7	700	120	84	0,4	-	4	10	35
100	7	700	145	101	0,4	-	4	10	10
Латунь									
6	3	260	70	18	-	4,2	-	-	105
30	4	350	85	30	-	3,6	-	-	15
90	5	500	140	70	-	2,0	1	-	12

1.2 Машина термічного різання як об'єкт автоматизації

Стаціонарна машина термічного різання (МТР) ПКПЛЦ-3,5-6 призначена для фігурного повітряно-плазмового та газокисневого різання деталей із листового прокату з низьковуглецевих, високовуглецевих, жароміцних і нержавіючих сталей, кольорових металів та їхніх сплавів. Машина забезпечує вирізання деталей із листового металу з повним відпрацюванням усього технологічного циклу згідно з керуючою програмою.

МТР може використовуватися в машинобудуванні, суднобудуванні, дорожньо-будівельному машинобудуванні, гірничорудному машинобудуванні та інших галузях промисловості.

Машина оснащена системою числового програмного керування (ЧПК), що дозволяє вводити керуючі програми.

Розшифровка позначення машини ПКПЛЦ-3,-6:

П – портальна;

К – киснева;

ПЛ – плазмова;

Ц – цифрова;

3,5 – найбільша ширина оброблюваних аркушів, м;

6 – найбільша швидкість переміщення різального інструменту, м/хв.

МТР ПКПЛЦ належить до машин портального типу. Машина термічного різання має портал, установлений на роликах, які рухаються по напрямних рейках, змонтованих на опорах. Ролики з'єднані з електромеханічним приводом, завдяки чому портал може переміщуватися уздовж рейок (координатна вісь X).

На порталі встановлено каретку поперечного ходу з приводом поперечного переміщення (оснащена кисневим різакон) та додаткову каретку без привода (оснащена плазмовим різакон), з'єднану з провідною кареткою сполучною планкою (координатна вісь Y).

Різакон, закріплені на каретках, переміщуються над розкрійним столом з покладеним на ньому аркушем, що підлягає різанню. До порталу кріпляться блок керування та силовий блок.

Для автоматичного повітряно-плазмового різання металів поряд із машиною термічного різання встановлено апарат плазмового різання типу АПР – 404УХЛ4.

Блок керування (БК) містить устаткування ЧПК, лицьову та вхідну панелі. Він призначений для керування процесом розкрою металу на виконавчій машині термічного різання портального типу з прямокутною системою координат і комбінованим (киснево-плазмовим) оснащенням.

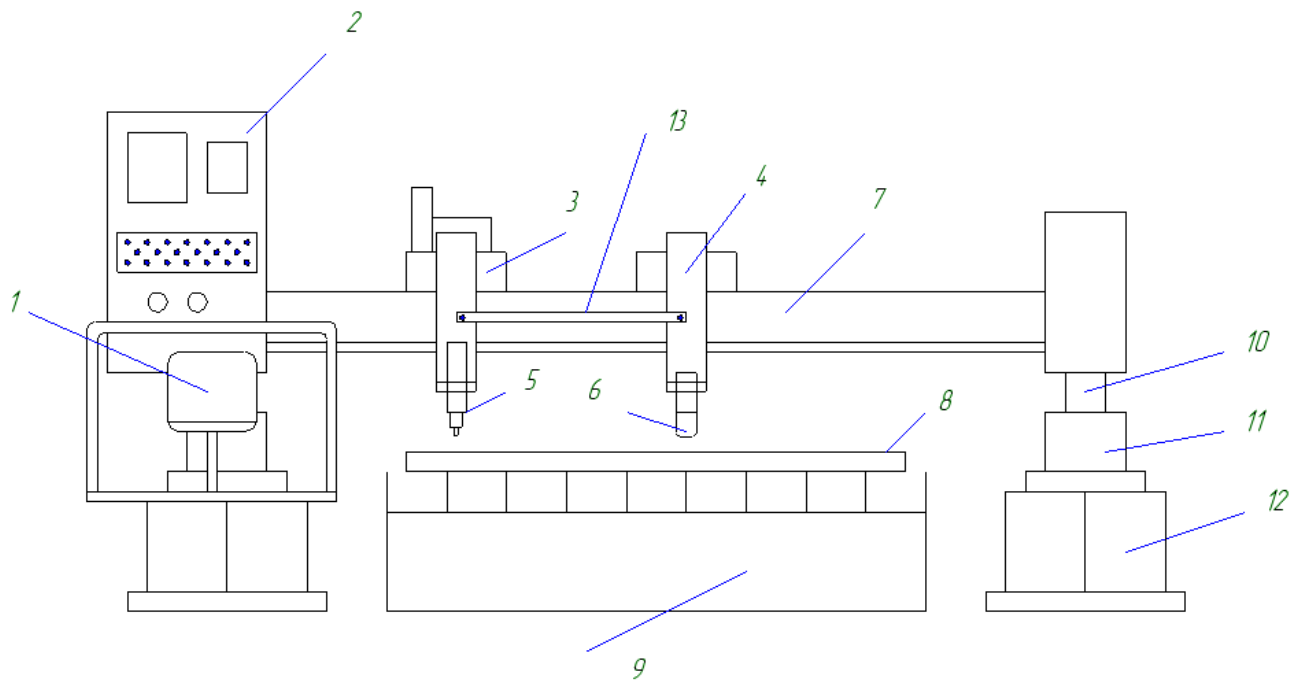


Рис. 1.5. Зовнішній вигляд машини термічного різання ПКПЛЦ-3,5:

- 1 – крісло оператора; 2 – блок керування; 3 – каретка; 4 – повзун;
 5 – кисневий різак; 6 – плазмовий різак; 7 – портал; 8 – лист металу;
 9 – розкрійний стіл; 10 – ролики; 11 – напрямні рейки; 12 – опори;
 13 – сполучна планка.

Блок керування забезпечує:

- керування координатними приводами X і Y;
- керування технологічним оснащенням.

Блок керування виконано у пилозахищеному корпусі зі системою термостатування внутрішнього простору. На передній панелі розміщено систему ЧПК 2Р32 та лицьову панель, праворуч – вхідну панель. На задній стінці встановлено комутаційну панель для підключення різних вузлів машини.

Система ЧПК забезпечує:

- переміщення робочих органів машини по заданій траєкторії відповідно до програми розкрою;
- реалізацію алгоритмів керування технологічним оснащенням під час розкрою;
- завантаження керуючих програм з карти пам'яті або введення з клавіатури ЧПК;

- редагування програм;
- реверс виконання програми;
- переривання різання з можливістю відновлення технологічного циклу;
- автоматичне зниження швидкості на кутах траєкторії;
- компенсацію ширини різання;
- формат даних – код ISO.

Таблиця 1.6

Основні технічні дані й характеристики МТР ПКПЛЦ

Найменування параметрів	Одиниця виміру	Норми
1	2	3
1. Габаритні розміри листів, що розрізаються, не більш: довжина ширина товщина: сталь, алюміній і його сплави мідь і її сплави	мм	8000 3500 5 – 200 5 – 100
2. Клас точності машини за ДСТУ 5614-74 у діапазоні швидкостей: від 70 до 4000 мм/хв від 4000 до 6000 мм/хв		перший другий
3. Максимальний діаметр оброблюваного контуру, для швидкостей: до 3000 мм/хв від 3000 до 4000 мм/хв від 4000 до 6000 мм/хв	мм	50 100 250

Продовження табл. 1.6

1	2	3
---	---	---

4. Число супортів (різаків)	шт	2
5. Найбільша швидкість переміщення різака, не менш	мм/хв	6000
6. Найменша швидкість переміщення різака, не більш	мм/хв	50
7. Точність відтворення заданого контуру, не гірше	мм	±0,25
8. Тип плазмової установки		АПР-404
9. Споживана потужність, не більш	кВт	3
10. Плазмоутворюючий газ		стиснене повітря
11. Витрата повітря, не менш	м³/год	4 – 10
12. Робочий тиск повітря перед машиною	Мпа	0,4 – 0,6
13. Охолодження плазмового різака		водяне
14. Витрата охолодної води, не менш	м³/з	0,83·10-4
15. Тиск охолодної води	МПа	0,15 – 0,4
16. Установлений безвідмовний наробіток, не менш	год	2000
17. Установлений термін служби до першого капітального ремонту	роки	6
18. Маса	кг	6150
19. Габаритні розміри		4800x3200x2550
20. Довжина рейкового шляху	м	10
21. Електроживлення від трифазної мережі змінного струму (напруга/частота)	В/Гц	380/50

1.3 Аналіз існуючої системи стабілізації положення різака

Необхідність підвищення продуктивності праці спричиняє зростання рівня механізації та автоматизації як зварювального, так і газорізного (заготівельного) виробництва, а також його оснащення складними машинами й агрегатами, без яких неможливе серійне виробництво багатьох видів продукції. Яскравим прикладом є машини термічного різання (МТР).

До 1985 року в цеху металоконструкцій Криворізького металургійного заводу (нині – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») близько 90 % деталей із листового металу вирізали вручну. Протягом 1985-1993 років у цех було введено в експлуатацію шість машин термічного різання серій ПКПЛЦ, ПКЦ, «Комета» та «Дніпро». Це дозволило перевести на МТР вирізання 80 % таких деталей. Заготівки, отримані на цих машинах, характеризуються високою (для заготівельного виробництва) точністю геометричних розмірів – $\pm 0,25$ мм.

Однак листовий прокат, розміщений на розкрійному столі (стелажі), часто не лежить у одній площині з ним: у деяких місцях лист піднятий, в інших – опущений. Висота різака над поверхнею листа має вирішальне значення, оскільки при нестабільному робочому зазорі між різакром і листом погіршується якість верхньої кромки різку, а також може бути порушено процес повного окиснення металу по всій його товщині.

Машини ПКПЛЦ і ПКЦ оснащені щуповою системою стабілізації. Стабілізація робочого зазору здійснюється в ручному режимі шляхом контактного впливу щупів на мікроперемикачі, розташовані в корпусі стабілізатора. Щупи розміщені концентрично навколо різака, що забезпечує круговий огляд поверхні листа. Початкову відстань між торцем різака та поверхнею листа встановлюють за допомогою маховика з подальшою фіксацією затиском. При контакті щупів із робочою поверхнею листа мікроперемикачі спрацьовують, що призводить до руху каретки вгору або вниз і встановлення необхідного робочого зазору.

Стабілізатор уніфікований для використання як з кисневим різак, так і з плазмовим (плазмотроном). На сьогоднішній день на МТР ПКПЛЦ регулювання робочого зазору між різакми та листом здійснює оператор машини.

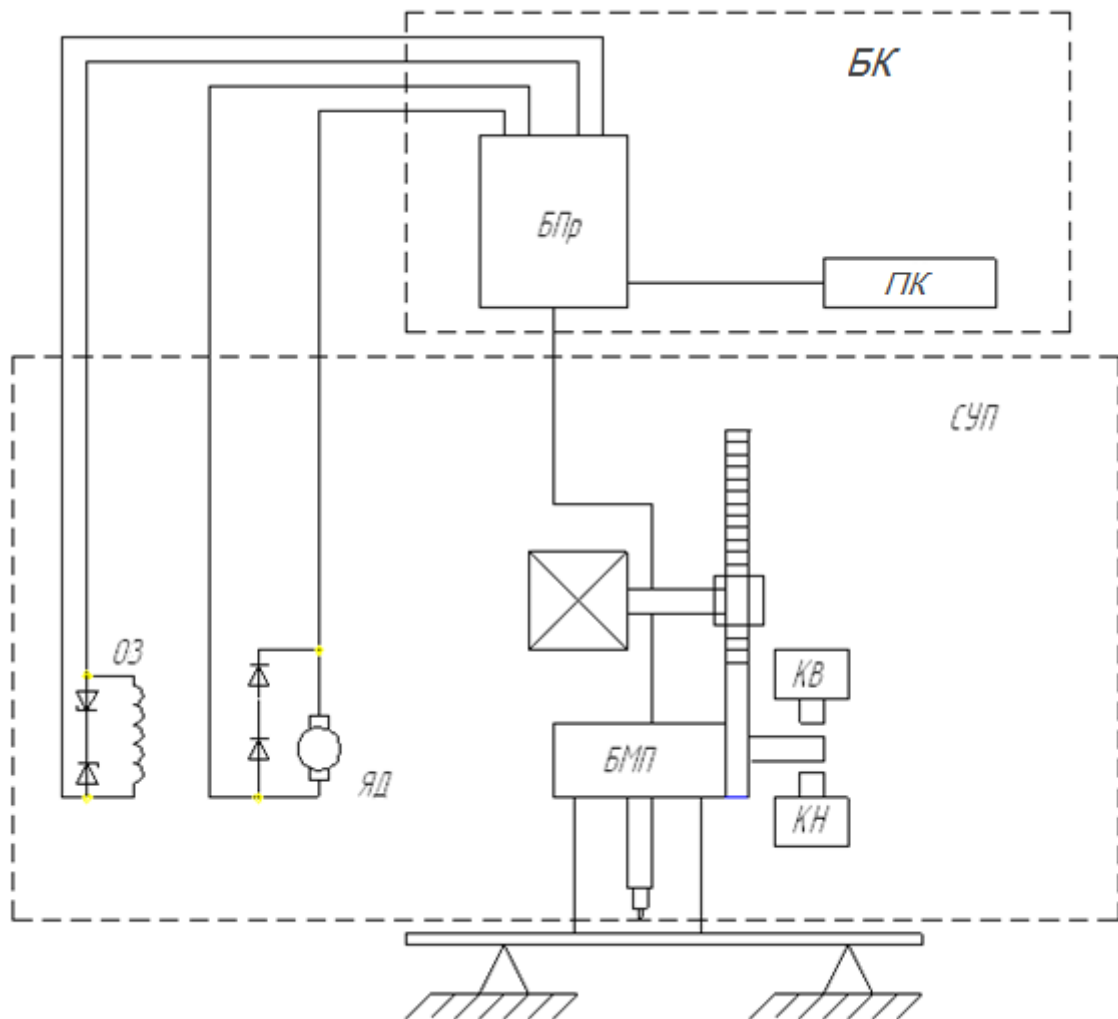


Рис. 1.6. Функціональна схема щупової системи стабілізації:

БК – блок керування; БПр – блок приводу; ПК – пульт керування; ОЗ – обмотка збудження двигуна СЛЗ69М; ОЯ – якірне коло двигуна СЛЗ69М; СУП – супорт; КВ – кінцевий вимикач верхній; КН – кінцевий вимикач нижній; БМП – блок мікроперемикачів.

Цей спосіб стабілізації висоти різака є морально застарілим і неефективним з низки причин:

- точність стабілізації становить ± 2 мм, що недостатньо для сучасних технологій виготовлення заготовок із листового прокату, зокрема при різанні деталей зі скосом кромки під зварювання;
- у процесі різання щупи постійно перебувають у механічному контакті з поверхнею аркуша, що призводить до швидкого зносу мікроперемикачів і скорочення їхнього терміну служби;
- при роботі з плазмовим оснащенням існує ризик пробою високої напруги запалювача дуги на корпус стабілізатора;
- відсутня можливість швидко й точно регулювати величину робочого зазору.

На практиці в цеху металоконструкцій цю систему було повністю відключено. Керування висотою різача зараз здійснює оператор вручну з пульта керування. Привод вертикального переміщення – двигун постійного струму з незалежним збудженням СЛЗ69М.

Оскільки більшість заготовок призначена для подальшого складання та зварювання, після різання кромки деталей обробляють вручну під зварювальний скіс. Сучасні машини термічного різання, на відміну від застарілих моделей, здатні виконувати не лише прямолінійні розрізи, а й різання зі скосом кромки.

Система стабілізації робочого зазору (надалі – система стабілізації) призначена для автоматичного керування вертикальним переміщенням різача та підтримки постійної відстані між його торцем і поверхнею аркуша під час переміщення над листом.

Основні техніко-економічні переваги впровадження автоматичної системи стабілізації висоти різача:

- підвищення якості поверхні розрізу;
- можливість вирізання деталей зі скосом кромки під зварювання;
- здатність керувати дуже швидкоплинними процесами;
- досягнення високої точності керування, що значно перевищує фізичні можливості оператора;

- об'єктивність керування (незалежність від кваліфікації, фізичного чи психічного стану оператора);
- реалізація захисних функцій і блокувань, які запобігають аваріям, травматизму та небажаним режимам роботи.

Сучасні машини термічного різання – зокрема «Кристал» (м. Миколаїв, Україна), «Метеор» і «Комета» (м. Одеса, Україна) – оснащені високоточною ємнісною системою стабілізації висоти різача над листом.

Окрім щупової, у машинних системах також застосовують тензодатчикову систему стабілізації. Принцип її дії ґрунтується на перетворенні пружної деформації тензобалки (з наклеєними на неї тензорезисторами) на зміну електричного опору. Датчик складається з чотирьох тензобалок, кожна з яких оснащена верхнім і нижнім тензорезистором. При деформації балки опір одного резистора збільшується, а іншого – зменшується, що підвищує чутливість містової схеми, до якої вони підключені.

Однак ця система має суттєві недоліки:

- датчик безпосередньо контактує з поверхнею аркуша, що спричиняє його знос;
- при плазмовому різанні корпус стабілізатора перебуває в безпосередній близькості до дуги, що на практиці часто призводило до «захоплення» дугою корпусу датчика й виходу системи з ладу.

Тому в сучасних машинах термічного різання для газокисневих різаків застосовують ємнісні датчики висоти, а для плазмового різання – ще більш досконалий інженерний розв'язок: стабілізація робочого зазору за напругою дуги.

1.4 Постановка завдання на модернізацію системи стабілізації

Вимоги до розроблюваної системи автоматичної стабілізації робочого зазору

а) Привод вертикального переміщення

У діючій системі приводом вертикального переміщення різачка є електродвигун постійного струму з незалежним збудженням типу СЛ-369М. Проте в умовах експлуатації – за наявності металевого пилю, водяних випарів та високої температури – стан двигуна швидко погіршується, що призводить до його передчасного виходу з ладу.

Асинхронні двигуни широко застосовуються як приводи різноманітних механізмів завдяки високій надійності, простоті конструкції та низьким експлуатаційним витратам. Однак під час пуску асинхронного двигуна коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) є дуже малим, а пусковий струм у обмотці статора може перевищувати номінальний у 5-7 разів. При частому пуску це спричиняє сильний перегрів обмоток і руйнування ізоляції.

Обмеження пускового струму та регулювання пускового моменту можливе двома способами:

- зміною частоти живильної напруги;
- збільшенням активного опору обмотки ротора під час пуску.

Найбільш ефективним і економічним методом регулювання швидкості асинхронного двигуна, згідно з сучасною теорією електроприводу, є частотне керування за допомогою частотного перетворювача.

Тому в розроблюваній системі автоматичної стабілізації пропонується використовувати асинхронний двигун у комплекті з частотним перетворювачем.

б) Обмеження ходу вертикального переміщення

Повний хід вертикального переміщення різачка має становити 300 мм. Для обмеження крайніх положень (верхнього та нижнього) пропонується застосувати мікроперемикачі.

в) Вимоги до швидкості вертикального переміщення

Під час різання листового металу внаслідок термічного нагрівання відбувається деформація листа, особливо на його краях. Найбільш виражена деформація спостерігається в тонколистовому прокаті. У цеху металоконструкцій 90 % використовуваного листового металу має ширину 1500-1600 мм. Експериментальні

дослідження показали, що максимальний вигин поверхні починається приблизно на відстані 400 мм від краю листа.

Найбільший підйом краю листа зареєстровано для сталі марки 09Г2С (за даними виробництва; у попередніх записях зазначалася марка «ЗПС», але, ймовірно, мали на увазі конструкційну низьколеговану сталь) товщиною 2 мм – він досяг 100 мм. Різання проводилося зі швидкістю 6000 мм/хв (100 мм/с).

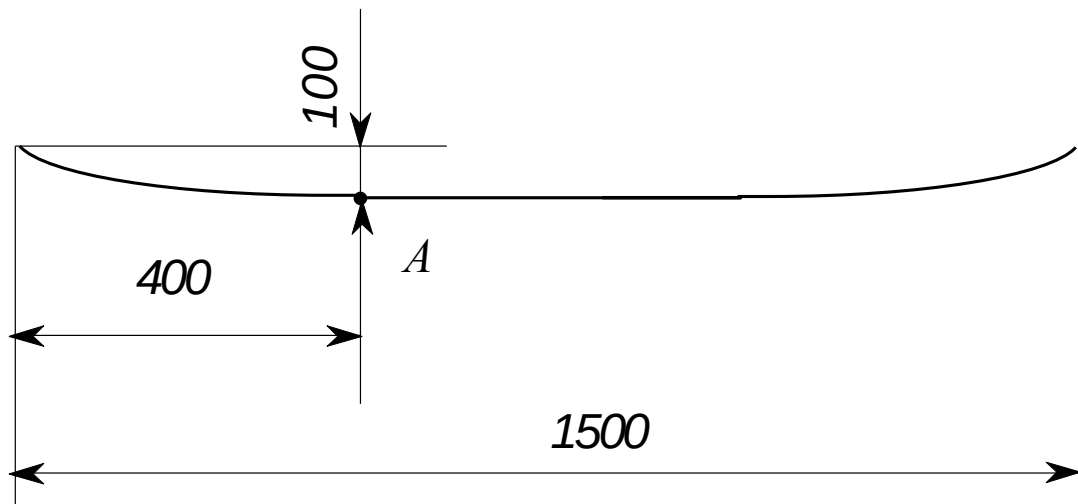


Рис. 1.7. Деформація листа металу, що розрізається
(розроблено автором)

Виконаємо розрахунок мінімальної швидкості вертикального переміщення різака, яку повинна забезпечувати система:

1) знаходимо час, за який різак переміститься від крапки А на край листа:

$$t = S/V_{\text{п}}, \quad (1.2)$$

де

t – час переміщення, с;

S – відстань до краю листа, мм;

$V_{\text{п}}$ – швидкість переміщення, мм/с.

$$t = 400/100 = 4 \text{ с}$$

2) знаходимо необхідну швидкість підйому різака:

$$V_{\text{пд}} = S/t, \quad (1.3)$$

де t – час, за який різак повинен піднятися на відстань S , с;
 S – максимальна величина припіднімання краю аркуша, мм;
 $V_{\text{пд}}$ – швидкість підйому різака, мм/с.

$$V_{\text{пд}} = 100/4 \approx 25 \text{ мм/с.}$$

У розроблювальній системі необхідно забезпечити вертикальне переміщення різака зі швидкістю не менш 0,025 м/с.

г) Для кисневого різака пропонується використовувати сучасний ємнісний датчик зазору між торцем різака та поверхнею листа.

Для плазмового різака (плазмотрона) передбачається реалізувати стабілізацію робочого зазору за напругою плазмової дуги, що є найбільш надійним і точним методом у сучасних системах плазмового різання.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування й вибір системи електропривода положення різака

На сьогодні в промисловості застосовують такі основні типи систем електропривода:

Система змінного струму з тиристорним регулятором напруги (ТРН-АД).

За умов автоматичного регулювання напруги зі зворотним зв'язком за швидкістю забезпечує діапазон регулювання частоти обертання до 10:1. Простота схеми керування дозволяє регулювати швидкість, формувати необхідні статичні та динамічні характеристики, а також покращувати енергетичні й техніко-економічні показники. До недоліків належать: необхідність складного налагодження, застосування тахометричного контролю швидкості, а також ускладнення передачі слабких сигналів у промислових умовах.

Система «генератор–двигун» (Г-Д).

Забезпечує діапазон регулювання швидкості 10:1 і має високі регулювальні характеристики. Проте відрізняється високою вартістю, підвищеними експлуатаційними витратами та необхідністю постійного технічного обслуговування. Це робить її малоефективною для сучасних застосувань.

Система постійного струму з тиристорним перетворювачем (ТП-Д).

Характеризується гарними регулювальними властивостями і діапазоном регулювання швидкості до 10:1. У певному діапазоні може працювати без тахогенератора. Проте має високу вартість встановленої потужності, складне налагодження та негативний вплив на якість електроенергії у мережі живлення (через гармоніки та пульсації струму).

Система з тиристорним (або транзисторним) перетворювачем частоти (ПЧ-АД).

При використанні асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором забезпечує дуже широкий діапазон регулювання швидкості – до 60:1, а також високі динамічні показники. Інші системи без тахометричного зворотного зв'язку не здатні досягти такого рівня.

Недоліки: висока вартість, утворення вищих гармонік, які погіршують якість електроенергії.

Вибір системи електропривода здійснюється на основі техніко-економічного порівняння з урахуванням таких факторів:

- діапазону регулювання швидкості;
- потужності приводу;
- надійності та ймовірності безвідмовної роботи;
- можливості автоматичного та дистанційного керування;
- складності монтажу й налагодження;
- умов експлуатації;
- капітальних та експлуатаційних витрат (включаючи витрати на електроенергію та технічне обслуговування).

Електродвигуни, встановлені на машинах термічного різання (МТР), працюють у складних умовах: підвищена температура, вологість, запиленість, агресивне середовище, а також різкі коливання температури й вологості. Режим їхньої роботи характеризується частими пусками й гальмуваннями, ударними навантаженнями та значними перевантаженнями.

На сучасному етапі найбільш перспективним є застосування системи електропривода на базі частотного перетворювача з асинхронним двигуном (ПЧ–АД). До переваг частотного регулювання асинхронних двигунів належать:

- отримання жорстких (стабільних) механічних характеристик;
- можливість плавного пуску та гальмування;
- низькі втрати в двигуні;
- висока надійність і простота обслуговування у порівнянні з двигунами постійного струму.

Аналіз досвіду розробки частотних перетворювачів у Україні та за кордоном (Японія, США, Німеччина, Франція, Росія) показав, що для електроприводів малої й середньої потужності найбільш доцільно використовувати перетворювачі на основі біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT).

Порівняно з тиристорами, IGBT-транзистори мають низку переваг:

- активне керування вмиканням і вимиканням (зокрема, стійкість до струмів короткого замикання);
- просту схему керування;
- короткий час перемикавання, що забезпечує низькі комутаційні втрати і менший рівень електромагнітних перешкод.

Таким чином, для розроблюваної системи автоматичної стабілізації положення різака найбільш доцільним є застосування асинхронного двигуна з частотним перетворювачем на базі IGBT-транзисторів.

2.2 Розробка структурної й функціональної схеми системи стабілізації положення різака

ТАК як система стабілізації висоти різаків машини термічного різання може функціонувати тільки зі зворотними зв'язками (як мінімум повинен бути зворотний зв'язок по положенню), розімкнута система електропривода не розглядається до використання. Одним з видів замкнених систем, що добре зарекомендували себе на практиці, є системи із загальним суматором і системи підлеглого регулювання координат.

Замкнені системи із загальним суматором часто не забезпечують перерегулювання по швидкості вище заданого, тому слід застосовувати більш перспективну систему підлеглого регулювання.

Переваги систем з підлеглим регулюванням:

- простота синтезу систем з будь-яким числом регульованих параметрів;
- можливість здійснення оптимальних законів керування кожним параметром окремо;
- можливість обмеження регульованих величин на заданому рівні.
- мала потужність керування регуляторами;
- можливість побудови різноманітних систем керування по агрегатному принципу;

– висока експлуатаційна надійність.

Функціональна схема електропривода системи стабілізації положення рiзака представлена на рис. 2.1.

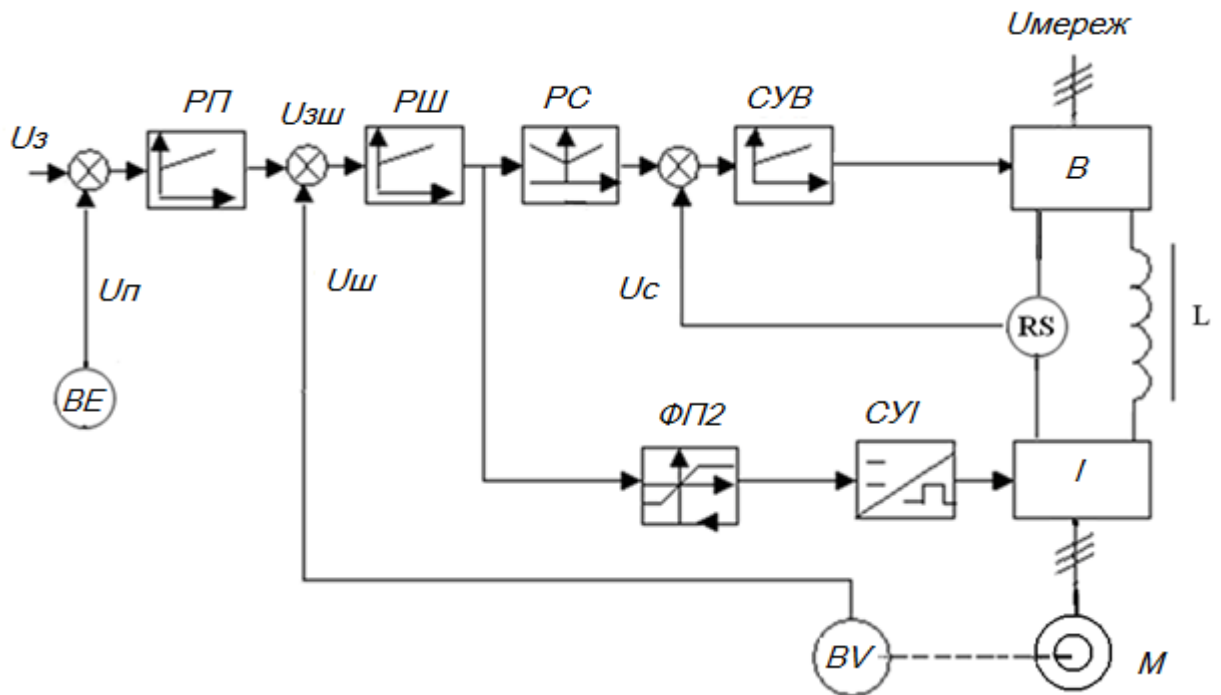


Рис. 2.1. Функціональна схема системи стабілізації положення рiзака

(розроблено автором)

Для лінеаризації структурної схеми і її спрощення, прийнемо ряд допущень:

- вихідна напруга перетворювача частоти синусоїдальне;
- в електродвигуні відсутні вихрові струми й інші нелінійні збурювання;
- двигун працює на лінійній частині механічної характеристики.

Складемо структурну схему системи електропривода, наведену до кола випрямленого струму. Враховуючи особливості розроблювальної системи стабілізації висоти, необхідно використовувати трьохконтурну систему з контурами струму, швидкості й положення.

З урахуванням прийнятих допущень структурна схема буде мати вигляд, показаний на рис. 2.2.

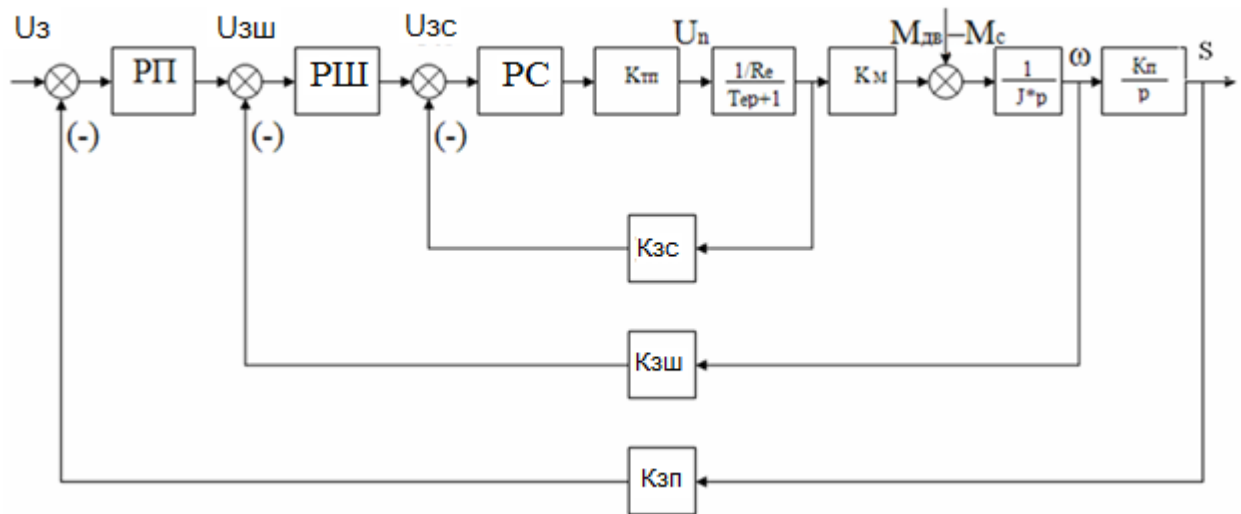


Рис. 2.2. Структурна схема трьохконтурної системи підлеглого регулювання

(розроблено автором)

2.3 Розрахунки потужності й вибір електродвигуна. Розрахунки механічних характеристик двигуна

Виконаємо розрахунок потужності двигуна електродвигуна стабілізації висоти різаків машини термічної різки.

Розраховуємо максимальну статичну потужність електродвигуна, необхідну для підйому максимально можливої ваги:

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{m \cdot 9,81 \cdot V_n}{\eta_m} = \\
 &= \frac{256 \cdot 9,81 \cdot 0,025}{0,81} = 77,5 \text{ Вт},
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

де m – вага встановленого встаткування, кг;

V_n – швидкість підйому, м/с;

η_m – ККД механізму (редуктора), в.о.

Враховуючи потужність електродвигуна й необхідну швидкість його обертання, вибираємо асинхронний електричний двигун змінного струму з

паспортними даними, наведеними в табл. 2.1. Заміна встановленого редуктора при цьому не потрібно.

Таблиця 2.1

Технічні дані електродвигуна 4A50A2УЗ

Параметри	Од. вим.	Значення
Номінальний момент	Н·м	0,3
Номінальна потужність	кВт	0,09
Номінальна частота обертання	об/хв	3000
Перевантаження по моменту	-	4,0
Момент інерції	кг·м ²	0,98·10 ⁻⁴
Температурна постійна часу	хв	60
Довжина	мм	174
Діаметр	мм	104
Номінальне ковзання двигуна	-	0,1
Маса	кг	3,3

Номінальна кутова швидкість двигуна рівна:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30}, \quad (2.2)$$

де n_n - номінальна частота обертання ротора.

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с}$$

Виконаємо перевірку обраного двигуна за умовами нагрівання й перевантажувальної здатності. Для перевірки електродвигуна по тепловому режиму скористаємося наступною формулою:

$$\frac{J_n}{1,2J_{\partial\partial}} < 2, \quad (2.3)$$

у нашому випадку маємо $\frac{1,25 \cdot 0,0792}{1,2 \cdot 0,0792} = 1,042 < 2$, значить за умовами нагрівання двигун обраний правильно.

Перевірку на перевантажувальну здатність робимо за умовою:

$$1,05M_{\text{макс.нав.}} \leq (0,8 \div 0,9)M_{\text{макс.дв.}}, \quad (2.4)$$

де 1,05 – коефіцієнт, що враховує можливі піки моменту при пуску;

$$M_{\text{макс.нав.}} = \frac{P_c}{\omega_n} = \frac{77,5}{314} = 0,247 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad - \quad \text{максимально можливий статичний}$$

момент, Н·м;

(0,8 ÷ 0,9) – коефіцієнт, що враховує зменшення максимального моменту при зниженні напруги на затисках двигуна;

$M_{\text{макс.дв.}}$ – максимальний момент електродвигуна, Н·м.

Тоді:

$$1,05 \cdot 0,247 < 3,6 \cdot 0,287 \quad \text{або} \quad 0,259 \text{ Н} \cdot \text{м} < 1,033 \text{ Н} \cdot \text{м}., \quad (2.5)$$

Так як всі умови виконуються, двигун обраний правильно.

Розрахунки механічних характеристик двигуна. Для побудови сімейства механічних характеристик застосуємо формулу Клоса:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}, \quad (2.6)$$

де $M_{кр} = \lambda_m \cdot M_n = 4 \cdot 0,287 = 1,148 \text{ Нм}$ - критичний момент двигуна;

$S_{кр} = S_n \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right) = 0,1 \cdot \left(4 + \sqrt{4^2 - 1} \right) = 0,587$ - критичне ковзання двигуна.

Підставивши в (2.7) відповідні значення, одержуємо вираження

$$M = \frac{2 \cdot 1,148}{\frac{S}{0,587} + \frac{0,587}{S}}, \quad (2.7)$$

підставляючи значення ковзання $S = 0 \dots 1$ в останнє вираження, одержуємо графік механічної характеристики розімкнутої системи електропривода (рис. 2.3).

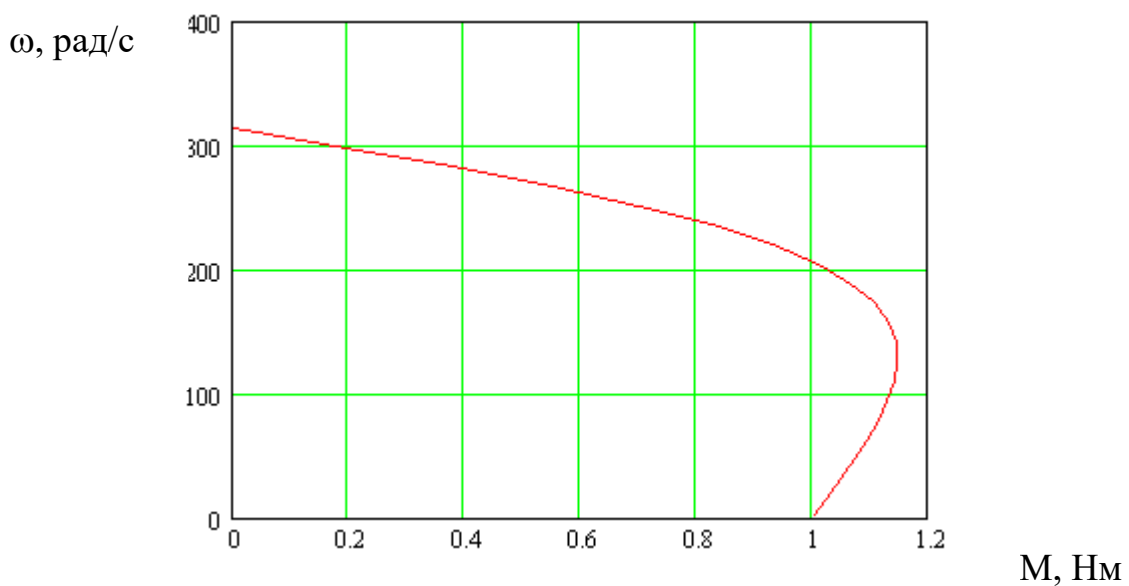


Рис. 2.3. Графік природньої механічної характеристики розімкнутої системи електропривода
(розроблено автором)

2.4 Вибір перетворювача частоти

Для регулювання швидкості обраного асинхронного двигуна необхідно використовувати сучасний перетворювач частоти (ПЧ). При виборі ПЧ повинні виконуватися наступні умови:

1. Номінальна вихідна напруга ПЧ повинна відповідати номінальній напрузі двигуна:

$$U_{\text{ПЧ.ном}} \geq U_{\text{дв.ном}} \quad (2.6)$$

2. Номінальний вихідний струм ПЧ повинен бути не меншим за номінальний струм двигуна:

$$I_{\text{ПЧ.ном}} \geq I_{\text{дв.ном}} \quad (2.7)$$

Для регулювання швидкості двигуна 4A50A2Y3 ($P_n = 0,09$ кВт, $U_n = 220/380$ В, $I_n \approx 0,5$ А при з'єднанні "трикутник" на 220 В) вибираємо частотний перетворювач SINAMICS V20 виробництва компанії Siemens.

Відповідність умовам: Для двигуна потужністю 0.09 кВт оптимально підходить модель найменшої потужності з лінійки.

Придатність для складних умов: Конструкція V20 забезпечує стійкість до коливань температури, пилу та вологості, що критично важливо для експлуатації в цеху металоконструкцій.

Функціональність: Має вбудований ПД-регулятор, що ідеально підходить для системи стабілізації положення (контур положення-швидкості), плавний пуск/гальмування, захисні функції.

Технічні дані обраної моделі SINAMICS V20 (0.12 кВт, 1-ф/3-ф, 200-240 В):

Потужність: 0.12 кВт (0.16 к.с.)

Вхідна напруга: 1~ 200-240 В (-15% / +10%), 50/60 Гц

Вихідна напруга: 3~ 0 – Вх. напруга

Номінальний вихідний струм ($I_{\text{ПЧ.ном}}$): 1.0 А

Максимальний вихідний струм: 1.4 А (перевантаження 40% протягом 3 с)

Діапазон регулювання вихідної частоти: 0 – 650 Гц

Керування: Скалярне (U/f), векторне без датчика (SLVC)

Вбудовані функції:

– вбудований ПД-регулятор із двома налаштуваннями;

- 5 діапазонів часу розгону/гальмування (0.1 – 3600 с);
- компенсація ковзання;
- плавний пуск/гальмування, DC-інгібіція;
- підтримка обертання.

Захисні функції:

- захист від короткого замикання двигуна;
- захист від перевантаження (I^2t);
- захист від перенапруги/недонапруги;
- захист від перегріву;
- захист двигуна від заблокованого ротора.

Керуючі входи/виходи:

3 цифрові входи (DI);

1 аналоговий вхід (AI, 0-10 В);

1 релейний вихід (RLY);

1 аналоговий вихід (АО, 0-20 мА).

Інтерфейс: Вбудований операторський пульт ВОР.

Кліматичне виконання: Температура оточення -10...+50 °С

ККД: > 95%.

Ступінь захисту: IP20.

Перевірка умов вибору:

1. $U_{\text{пч.ном}} (200-240 \text{ В}) \geq U_{\text{дв.ном}} (220 \text{ В})$ – умова виконується.
2. $I_{\text{пч.ном}} (1.0 \text{ А}) \geq I_{\text{дв.ном}} (\approx 0.5 \text{ А})$ – умова виконується з запасом.

Запас по струму дозволить надійно працювати в режимах короткочасних перевантажень, характерних для системи позиціонування.

Спрощена функціональна схема підключення перетворювача SINAMICS V20 в системі наведена на рис. 2.4. ПЧ отримує задання швидкості (аналогова напруга 0-10 В) від блока керування системи стабілізації та живить трифазною напругою змінної частоти асинхронний двигун вертикального переміщення. Цифрові входи (DI) можуть бути використані для команд "Пуск/Стоп", реверсу

або вибору попередньо заданих швидкостей, а виходи – для сигналізації про аварію або досягнення заданої швидкості.

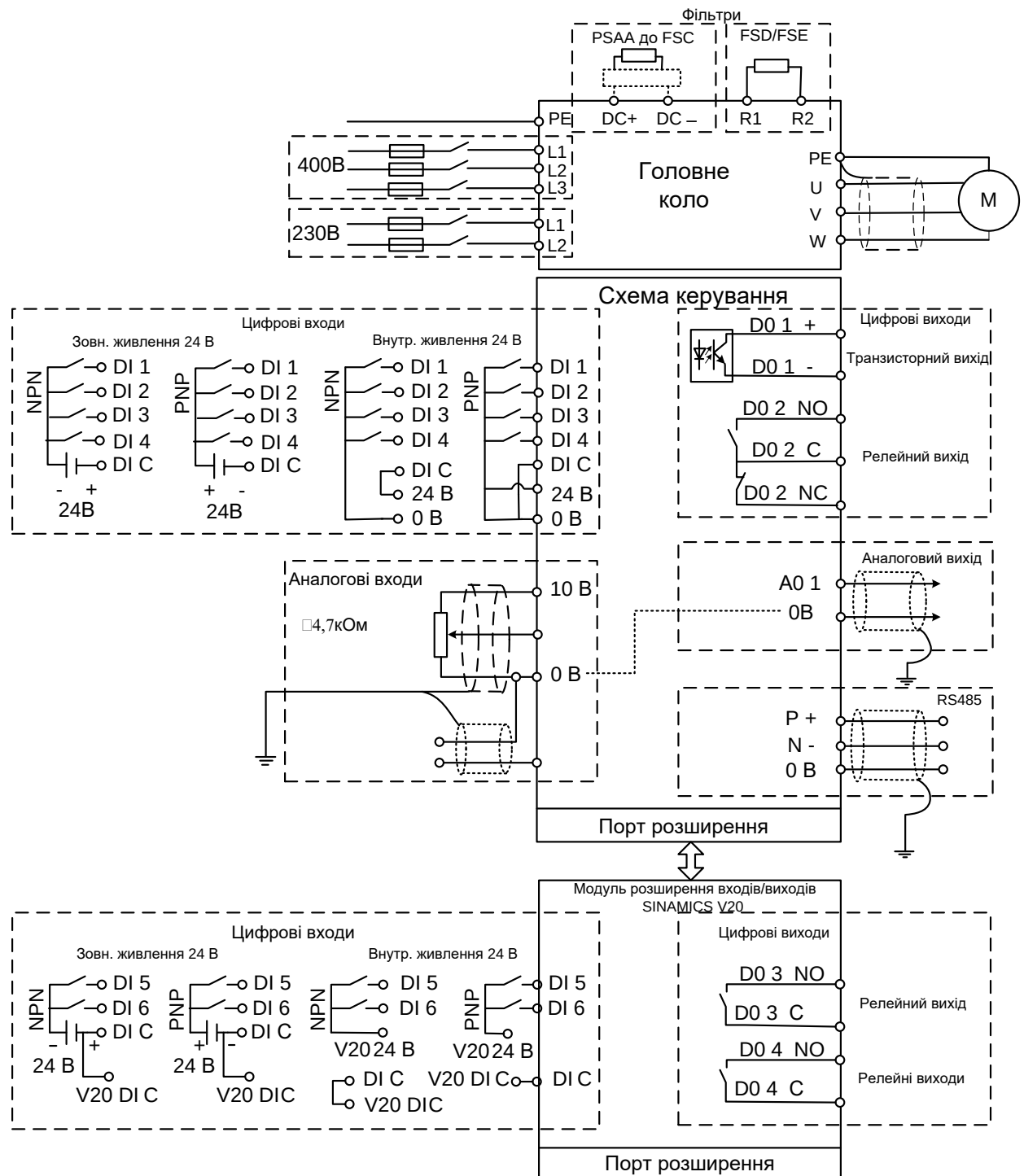


Рис. 2.4. Спрощена функціональна схема підключення частотного перетворювача SINAMICS V20 в системі стабілізації

Таким чином, обраний перетворювач частоти SINAMICS V20 повністю відповідає технічним вимогам електропривода, забезпечує необхідну

функціональність для реалізації системи підлеглого регулювання та є сучасною, надійною і широко доступною на ринку моделлю.

2.5 Вибір датчиків швидкості й положення різака

У якості датчика швидкості використовується оптичний датчик обертання AEAS-7000 виробництва компанії Agilent Technologies. Зовнішній вигляд датчика наведено на рис.2.5.



Рис. 2.5. Датчик AEAS-7000 [3]

AEAS-7000 є найкомпактнішим промисловим високошвидкісним датчиком положення із підтримкою технології plug-and-play. Його застосування дозволяє скоротити час монтажу промислових систем автоматизації удвічі та знизити витрати приблизно на 40 %.

Основні особливості AEAS-7000:

- малі габарити, що спрощує застосування в умовах обмеженого простору;
- п'ять варіантів роздільної здатності в одному корпусі;
- послідовний вихід даних із тактовою частотою 16 МГц для підтримки високошвидкісних застосувань, таких як сервоприводи із частотою обертання до 12 000 об/хв;

- автоматичне визначення старших і молодших значущих розрядів (MSB і LSB);
- корекція коду Грея на ± 1 молодший значущий розряд, що зменшує похибку регулювання;
- чотирипровідний синхронний послідовний інтерфейс.

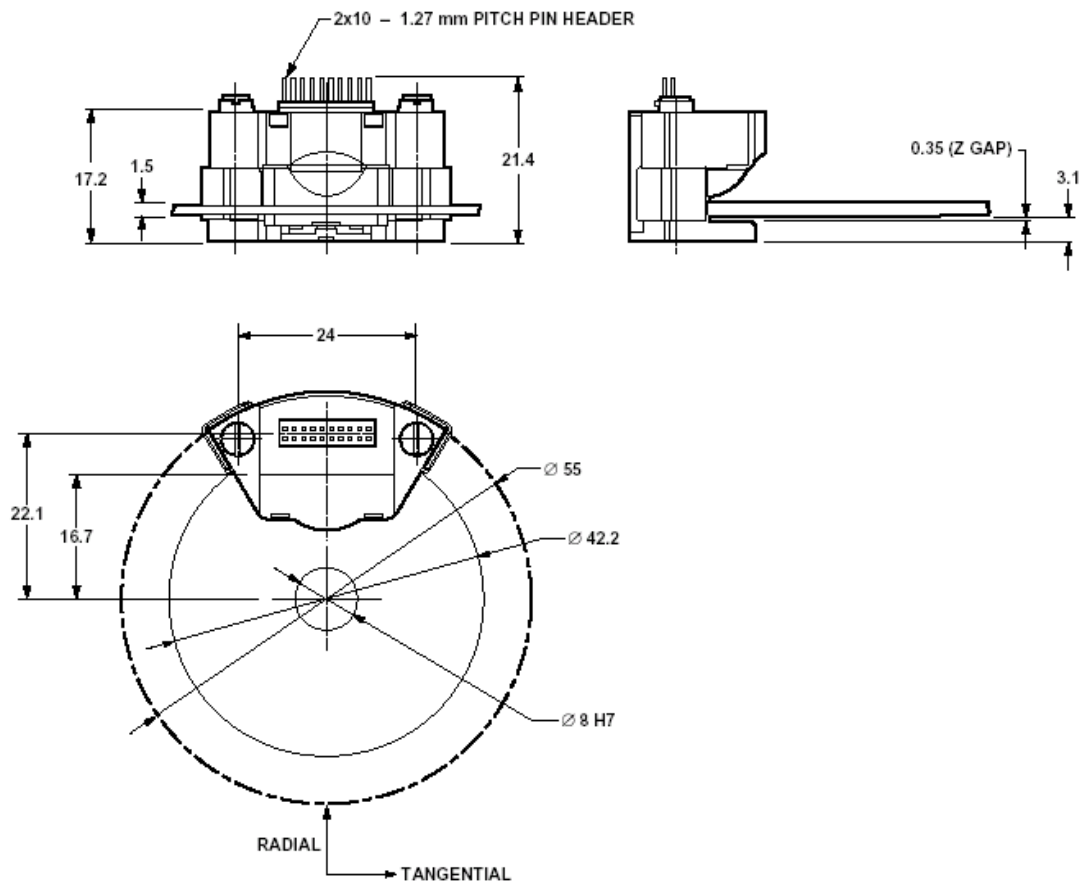


Рис. 2.6. Габаритні розміри оптичного датчика AEAS-7000 [3]

Сигнал з оптичного датчика надходить на перетворювач AEAS-7034SA, де формується аналогова напруга, пропорційна кутовій швидкості обертання електродвигуна.

У якості датчика положення використовується сучасний ємнісний датчик висоти DL-117 виробництва фірми GEME (Німеччина), який застосовується на закордонних машинах термічного різання [4]. Чутливий елемент датчика виготовлений із латуні та показаний на рисунку 2.7.

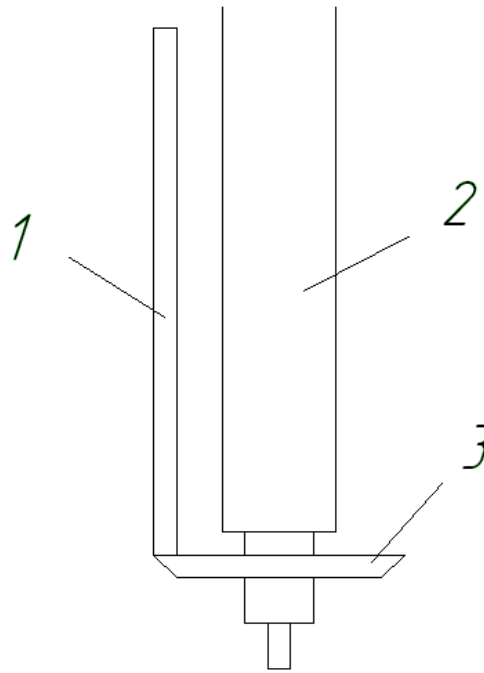


Рис. 2.7. Чутливий елемент датчика висоти й кисневий різак:

1 – ніжка чутливого елемента; 2 – кисневий різак; 3 – кільце Ø60 мм чутливого елемента

(розроблено автором)

Сигнал із чутливого елемента надходить у блок формування аналогового сигналу висоти, де формується вихідна напруга. Блок живиться постійною напругою 12 В. Величина вихідної напруги змінюється в межах від 0 до 10 В. При збільшенні відстані понад 150 мм над аркушем вихідна напруга залишається сталою й дорівнює 10 В. Починаючи з 150 мм, напруга зменшується до нуля за лінійним законом. Вихідна напруга датчика висоти є вхідним сигналом для пристрою стабілізації (ПС).

Для плазмового різача окремий датчик не потрібен. Напруга плазмової дуги під час різання змінюється залежно від відстані між плазмотроном і поверхнею аркуша. Струм підтримується постійним завдяки наявності зворотного зв'язку за струмом у апараті плазмового різання АПР-404. Пропонується використовувати напругу плазмової дуги як вхідний сигнал для розробленого пристрою стабілізації шляхом зниження сигналу через дільник напруги.

У ході експериментальних досліджень було встановлено, що оптимальна відстань між плазмотроном і листом становить приблизно 25 мм, при цьому напруга плазмової дуги дорівнює 180 В. Максимальна напруга під час різання – 200 В. Для забезпечення стандартного вхідного сигналу (0 -10 В) для пристрою стабілізації необхідно застосувати дільник напруги із коефіцієнтом ослаблення 20. Принципова схема такого дільника наведена на рис. 2.8.

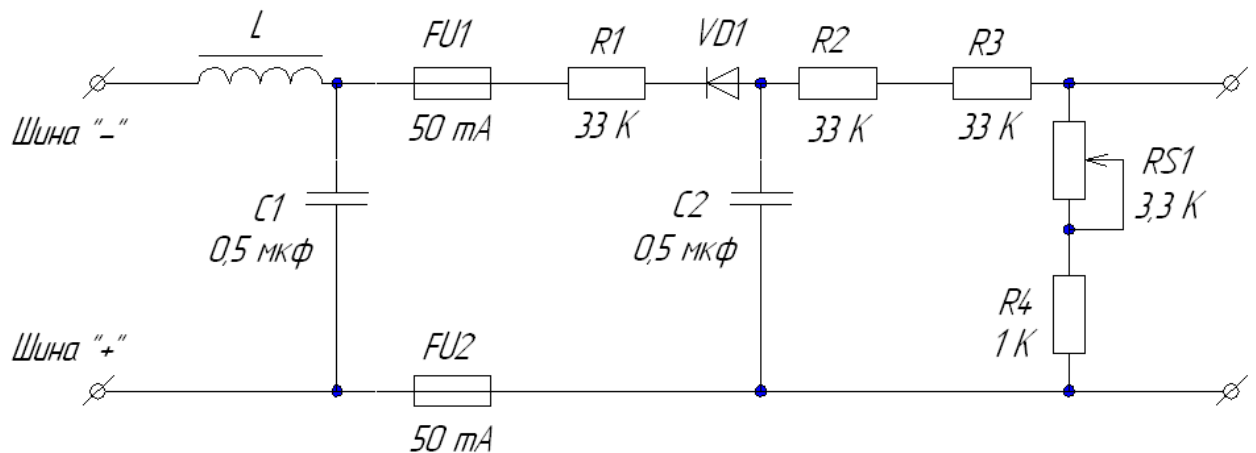


Рис. 2.8. Електрична принципова схема дільника напруги
(розроблено автором)

2.6 Розробка пристрою стабілізації положення різача

2.6.1 Обґрунтування вибору апаратної реалізації пристрою стабілізації

При проєктуванні пристрою стабілізації положення різача постало питання вибору елементної бази: використати сучасний мікроконтролер або класичну схемотехніку на базі мікросхем TTL-логіки. Попри те, що мікроконтролери є більш гнучкими у програмуванні та можуть виконувати складні алгоритми, для даного застосування було прийнято рішення використати апаратну реалізацію на дискретних мікросхемах. Це рішення ґрунтується на комплексному аналізі умов експлуатації обладнання, технічних вимог та економічних факторів.

Машини термічного різання експлуатуються в надзвичайно складних умовах виробничого середовища. У цеху металоконструкцій постійно присутні високі температури від процесів різання та зварювання, значна концентрація

металевого пилю у повітрі, а також потужні джерела електромагнітних перешкод – плазмові різакі, зварювальні апарати, силові електродвигуни. У таких умовах мікросхеми TTL-логіки демонструють значно вищу стійкість порівняно з мікроконтролерами. Крім того, відсутність програмного забезпечення повністю виключає можливість збоїв через пошкодження прошивки внаслідок електромагнітних імпульсів або несанкціонованого втручання.

Важливим фактором є швидкодія системи. Апаратна логіка на TTL-мікросхемах забезпечує обробку сигналів з мінімальними затримками на рівні наносекунд. На відміну від мікроконтролерних систем, де час реакції залежить від завантаженості процесора та циклів опитування периферії, апаратна схема працює паралельно та детерміновано. Це критично важливо для системи стабілізації, оскільки при максимальній швидкості різання 6000 мм/хв (100 мм/с) навіть затримка у кілька мілісекунд може призвести до відхилення різаків від оптимальної висоти та погіршення якості різки.

Суттєвою перевагою апаратної реалізації є простота технічного обслуговування. Персонал цеху металоконструкцій має багаторічний досвід роботи з релейно-контактною апаратурою та аналоговими електронними схемами. Електромеханіки та налагоджувальники вміють працювати з мультиметрами та осцилографами, можуть швидко локалізувати несправність за допомогою звичних методів діагностики. Для ремонту схеми на мікросхемах не потрібні програматори, спеціалізоване програмне забезпечення чи кваліфікація програміста – достатньо базових знань електроніки та вміння читати принципові схеми.

З економічної точки зору використання мікросхем також є виправданим. Вартість необхідних компонентів TTL-логіки значно нижча за промисловий контролер відповідного класу надійності. На складі підприємства вже є запаси стандартних мікросхем серії K155, K176, які використовуються в інших системах автоматизації цеху. Це дозволяє уникнути додаткових витрат на закупівлю та зберігання специфічних компонентів. Крім того, відпадає необхідність у

додаткових витратах на розробку програмного забезпечення, його налагодження та підтримку протягом життєвого циклу обладнання.

Ремонтопридатність системи на дискретних мікросхемах є безперечною перевагою. Модульна структура схеми дозволяє швидко ідентифікувати та замінити вихідшу з ладу мікросхему без необхідності заміни всього блоку керування. Мікросхеми є стандартними компонентами, представленими на ринку багатьма виробниками, що гарантує їх доступність навіть через десятиліття експлуатації. Час простою обладнання при заміні несправної мікросхеми становить лише 10-15 хвилин, тоді як ремонт або заміна мікроконтролерного модуля може зайняти години або навіть дні, якщо потрібне програмування.

Важливим аспектом є сумісність з існуючою системою числового програмного керування. Машина ПКПЛЦ оснащена системою ЧПК 2P32, яка побудована на аналогічній елементній базі – мікросхемах TTL-логіки та аналогових компонентах. Використання подібної елементної бази для пристрою стабілізації забезпечує повну уніфікацію рівнів сигналів та інтерфейсів, що значно спрощує інтеграцію нових вузлів у існуючу систему. Не виникає проблем із узгодженням протоколів обміну даними, перетворенням рівнів сигналів чи синхронізацією роботи різних підсистем.

Аналіз функцій, які має виконувати пристрій стабілізації, показує відсутність необхідності у складних математичних обчисленнях, які б виправдовували використання мікропроцесора. Завдання пристрою обмежуються логічними операціями (аналіз стану кінцевих вимикачів, команд оператора, формування сигналів дозволу), порівнянням аналогових величин (контроль висоти за сигналом датчика) та формуванням аналогових керуючих сигналів. Складні алгоритми регулювання, включно з ПІД-законом, реалізовані безпосередньо у частотному перетворювачі SINAMICS V20, який має вбудований ПІД-регулятор. Таким чином, пристрій стабілізації виконує лише функції препроцесора сигналів та логічного керування, що цілком реалізується засобами комбінаційної та послідовної логіки на мікросхемах.

Питання безпеки експлуатації також грає на користь апаратної реалізації. Блокування небезпечних режимів роботи (наприклад, блокування руху при спрацьовуванні кінцевих вимикачів) реалізовані апаратно на рівні логічних елементів. Це виключає можливість їх обходу через програмні помилки, зловмисне втручання або збій програмного забезпечення. Крім того, відмовостійкість системи на дискретних компонентах є вищою: вихід з ладу однієї мікросхеми може призвести до відмови окремої функції, але не блокує повністю всю систему, тоді як відмова мікроконтролера означає повну втрату працездатності. З точки зору промислової безпеки та сертифікації обладнання, апаратні системи блокувань є більш прозорими для перевірки та легше проходять процедури затвердження регулюючими органами.

Таким чином, використання мікросхем TTL-логіки для побудови пристрою стабілізації положення різака є оптимальним технічним рішенням, яке забезпечує високу надійність роботи в складних промислових умовах, детерміновану швидкодію, простоту технічного обслуговування силами штатного персоналу підприємства та економічну ефективність. Це рішення повністю відповідає специфіці експлуатації обладнання на промисловому підприємстві металургійної галузі та забезпечує максимальну сумісність із існуючими системами автоматики машини термічного різання.

2.6.2 Розробка функціональної схеми пристрою стабілізації

Пристрій стабілізації (ПС) призначений для формування двополярної напруги постійного струму, яка є «завданням» для частотного привода, на основі сигналів, що надходять:

- з пульта управління (ПУ);
- від датчика висоти (ДВ);
- від кінцевих вимикачів верхнього (КВ) і нижнього (КН) положень;
- а також для формування сигналу дозволу роботи привода.

Робота ПС розглядається відповідно до функціональної схеми.

ПС складається з:

- вузла захисту від перешкод (ВПЗ);
- вузла пам'яті (ВП);
- вузла формування сигналів датчика (ВФСД);
- вузла формування завдання (ВФЗ).

ПС функціонує таким чином:

Команди з ПУ, а також сигнали від кінцевих вимикачів КВ і КН надходять на ВПЗ і далі розподіляються:

команди «НАГОРУ», «ВНИЗ», «СТОП» передаються в ВП, де формуються сигнали «Р.НАГОРУ» та «Р. ВНИЗ»;

сигнали «КВ» і «КН» надходять у ВФЗ, де при необхідності блокується формування «ЗАВДАННЯ» шляхом знімання сигналу «ДОЗВОЛУ».

Сигнали від датчика висоти (ДВ) надходять у ВФСД, де виділяється інформація для ВФЗ і ВП. Остаточне формування «завдання» відбувається у вузлі ВФЗ на основі сигналів з ВФСД і ВП.

Вузол захисту від перешкод (ВПЗ) виконаний на транзисторах V1–V5 і логічних елементах D1.1–D1.3, D3.1–D3.4. Він призначений для формування командних сигналів у ТТЛ-рівні та захисту їх від електромагнітних перешкод.

Для прикладу розглянемо формування команди «СТОП». За відсутності команди «СТОП» (тумблери «НАГОРУ» і «ВНИЗ» не замкнені в положенні «СТОП») транзистор V1 відкритий і насичений, на його колекторі напруга «0», а на виході елемента D1.1 – логічна «1», що свідчить про відсутність команди «СТОП».

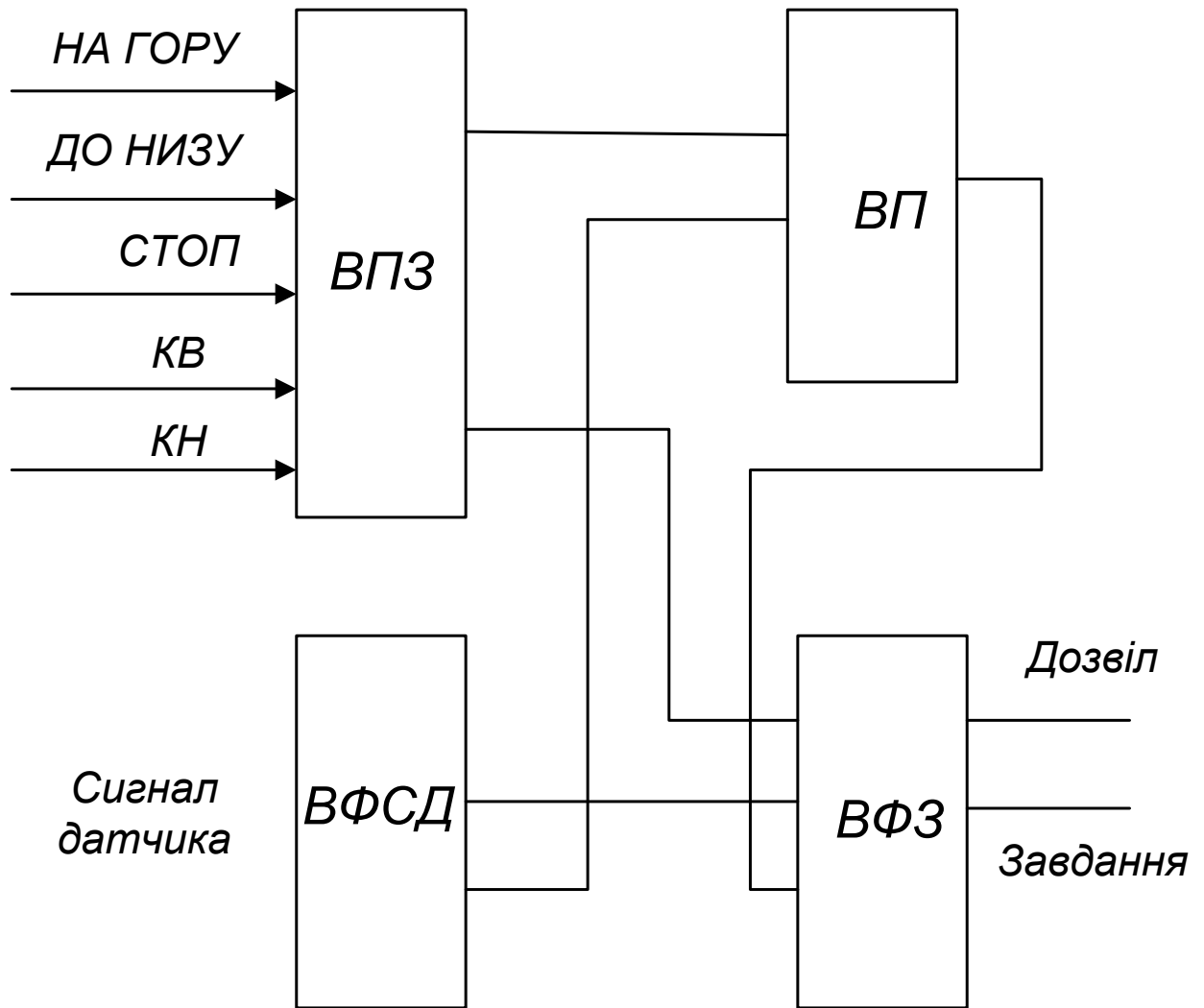


Рис. 2.9. Функціональна схема пристрою стабілізації
(розроблено автором)

При подачі команди «стоп» транзистор V1 запирається, на його колекторі з'являється напруга «1», а на виході D1.1 – логічний «0», що вказує на наявність команди. Захист від перешкод реалізовано за допомогою RC-кола в колі керування базою V1 (R2, C1) та низького входного опору ($R1 = 200 \text{ Ом}$) щодо джерела +24 В.

Крім того, ВПЗ формує команду на примусову установку системи у вихідне положення («СТОП») під час увімкнення живлення. Цю функцію виконує ланцюг на елементах D1.2, D1.3, R3, R4, C2, який генерує короткочасний імпульс «0» у точці D1.3(10) при подачі живлення — аналогічний подачі команди «стоп».

Вузол пам'яті (ВП) виконаний на елементах D6.1, D6.2, D1.4, D2.1, D2.4, D4.1. Він призначений для:

- запам'ятовування команд, поданих оператором з ПУ;
- формування сигналів «Р.НАГОРУ» та «Р. ВНИЗ»;
- зберігання режиму роботи ПС (автоматичний або ручний).

Сигнал «Р.НАГОРУ» формується тригером на елементах D6.1 і D1.4 при отриманні команди «НАГОРУ», а сигнал «Р. ВНИЗ» – тригером на D6.2 і D2.1 при команді «ВНИЗ». Обидва сигнали скидаються при надходженні команди «СТОП».

Стан тригерів вузла пам'яті наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Стан тригерів вузла пам'яті

Формований сигнал	D6.1(6)	D6.2(8)
«Р.нагору»	0	1
«Р. ВНИЗ»	1	0

Правильна робота вузла забезпечується блокуваннями, що виключають одночасну появу взаємовиключних сигналів. Наприклад, при встановленні тригера D6.1/D1.4 у стан «Р.НАГОРУ», команда одночасно подається на вхід тригера D6.2(12), що призводить до скидання сигналу «Р. ВНИЗ». Аналогічно працює зворотний механізм для сигналу «Р.НАГОРУ».

У вузол пам'яті також надходить із ВФСД сигнал «ВІДРИВ» (на вхід D6.2(10)). Зникнення цього сигналу (перехід у «0») скидає «Р. ВНИЗ» і перемикає тригер на елементах D2.4 і D4.1 у автоматичний режим.

Вузол формування сигналів датчика (ВФСД) виконаний на елементах A1, A2, D3.5. Він перетворює аналоговий сигнал датчика висоти (0–10 В) у керуючу напругу для ВФЗ та формує логічний сигнал «відрив».

Формування сигналу «відрив» здійснюється за допомогою компаратора A1: на його вхід (2) через резистор R64 подається сигнал «вниз датчик», який

порівнюється з опорною напругою від дільника R31–R32. При перевищенні порогу на виході D3.5(8) формується сигнал «1», який надходить у ВП.

Вузол формування завдання (ВФЗ) призначений для формування аналогового «завдання» швидкості переміщення та сигналу дозволу роботи частотного привода. Він виконаний на елементах D2.2, D2.3, D4.2, D4.3, D5.1, D3.6, D6, A3, A4, V6, V7.

Функціонування ВФЗ може відбуватися в трьох режимах:

Автоматичний – формування «завдання» за сигналом ВФСД;

Ручний – формування «завдання» за сигналом ВП;

Блокування – при спрацьовуванні кінцевих вимикачів КВ або КН.

Транзистори V6 відсікають аналоговий сигнал за командами з ВП, а транзистор V7 – за сигналом з ВФСД.

Якщо хоча б один із сигналів («АВТОМАТ», «Р.НАГОРУ», «Р. ВНИЗ») надходить на входи D5.1, на виході D3.6(8) формується «1», який подається на D6. За умови наявності високого рівня на всіх входах D6, на його виході формується сигнал «1», що дозволяє роботу частотного привода.

Сигнали «КВ» і «КН» блокують формування «ЗАВДАННЯ» у разі збігу напрямку руху з положенням відповідного кінцевого вимикача.

2.6.3 Розробка алгоритму

На рис. 2.11 наведено блок-схему алгоритму роботи пристрою стабілізації.

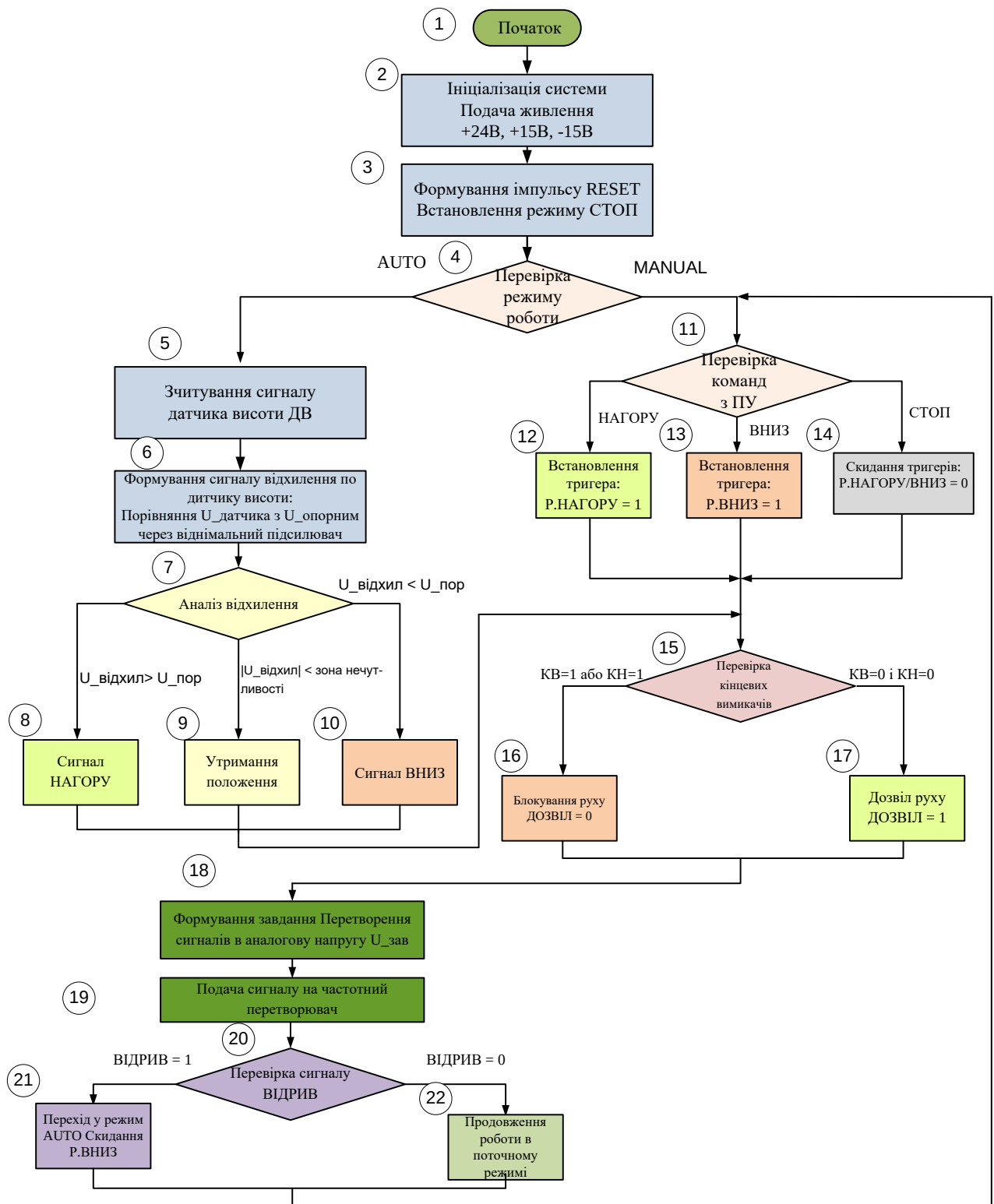


Рис. 2.11.Блок-схема алгоритму роботи пристрою стабілізації
(розроблено автором)

2.7 Моделювання системи стабілізації положення рiзака

У розробленій системі стабілізації положення рiзака асинхронний двигун працює виключно на лінійній ділянці механічної характеристики (див. рис. 2.3), оскільки:

1. Обмежений діапазон швидкостей: Система забезпечує вертикальне переміщення рiзака зі швидкістю не менше 0,025 м/с (розділ 1.4), що відповідає роботі двигуна в діапазоні 80–100% від номінальної швидкості.

2. Характер навантаження: Момент опору визначається переважно вагою обладнання (рiзака, супорта) та силами тертя в механічній передачі, і практично не змінюється під час роботи. Динамічні навантаження відсутні.

3. Частотне керування: Застосування частотного перетворювача SINAMICS V20 (п. 2.4) забезпечує підтримку постійного магнітного потоку та лінійну залежність між керуючою напругою і швидкістю обертання.

За цих умов на лінійній ділянці механічної характеристики (при ковзанні $s \ll s_{кр}$) асинхронний двигун має властивості, аналогічні двигуну постійного струму з незалежним збудженням (ДПТ НЗ) [5-11]:

- лінійна залежність моменту від струму: $M \approx k \cdot I$;
- лінійна залежність швидкості від напруги при постійному навантаженні;
- можливість застосування класичних методів синтезу систем підлеглого регулювання.

Тому для спрощення математичної моделі та синтезу регуляторів у системі з підлеглим регулюванням координат (п. 2.2) асинхронний двигун представлено еквівалентною моделлю ДПТ НЗ з відповідними параметрами:

Здійснимо розрахунки, необхідні для моделювання системи.

Електромагнітна постійна часу дорівнює

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,002}{0,215} = 0,009с, \quad (2.8)$$

де L_e, R_e - відповідно, еквівалентні величини індуктивності й активного опору електричного кола.

Коефіцієнт моменту

$$K_M = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{M_H}{I_H} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{0,287}{0,9} = 0,261 \text{ Нм / А.} \quad (2.9)$$

Передатна функція розімкнутого контуру струму визначається як

$$W_{зс}(p) = K_{mn} \frac{1/R_\Sigma}{T_e p + 1} K_{зс}, \quad (2.10)$$

де $K_{тп}$ - коефіцієнт підсилення перетворювача;

$K_{зс}$ - коефіцієнт підсилення зворотнього зв'язку по струму,

$$K_{тп} = U_c / 5 = 220 / 5 = 44; \quad (2.11)$$

$$K_{зс} = 5 / I_{\max} = 5 / 2I_H = 5 / (2 \cdot 0,9) = 2,778 \text{ В/А.}$$

Передатна функція регулятора струму, побудованого по модульному оптимуму, має вигляд:

$$W_{pc}(p) = \frac{(T_e p + 1) R_\Sigma}{2 T_\mu p K_{mn} K_{зс}} = \frac{(0,009 p + 1) 0,215}{2 \cdot 0,01 \cdot 44 \cdot 2,778} = 0,011 + \frac{1,8 \cdot 10^{-4}}{p}, \quad (2.12)$$

де T_μ – некомпенсуєма постійна часу.

Розрахуємо зовнішній контур швидкості, у зв'язку із твердими технологічними вимогами відносно підтримки швидкості системи стабілізації, контур регулювання швидкості вибирається з оптимізацією по симетричному оптимуму. Передатна функція регулятора швидкості, побудованого по симетричному оптимуму:

$$\begin{aligned}
 W_{pi}(p) &= \frac{K_{ззс} T_M \kappa_e p (4T_{\mu c} p + 1)}{8T_{\mu c}^2 p^2 K_{ззш} R_{\Sigma}} = \\
 &= \frac{12,5 \cdot 0,223 \cdot 0,292 \cdot p (4 \cdot 0,01 p + 1)}{8 \cdot 0,01^2 \cdot p^2 \cdot 0,012 \cdot 0,215} = \\
 &= 15774,225 + \frac{394355,62}{p}.
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

При цьому коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості

$$K_{ззш} = 5/\omega_{\max} = 5/\omega_0 = 5/314 = 0,016 \text{ В}\cdot\text{с/рад}. \tag{2.14}$$

Передатна функція регулятора положення, побудованого по модульному оптимуму, має вигляд

$$W_{pn}(p) = \frac{K_{ззш}}{8T_{\mu} K_n K_{ззп}} = \frac{0,016}{8 \cdot 0,01 \cdot 6,63 \cdot 10^{-6} \cdot 200} = 113,122, \tag{2.15}$$

де $K_{ззп}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку по положенню, рівний

$$K_{ззп} = 5/v_{\max} = 5/0,025 = 200 \text{ В}\cdot\text{с/м}.$$

Для одержання якісних характеристик системи ЕП скористаємося моделлю, побудованою на базі блоків Simulink. Зазначена модель системи електропривода представлено на рис. 2.12

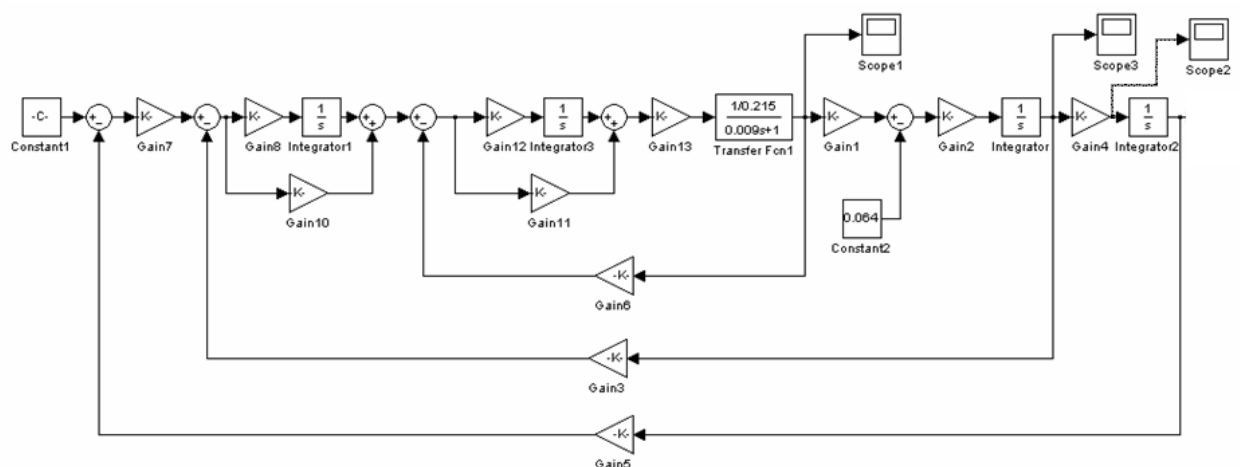


Рис. 2.12. імітаційна модель для дослідження системи ЕП
(розроблено автором)

Характер отриманого перехідного процесу по струму при пуску наведено рис. 2.13. Графіки перехідних процесів по швидкості обертання ротора двигуна й лінійної швидкості переміщення представлені, відповідно на рис. 2.14 і 2.15.

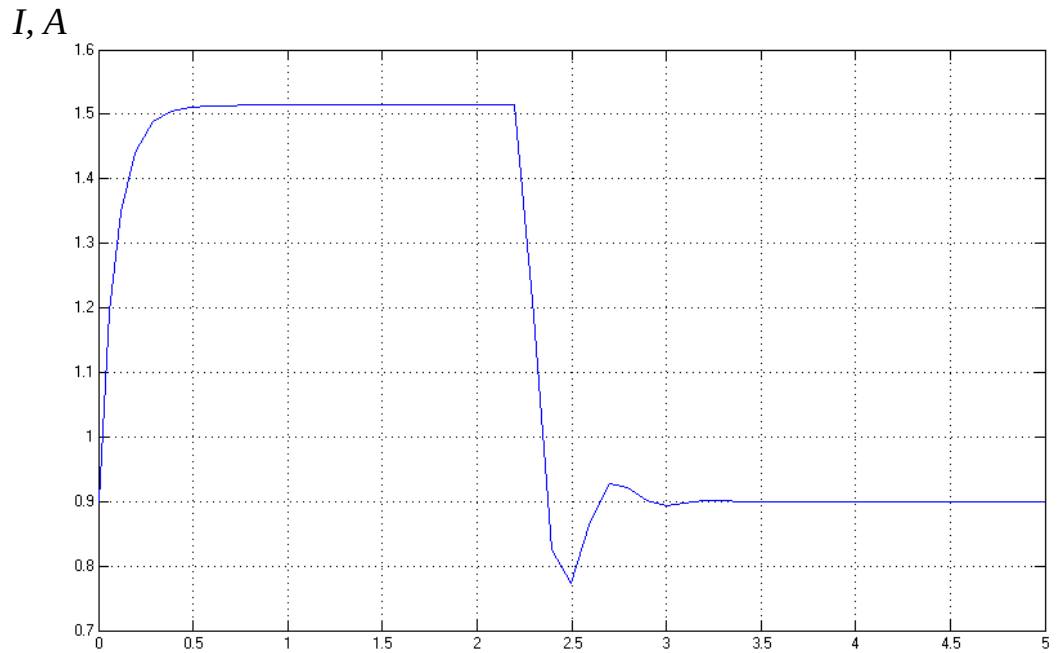


Рис. 2.13. Графік перехідного процесу по струму t, c
(розроблено автором)

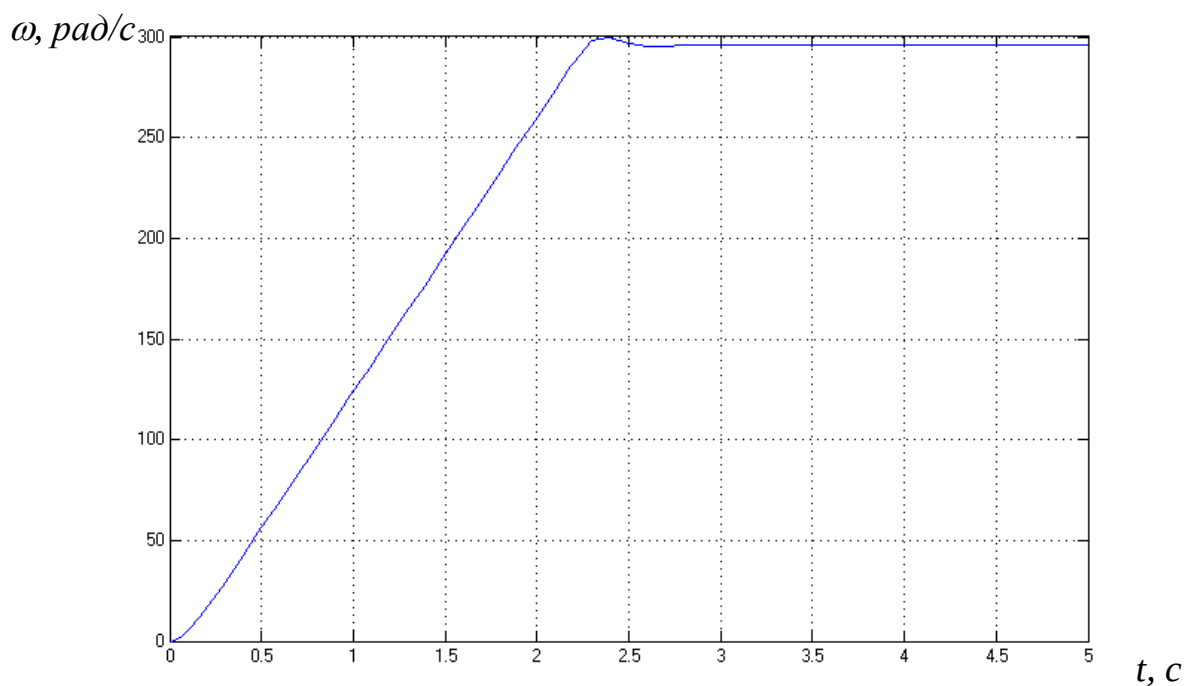


Рис. 2.14. Графік перехідного процесу по швидкості обертання
електродвигуна
(розроблено автором)

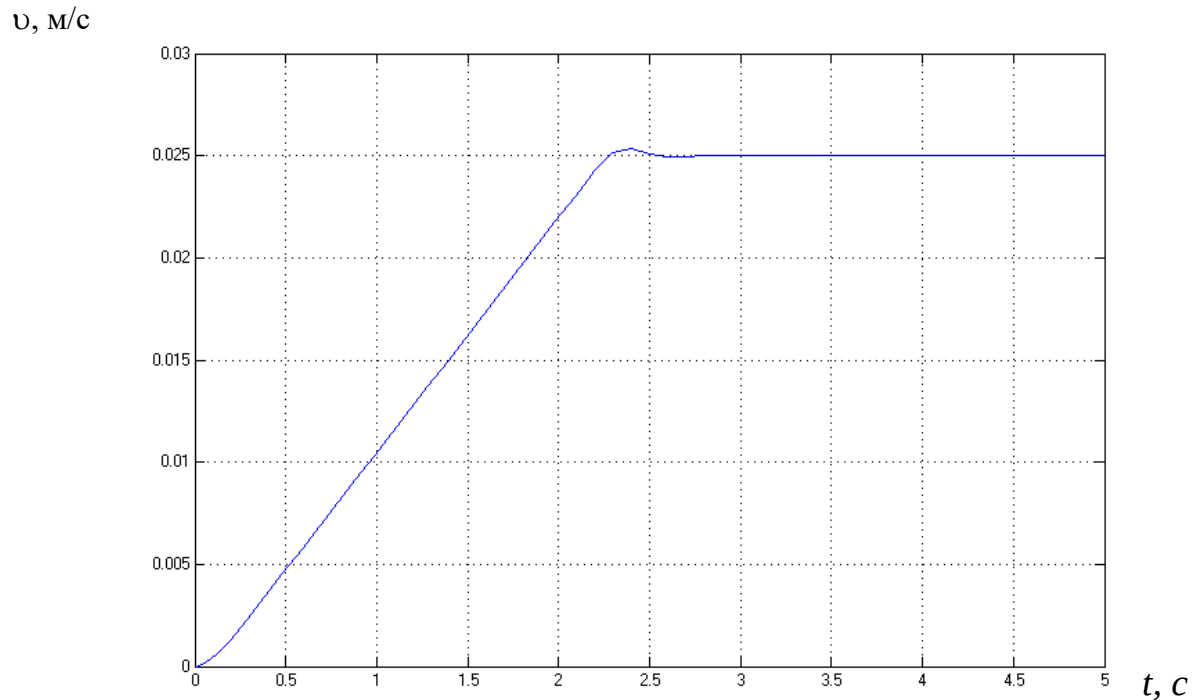


Рис. 2.15. Графік перехідного процесу по лінійній швидкості переміщення
(розроблено автором)

З наведених на рис. 2.13 – 2.15 графіків перехідних режимів електромеханічної системи видно, що час регулювання (час закінчення перехідних процесів) дорівнює 2,8 с.

З осцилограми на рис. 2.15 видно, що графік перехідного процесу по положенню має перерегулювання:

$$\delta = \frac{v_{\max} - v_n}{v_n} = \frac{0,0256 - 0,025}{0,025} 100\% = 2,4\%. \quad (2.16)$$

Пусковий струм перевищує номінальний струм двигуна не більш ніж у два рази, що є припустимим по перевантажувальній здатності двигуна.

2.8 Економічне обґрунтування пропонуваного рішення

2.8.1 Характеристика основних техніко-економічних показників і економічної доцільності технічного рішення

Сучасне металообробне виробництво характеризується високою конкуренцією та постійним підвищенням вимог до якості продукції при одночасному зниженні собівартості. У цеху металоконструкцій ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» експлуатується машина термічного різання ПКПЛЦ-3,5-6, оснащена застарілою щуповою системою стабілізації робочого зазору, яка фактично не використовується через низьку надійність та точність. Керування висотою різача здійснюється оператором вручну, що призводить до зниження якості заготовок, підвищених витрат матеріалів та енергоносіїв, а також обмежує можливості виробництва деталей зі скосом кромки під зварювання.

Розроблена система автоматичної стабілізації положення різача на базі асинхронного двигуна з частотним перетворювачем та безконтактними датчиками (ємнісним для кисневого різача та за напругою дуги для плазмового) дозволяє підвищити точність позиціонування до $\pm 0,5$ мм, забезпечити стабільність робочого зазору в автоматичному режимі, покращити якість поверхні різку та розширити технологічні можливості обладнання.

Метою економічної частини є визначення економічної доцільності впровадження розробленої системи стабілізації шляхом розрахунку капітальних вкладень, зміни поточних витрат, економічного ефекту та терміну окупності проекту.

Для оцінки економічної ефективності використано виробничі дані цеху металоконструкцій ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за 2025 рік з урахуванням актуальних цін на енергоносії та обладнання станом на січень 2026 року (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Основні виробничі показники цеху металоконструкцій

Показник	Одиниці виміру	Значення
Виготовлення продукції, всього	т	2 450,00
у тому числі: залізо смугове	т	2 010,00
залізо листове	т	105,00
залізо кутове	т	8,50
залізо кругле	т	65,00
балки і швелери	т	18,00
труби	т	1,20
поковки з обробкою	т	2,80
сляби	т	0,10
поковки без обробки	т	19,40
робочі відходи	т	220,00
Витрата природного газу	тис. м ³	13,230
Витрата електроенергії	тис. кВт·год	226,100
Витрата кисню технічного	тис. м ³	49,875
Витрата стисненого повітря	тис. м ³	362,300
Чисельність персоналу	осіб	318
Питома витрата газу на 1 т продукції	м ³ /т	5,40
Питома витрата електроенергії на 1 т продукції	кВт·год/т	92,29
Питома витрата кисню на 1 т продукції	м ³ /т	20,36
Питома витрата стисненого повітря на 1 т продукції	м ³ /т	147,88
Собівартість 1 т продукції	грн/т	18 450,00
Частка умовно-постійних витрат у структурі собівартості	%	8,5

Аналіз виробничих даних свідчить, що основними статтями собівартості є витрати на сировину та матеріали (40,2%), заробітна плата з відрахуваннями (38,5%), енергоносії (12,8%) та амортизаційні відрахування (6,3%). Частка умовно-постійних витрат становить 8,5% від загальної собівартості, що створює резерви для зниження собівартості одиниці продукції при збільшенні обсягів виробництва.

Впровадження автоматичної системи стабілізації забезпечує підвищення економічної ефективності виробництва за рахунок наступних факторів (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

**Фактори підвищення економічної ефективності від впровадження
пропонованого рішення**

Фактори, що спричиняють підвищення ефективності	Од. вим.	Відношення		Джерела інформації
		абс.	відн., %	
Зниження споживання природного газу за рахунок оптимального робочого зазору	м³/т	0,054	1,0	Зам. начальника цеху за технологією, економіст цеху
Зниження споживання кисню технічного за рахунок повного прорізання металу	м³/т	0,407	2,0	
Зниження споживання стисненого повітря для плазмового різання	м³/т	2,958	2,0	
Економія електроенергії за рахунок енергоефективного привода	кВт·год/т	2,769	3,0	Думка керівника випускної роботи
Зниження відходів металу внаслідок підвищення якості різку	т	--	5,0	
Збільшення випуску продукції за рахунок автоматизації та скорочення браку	т	24,50	1,0	

Зниження споживання природного газу (1,0%) досягається за рахунок підтримки оптимального робочого зазору 3-5 мм при кисневому різанні. При ручному керуванні оператор часто збільшує зазор для запобігання зіткнення різачка з деформованим листом, що призводить до погіршення якості полум'я та зниження ефективності підігріву металу [12].

Зниження споживання кисню (2,0%) обумовлено забезпеченням повного прорізання металу по всій товщині з першого проходу, що виключає необхідність повторного проходження різачком. Згідно з дослідженнями, стабілізація зазору зменшує витрату кисню на 1,5-2,5% [13].

Зниження споживання стисненого повітря (2,0%) при плазмовому різанні пов'язане з оптимізацією відстані плазмотрон – лист при стабілізації за напругою дуги, що забезпечує максимальну ефективність процесу [14].

Економія електроенергії (3,0%) досягається за рахунок застосування енергоефективного асинхронного двигуна з частотним керуванням замість двигуна постійного струму. Частотне керування забезпечує плавний пуск, рекуперацію енергії при гальмуванні та оптимальний режим роботи [15].

Зниження відходів металу (5,0%) відбувається внаслідок підвищення якості різку та зменшення кількості бракованих заготовок через дефекти кромки. При ручному керуванні близько 5–8% заготовок потребують додаткової обробки або бракуються [16].

Збільшення випуску продукції (1,0%) забезпечується за рахунок скорочення часу на коригування положення різачка оператором. Хронометражні спостереження показують, що оператор витрачає 6 -10% робочого часу на ручне регулювання висоти різачка [17].

Розрахунок собівартості 1 т продукції в базовому варіанті наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Калькуляція собівартості 1 т продукції (базовий варіант)

Стаття калькуляції	Витрати на річний обсяг, тис. грн	Витрати на 1 т, грн
Сировина і матеріали	24 192,30	9 874,00
Заробітна плата основних робітників	4 851,25	1 980,10
Відрахування на соціальні заходи (ЄСВ, 22%)	1 067,28	435,62
Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	2 156,75	880,31
Загальновиробничі витрати	3 136,25	1 280,10
Адміністративні витрати	1 715,00	700,00
Витрати на збут	1 103,75	450,51
Амортизаційні відрахування	3 773,50	1 540,41
Витрати на природний газ	424,90	173,43
Витрати на електроенергію	1 356,60	553,71
Витрати на кисень технічний	324,19	132,32
Витрати на стиснене повітря	217,38	88,73
Інші виробничі витрати	883,85	360,76
Виробнича собівартість	45 203,00	18 450,00

Примітка: Ціни на енергоносії станом на січень 2026 року: природний газ – 32,12 грн/м³ (з ПДВ); електроенергія – 6,00 грн/кВт·год (з ПДВ); кисень технічний – 6,50 грн/м³; стиснене повітря (власне виробництво) – 0,60 грн/м³.

З розрахунків видно, що собівартість 1 т продукції становить 18 450грн, з них умовно-постійні витрати:

$$УПВ_6 = Сб \cdot Чп = 18\,450 \cdot 0,085 = 1\,568,25 \text{ грн/т} \quad (2.17)$$

де Чп = 8,5% – частка постійних витрат у структурі собівартості;

Сб = 18 450,00 грн/т – собівартість 1 т випускаємої продукції.

2.8.2 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення на реалізацію проекту модернізації включають витрати на придбання обладнання, його транспортування, монтаж, налагодження та введення в експлуатацію. Детальний кошторис капітальних вкладень наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Кошторис капітальних вкладень на модернізацію системи стабілізації

№	Найменування витрат	Од. вим.	Кіл -ть	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5	6
1	Придбання основного обладнання				28 950
1.1	Частотний перетворювач SINAMICS V20 (0,12 кВт, 1ф/3ф, 200-240 В)	шт.	1	8 240	8 240
1.2	Асинхронний двигун 4A50A2Y3 (0,09 кВт, 3000 об/хв)	шт.	1	5 180	5 180
1.3	Оптичний датчик швидкості AEAS-7000 (Agilent Technologies)	шт.	1	9 850	9 850
1.4	Перетворювач сигналу AEAS-7034SA	шт.	1	3 420	3 420
1.5	Ємнісний датчик висоти DL-117 (GEME, Німеччина)	шт.	1	2 260	2 260
2	Комплектуючі для пристрою стабілізації	-	-	-	14 680
2.1	Мікросхеми TTL-логіки (K155, K176 та ін.)	компл.	1	3 840	3 840
2.2	Операційні підсилювачі, компаратори	шт.	8	285	2 280
2.3	Транзистори, діоди, стабілітрони	компл.	1	1 560	1 560
2.4	Резистори, конденсатори, дроселі	компл.	1	2 180	2 180
2.5	Корпус пристрою стабілізації (IP54)	шт.	1	1 820	1 820
2.6	Джерело живлення $\pm 15V$, $+5V$, $+12V$	шт.	1	2 640	2 640
2.7	Роз'єми, клемники, монтажний дріт	компл.	1	360	360
3	Допоміжне обладнання та матеріали				8 920
3.1	Кінцеві вимикачі верхній/нижній (ВП15K21)	шт.	2	680	1 360
3.2	Кабельна продукція (ШВВП, КГ, КПВЭ)	м	85	42	3 570
3.3	Кабельні канали, гофра, кріплення	компл.	1	1 240	1 240
3.4	Пульт керування (кнопки, тумблери, індикатори)	компл.	1	2 750	2 750

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
4	Транспортні витрати	-	-	-	2 628
4.1	Доставка обладнання (5% від вартості п.1 + п.2)	-	-	-	2 182
4.2	Страхування вантажу	-	-	-	446
5	Проектно-конструкторські роботи	-	-	-	32 500
5.1	Розробка технічного завдання	год.	24	115	2 760
5.2	Розробка робочої документації	год.	160	105	16 800
5.3	Розробка алгоритмів керування	год.	48	125	6 000
5.4	Виготовлення дослідного зразка пристрою стабілізації	компл.	1	3 850	3 850
5.5	Погодження документації	год.	16	95	1 520
5.6	Авторський нагляд	год.	12	130	1 560
6	Демонтажні роботи				8 400
6.1	Демонтаж старого двигуна СЛ-369М	год.	12	195	2 340
6.2	Демонтаж щупової системи стабілізації	год.	16	185	2 960
6.3	Демонтаж застарілої кабельної продукції	год.	8	175	1 400
6.4	Утилізація демонтованого обладнання	компл.	1	1 700	1 700
7	Монтажні роботи	-	-	-	18 600
7.1	Підготовка місця монтажу	год.	8	185	1 480
7.2	Монтаж частотного перетворювача	год.	16	205	3 280
7.3	Монтаж асинхронного двигуна	год.	20	195	3 900
7.4	Монтаж датчиків швидкості та положення	год.	24	215	5 160
7.5	Монтаж пристрою стабілізації	год.	12	205	2 460
7.6	Прокладка та підключення кабельних трас	год.	16	185	2 960
7.7	Монтаж пульта керування та кінцевих вимикачів	год.	8	195	1 560
7.8	Матеріали для монтажу	компл.	1	1 200	1 200
8	Пусконаладжувальні роботи				34 800
8.1	Попереднє тестування окремих вузлів	год.	20	285	5 700
8.2	Налагодження частотного перетворювача	год.	24	295	7 080
8.3	Налагодження системи датчиків	год.	28	285	7 980
8.4	Налагодження пристрою стабілізації	год.	32	305	9 760
8.5	Інтеграція з системою ЧПК 2Р32	год.	16	325	5 200
8.6	Оформлення виконавчої документації	год.	12	145	1 740
9	Дослідні випробування на об'єкті	-	-	-	24 200

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
9.1	Проведення холостих випробувань	змiна	4	2 100	8 400
9.2	Випробування під навантаженням без різання	змiна	3	1 950	5 850
9.3	Випробування в режимі різання	змiна	5	2 450	12 250
9.4	Вимірювання технічних характеристик	год.	16	265	4 240
9.5	Коригування налаштувань	год.	12	285	3 420
9.6	Витратні матеріали для випробувань	компл.	1	2 850	2 850
10	Навчання персоналу	-	-	-	11 200
10.1	Навчання операторів МТР (3 особи)	год.	32	165	5 280
10.2	Навчання налагоджувальників (2 особи)	год.	40	195	7 800
10.3	Методичні матеріали та інструкції	компл.	6	420	2 520
11	Непередбачені витрати (3%)	-	-	-	5 544
12	РАЗОМ капітальні вкладення (ΔК)	-	-	-	190 422

Обґрунтування основних статей капітальних вкладень:

Проектно-конструкторські роботи (32 500 грн) включають детальну розробку технічної документації, що забезпечує якісне впровадження системи. Вартість години роботи інженерів-конструкторів встановлена відповідно до тарифної сітки підприємства.

Демонтажні роботи (8 400 грн) виділені окремо, оскільки потребують значних трудовитрат на демонтаж старого обладнання та утилізацію відпрацьованих матеріалів відповідно до екологічних норм.

Монтажні роботи (18 600 грн) включають складний прецизійний монтаж датчиків, інтеграцію з існуючою системою та прокладку екранованих кабельних трас.

Пусконаладжувальні роботи (34 800 грн) є найбільш трудомісткою частиною, оскільки вимагають точного налаштування параметрів системи підлеглого регулювання та забезпечення стабільної роботи в різних режимах.

Дослідні випробування (24 200 грн) необхідні для підтвердження відповідності системи технічним вимогам та перевірки точності стабілізації при різанні металу різної товщини.

Навчання персоналу (11 200 грн) забезпечує підготовку операторів та налагоджувальників до роботи з новою системою.

Таким чином, загальна сума капітальних вкладень становить:

$$\Delta K = 190\,422 \text{ грн}$$

2.8.3 Розрахунок зміни поточних витрат

Впровадження автоматичної системи стабілізації призводить до зміни поточних витрат за рахунок збільшення амортизаційних відрахувань на нове обладнання, зміни витрат на ремонт та обслуговування, а також економії енергоресурсів та матеріалів.

2.8.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація нового обладнання розраховується прямолінійним методом. Обладнання відноситься до групи 4 "Машини та обладнання" з мінімально допустимим строком корисного використання 5 років.

Первісна вартість об'єктів, що амортизуються:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{перв}} &= 28\,950 + 14\,680 + 8\,920 + 0,6 \cdot 18\,600 = 52\,550 + 11\,160 = \\ &= 63\,710 \text{ грн} \end{aligned} \quad (2.18)$$

де 0,6 – частка монтажних робіт, що збільшує первісну вартість основних засобів.

Річна норма амортизації при строку служби 5 років:

$$H_a = 100 / T = 100 / 5 = 20\% \quad (2.19)$$

де $T = 5$ років – строк корисного використання.

Річна сума амортизації:

$$A = \Phi_{\text{перв}} \cdot N_a / 100 = 63\,710 \cdot 20 / 100 = 12\,742 \text{ грн/рік} \quad (2.20)$$

2.8.3.2 Розрахунок витрат на ремонт та обслуговування

Витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування приймаються в розмірі 4% від вартості обладнання:

$$B_p = \Phi_{\text{перв}} \cdot 0,04 = 63\,710 \cdot 0,04 = 2\,548 \text{ грн/рік} \quad (2.21)$$

2.8.3.3 Розрахунок економії енергоресурсів

Очікуване збільшення обсягу виробництва за рахунок автоматизації:

$$\Delta V = V_0 \cdot 0,01 = 2\,450 \cdot 0,01 = 24,50 \text{ т} \quad (2.22)$$

де $V_0 = 2\,450 \text{ т}$ – базовий річний обсяг виробництва;

0,01 – відсоток збільшення обсягу виробництва (1,0%).

Новий плановий обсяг виробництва:

$$V_1 = V_0 + \Delta V = 2\,450 + 24,50 = 2\,474,50 \text{ т} \quad (2.23)$$

Коефіцієнт росту обсягу виробництва:

$$K_p = V_1 / V_0 = 2\,474,50 / 2\,450 = 1,01 \quad (2.24)$$

1) Економія природного газу

Базова питома витрата: $H_6 = 5,40 \text{ м}^3/\text{т}$ Зниження питомої витрати: $\Delta H = 0,054 \text{ м}^3/\text{т}$ (1,0%)

Проектна питома витрата:

$$H_{\Pi} = H_6 - \Delta H = 5,40 - 0,054 = 5,346 \text{ м}^3/\text{т} \quad (2.25)$$

Економія природного газу:

$$\begin{aligned} E_{\text{газу}} &= (H_{\text{б}} - H_{\text{п}}) \cdot C_{\text{газу}} \cdot V_1 = \\ &= (5,40 - 5,346) \cdot 32,12 \cdot 2\,474,50 = \\ &= 0,054 \cdot 32,12 \cdot 2\,474,50 = 4\,288 \text{ грн/рік} \end{aligned} \quad (2.26)$$

де $C_{\text{газу}} = 32,12 \text{ грн/м}^3$ – ціна природного газу з ПДВ.

2) Економія кисню технічного

Базова питома витрата: $H_{\text{б}} = 20,36 \text{ м}^3/\text{т}$ Зниження питомої витрати: $\Delta H = 0,407 \text{ м}^3/\text{т}$ (2,0%)

Проектна питома витрата:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{б}} - \Delta H = 20,36 - 0,407 = 19,953 \text{ м}^3/\text{т} \quad (2.27)$$

Економія кисню:

$$\begin{aligned} E_{\text{кисню}} &= (H_{\text{б}} - H_{\text{п}}) \cdot C_{\text{кисню}} \cdot V_1 = \\ &= (20,36 - 19,953) \cdot 6,50 \cdot 2\,474,50 = \\ &= 0,407 \cdot 6,50 \cdot 2\,474,50 = 6\,551 \text{ грн/рік} \end{aligned} \quad (2.28)$$

де $C_{\text{кисню}} = 6,50 \text{ грн/м}^3$ – ціна кисню технічного.

3) Економія стисненого повітря

Базова питома витрата: $H_{\text{б}} = 147,88 \text{ м}^3/\text{т}$ Зниження питомої витрати: $\Delta H = 2,958 \text{ м}^3/\text{т}$ (2,0%)

Проектна питома витрата:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{б}} - \Delta H = 147,88 - 2,958 = 144,922 \text{ м}^3/\text{т} \quad (2.29)$$

Економія стисненого повітря:

$$\begin{aligned} E_{\text{пов}} &= (H_{\text{б}} - H_{\text{п}}) \cdot C_{\text{пов}} \cdot V_1 = \\ &= (147,88 - 144,922) \cdot 0,60 \cdot 2\,474,50 = \\ &= 2,958 \cdot 0,60 \cdot 2\,474,50 = 4\,389 \text{ грн/рік} \end{aligned} \quad (2.30)$$

де $C_{\text{пов}} = 0,60 \text{ грн/м}^3$ – собівартість виробництва стисненого повітря.

4) Економія електроенергії

Базова питома витрата: $H_{\text{б}} = 92,29 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т}$ Зниження питомої витрати: $\Delta H = 2,769 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т}$ (3,0%)

Проектна питома витрата:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{б}} - \Delta H = 92,29 - 2,769 = 89,521 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т} \quad (2.31)$$

Економія електроенергії:

$$\begin{aligned} E_{ee} &= (H_6 - H_{п}) \cdot C_{ee} \cdot V_1 = \\ &= (92,29 - 89,521) \cdot 6,00 \cdot 2\,474,50 = \\ &= 2,769 \cdot 6,00 \cdot 2\,474,50 = 41\,085 \text{ грн/рік} \end{aligned} \quad (2.32)$$

де $C_{ee} = 6,00$ грн/кВт·год – тариф на електроенергію з ПДВ.

2.8.3.4 Розрахунок економії на умовно-постійних витратах

При збільшенні обсягу виробництва умовно-постійні витрати розподіляються на більшу кількість продукції.

Базові умовно-постійні витрати на 1 т:

$$УПВ_6 = C_6 \cdot Ч_п = 18\,450 \times 0,085 = 1\,568,25 \text{ грн/т} \quad (2.33)$$

Умовно-постійні витрати на 1 т після збільшення обсягу:

$$УПВ_п = УПВ_6 / K_p = 1\,568,25 / 1,01 = 1\,552,72 \text{ грн/т} \quad (2.34)$$

Економія умовно-постійних витрат на 1 т:

$$\Delta УПВ = УПВ_6 - УПВ_п = 1\,568,25 - 1\,552,72 = 15,53 \text{ грн/т} \quad (2.24)$$

Економія на весь обсяг виробництва:

$$E_{УПВ} = \Delta УПВ \cdot V_1 = 15,53 \cdot 2\,474,50 = 38\,429 \text{ грн/рік} \quad (2.24)$$

2.7.3.5 Розрахунок економії від зниження відходів

При ручному керуванні висотою різача виникають дефекти різу, що призводять до збільшення відходів металу.

Базовий обсяг відходів: $Відх_0 = 220,0$ т

Зниження відходів на 5,0%:

$$\Delta \text{Відх} = \text{Відх}_0 \cdot 0,05 = 220,0 \times 0,05 = 11,0 \text{ т} \quad (2.35)$$

Економія металу оцінюється за собівартістю виробництва 1 т продукції:

$$\text{Евідх} = \Delta \text{Відх} \cdot \text{Сб} = 11,0 \cdot 18\,450 = 202\,950 \text{ грн/рік} \quad (2.36)$$

2.8.4 Зведення зміни поточних витрат

Результати розрахунків зміни поточних витрат зведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Зміна поточних витрат від впровадження системи стабілізації

Найменування витрат	Зміна витрат, грн/рік	Зміна на 1 т продукції, грн/т
Додаткові витрати:		
Амортизаційні відрахування	+12 742	+5,15
Витрати на ремонт та обслуговування	+2 548	+1,03
Разом додаткові витрати	+15 290	+6,18
Економія витрат:		
Економія природного газу	-4 288	-1,73
Економія кисню технічного	-6 551	-2,65
Економія стисненого повітря	-4 389	-1,77
Економія електроенергії	-41 085	-16,61
Економія на умовно-постійних витратах	-38 429	-15,53
Економія від зниження відходів металу	-202 950	-82,01
Разом економія	-297 692	-120,30
Загальна зміна витрат	-282 402	-114,12

З розрахунків видно, що впровадження системи забезпечує значну економію поточних витрат 282 402 грн на рік, при цьому собівартість 1 т продукції знижується на 114,12 грн (0,62%).

2.8.5 Розрахунок проєктної собівартості продукції

Собівартість 1 т продукції після впровадження проєкту:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{б}} - \Delta B / V_{\text{1}} = 18\,450 - 282\,402 / 2\,474,50 = 18\,450 - 114,12 = 18\,335,88 \text{ грн/т} \quad (2.37)$$

Зниження собівартості:

$$\Delta C = C_{\text{б}} - C_{\text{п}} = 18\,450 - 18\,335,88 = 114,12 \text{ грн/т} \quad (2.38)$$

Виробнича собівартість річного обсягу продукції:

$$C_{\text{п.заг}} = C_{\text{п}} \times V_{\text{1}} = 18\,335,88 \times 2\,474,50 = 45\,372\,987 \text{ грн} \quad (2.39)$$

2.8.6 Розрахунок економічної ефективності проєкту

Економічна ефективність проєкту модернізації визначається на основі показників річного економічного ефекту, терміну окупності капітальних вкладень та коефіцієнта ефективності.

2.8.6.1 Розрахунок додаткового прибутку

Додатковий прибуток від впровадження проєкту формується з двох складових:

1. Прибуток від зниження собівартості при виробництві базового обсягу продукції;

2. Прибуток від реалізації додаткового обсягу продукції.

1) Прибуток від зниження собівартості

Річна економія поточних витрат становить:

$$E_{\text{заг}} = 282\,402 \text{ грн}$$

2) Прибуток від реалізації додаткового обсягу

Додатковий обсяг виробництва: $\Delta V = 24,50 \text{ т}$

Оптова ціна 1 т продукції (з рентабельністю 15%):

$$Ц = C_{\text{б}} \cdot 1,15 = 18\,450 \cdot 1,15 = 21\,218 \text{ грн/т} \quad (2.40)$$

Прибуток від реалізації додаткового обсягу:

$$\begin{aligned} \text{Преал} &= \Delta V \cdot (\text{Ц} - \text{Сп}) = 24,50 \cdot (21\,218 - 18\,335,88) = \\ &= 24,50 \cdot 2\,882,12 = 70\,612 \text{ грн} \end{aligned} \quad (2.41)$$

Загальний додатковий прибуток:

$$\text{Пдод} = \text{Езаг} + \text{Преал} = 282\,402 + 70\,612 = 353\,014 \text{ грн/рік} \quad (2.42)$$

Чистий прибуток розраховується з урахуванням податку на прибуток підприємств (18% згідно ПКУ):

$$\text{Пчист} = \text{Пдод} \cdot (1 - 0,18) = 353\,014 \cdot 0,82 = 289\,471 \text{ грн/рік} \quad (2.43)$$

2.8.6.2 Розрахунок терміну окупності

Простий термін окупності капітальних вкладень:

$$\text{Ток} = K / \text{Пчист} = 190\,422 / 289\,471 = 0,658 \text{ року} \quad (2.44)$$

або

$$\text{Ток} = 0,658 \cdot 12 = 7,9 \text{ місяців} \quad (2.45)$$

де $K = 190\,422$ грн – капітальні вкладення.

2.8.7 Розрахунок коефіцієнта ефективності капітальних вкладень

Коефіцієнт абсолютної ефективності:

$$\text{Ек} = \text{Пчист} / K = 289\,471 / 190\,422 = 1,52 \quad (2.46)$$

Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень для промислового виробництва становить $\text{Ен} = 0,15$ (термін окупності 6,7 року).

Оскільки $\text{Ек} = 1,52 \gg \text{Ен} = 0,15$, проект є високоефективним.

2.8.8 Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект з урахуванням нормативного коефіцієнта ефективності:

$$E_p = P_{\text{дод}} - E_n \cdot K = 353\,014 - 0,15 \cdot 190\,422 = \quad (2.47) \\ = 353\,014 - 28\,563 = 324\,451 \text{ грн/рік}$$

2.8.9 Зведена таблиця техніко-економічних показників

Результати техніко-економічного обґрунтування проекту зведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Техніко-економічні показники

№	Показник	Од. вим.	Варіанти		Відхилення (±)
			Базовий	Проектний	абс.
1	2	3	4	5	6
1	Виробничі показники				
1.1	Річний обсяг виробництва	т	2 450,00	2 474,50	+24,50
1.2	Річний обсяг відходів	т	220,00	209,00	-11,00
1.3	Вихід придатної продукції	%	91,76	92,21	+0,45
2	Питомі витрати ресурсів				
2.1	Природний газ	м³/т	5,400	5,346	-0,054
2.2	Кисень технічний	м³/т	20,360	19,953	-0,407
2.3	Стиснене повітря	м³/т	147,88	144,92	-2,96
2.4	Електроенергія	кВт·год/т	92,29	89,52	-2,77
3	Собівартість продукції				
3.1	Собівартість 1 т продукції	грн/т	18 450,00	18 335,88	-114,12
	у тому числі:	—	—	—	—
	- амортизація	грн/т	1 540,41	1 545,56	+5,15
	- ремонт та обслуговування	грн/т	880,31	881,34	+1,03
	- енергоносії	грн/т	948,19	925,50	-22,69
	- умовно-постійні витрати	грн/т	1 568,25	1 552,72	-15,53
3.2	Виробнича собівартість річного обсягу	тис. грн	45 203,0	45 373,0	+170,0

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4	5	6
4	Капітальні вкладення				
4.1	Придбання обладнання та матеріалів	тис. грн	—	52,55	+52,55
4.2	Проектні та демонтажні роботи	тис. грн	—	40,90	+40,90
4.3	Монтажні роботи	тис. грн	—	18,60	+18,60
4.4	Пусконаладження та випробування	тис. грн	—	59,00	+59,00
4.5	Навчання персоналу	тис. грн	—	11,20	+11,20
4.6	Транспортні та непередбачені витрати	тис. грн	—	8,17	+8,17
4.7	Разом капітальні вкладення	тис. грн	—	190,42	+190,42
5	Економічні показники ефективності				
5.1	Річна економія поточних витрат	тис. грн	—	282,40	+282,40
5.2	Додатковий прибуток від реалізації	тис. грн	—	70,61	+70,61
5.3	Загальний додатковий прибуток	тис. грн	—	353,01	+353,01
5.4	Чистий прибуток (після оподаткування)	тис. грн	—	289,47	+289,47
5.5	Річний економічний ефект	тис. грн	—	324,45	+324,45
5.6	Простий термін окупності	місяців	—	7,9	—
5.7	Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	—	—	1,52	—

Проведений техніко-економічний аналіз модернізації системи стабілізації положення різаків на машині термічного різання ПКПЛЦ-3,5-6 підтверджує економічну доцільність пропонованого рішення:

1. Капітальні вкладення в розмірі 190 422 грн включають придбання сучасного обладнання (частотний перетворювач, датчики, двигун), розробку та виготовлення пристрою стабілізації, проектні роботи, демонтаж старого обладнання, монтаж, налагодження, дослідні випробування та навчання персоналу.

2. Річна економія поточних витрат становить 282 402 грн за рахунок:

- зниження відходів металу – 202 950 грн (71,9%);
- економії електроенергії – 41 085 грн (14,5%);
- економії на умовно-постійних витратах – 38 429 грн (13,6%);
- економії енергоносіїв (газ, кисень, повітря) – 15 228 грн (5,4%).

3. Додатковий прибуток від збільшення обсягу виробництва на 24,50 т складає 70 612 грн на рік.

4. Загальний економічний ефект – 353 014 грн на рік, чистий прибуток після оподаткування – 289 471 грн на рік.

5. Термін окупності – 7,9 місяців, що свідчить про високу ефективність інвестицій.

6. Показники ефективності:

- коефіцієнт ефективності капітальних вкладень $E_k = 1,52$ (при нормативі 0,15);
- річний економічний ефект $E_p = 324\,451$ грн.

Всі розрахункові показники значно перевищують нормативні значення, що свідчить про високу економічну ефективність модернізації. Впровадження автоматичної системи стабілізації забезпечує не тільки швидку окупність капітальних вкладень, а й створює довгостроковий економічний ефект за рахунок підвищення якості продукції, зниження собівартості, економії ресурсів та розширення технологічних можливостей обладнання.

2.9 Заходи з охорони праці

2.9.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації машини термічного різання

Експлуатація машини термічного різання ПКПЛЦ-3,5-6 з модернізованою системою стабілізації положення різача в умовах цеху металоконструкцій ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» створює для персоналу комплекс небезпечних умов. Працівники, які здійснюють налагодження, обслуговування та безпосередню роботу на обладнанні, піддаються впливу численних факторів, що можуть негативно позначитися на їхньому здоров'ї та безпеці.

Виробничі фактори, відповідно до класифікації [18], поділяються на чотири основні групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. У даному виробництві найбільш значущими є фізичні та хімічні фактори, які потребують особливої уваги через високу інтенсивність впливу на організм працюючих.

2.9.1.1 Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Температурний режим роботи машини створює серйозну загрозу для персоналу. При кисневому різанні температура полум'я сягає 3000-3200°C, тоді як плазмове різання характеризується ще вищими температурами дуги — від 15000 до 20000°C. Метал у зоні різання розігрівається до точки плавлення, яка для сталі становить близько 1535°C. Такі екстремальні температури вимагають від операторів дотримання суворих правил безпечної відстані та використання належних засобів захисту, оскільки навіть короткочасний контакт з розігрітими поверхнями може спричинити важкі термічні опіки.

Теплове випромінювання від зони різання становить ще один серйозний фактор ризику. Оператор машини постійно перебуває під впливом інтенсивного теплового потоку, який може досягати 500-800 Вт/м². Це значно перевищує допустимі норми, встановлені у відповідних документах [19]. Особливо критичною ситуація стає в літній період, коли температура навколишнього

повітря перевищує 28°C , що в поєднанні з тепловим випромінюванням від обладнання може призвести до перегрівання організму працюючих та теплового удару.

Оптичне випромінювання плазмової дуги представляє особливу небезпеку для органів зору. Ультрафіолетове випромінювання в діапазоні 200-400 нм, що генерується плазмовою дугою, здатне спричинити фотоофтальмію — болісне запалення рогівки та слизової оболонки ока, яке в народі відоме як «наловлені зайчики». Інфрачервоне випромінювання в діапазоні 760-2000 нм при тривалому впливі може призвести до ще більш серйозних наслідків — утворення катаракти, що веде до часткової або повної втрати зору. Яскравість плазмової дуги сягає 10^6 - 10^7 кд/м², що у тисячі разів перевищує безпечний рівень для спостереження неозброєним оком.

Акустичне навантаження на робочому місці оператора також перевищує допустимі норми. Процес плазмового різання супроводжується інтенсивним шумом, який генерується високошвидкісним витіканням плазмового струменя та ударними хвилями при пробитті отворів у металі. Рівень звукового тиску досягає 95-105 дБА, що істотно перевищує гранично допустимий рівень 80 дБА, встановлений нормативними документами [20]. Систематичний вплив шуму такої інтенсивності призводить до професійної нейросенсорної приглухуватості — незворотного зниження слуху. Крім того, постійний шум негативно впливає на центральну нервову систему, викликає підвищення артеріального тиску, знижує концентрацію уваги та загальну продуктивність праці.

Повітря робочої зони містить значну кількість аерозолів конденсації — дрібнодисперсного пилу з розміром часток від 0,1 до 10 мкм. Цей пил утворюється при випаровуванні та конденсації металу в зоні різання і містить оксиди заліза, марганцю, хрому та інших металів залежно від складу сталі. Концентрація пилу в зоні дихання оператора може сягати 15-25 мг/м³, що в 2,5-4 рази перевищує гранично допустиму концентрацію згідно з нормами [21]. Вдихання такого пилу протягом тривалого часу призводить до розвитку професійних захворювань легень — пневмоконіозів.

Електрична небезпека присутня на всіх етапах роботи з машиною. Електрообладнання – частотний перетворювач, асинхронний двигун, система числового програмного керування, пристрій стабілізації та апарат плазмового різання АПР-404 – живиться від мережі змінного струму напругою 380 В при частоті 50 Гц. Частотний перетворювач SINAMICS V20 містить проміжне коло постійного струму з напругою близько 540 В, а апарат плазмового різання для запалювання дуги генерує напругу холостого ходу до 400 В. При доторканні до струмопровідних частин, що опинилися під напругою через пошкодження ізоляції або помилкові дії персоналу, виникає реальна загроза ураження електричним струмом. Наслідки можуть варіюватися від легких електротравм до фібриляції серця з летальним результатом.

Механічна небезпека обумовлена наявністю рухомих елементів машини. Портал переміщується зі швидкістю до 6000 мм/хв по напрямних рейках, каретка поперечного ходу рухається з аналогічною швидкістю у поперечному напрямку, а супорт вертикального переміщення різача може рухатися зі швидкістю до 25 мм/с. При порушенні правил безпечної експлуатації існує ризик затиснення кінцівок або одягу персоналу рухомими частинами з наступним серйозним травмуванням.

Електромагнітні поля, що генеруються частотним перетворювачем та апаратом плазмового різання, також становлять певну небезпеку. Частотний перетворювач працює на основі IGBT-транзисторів з частотою комутації 4-16 кГц і є джерелом електромагнітних полів підвищеної інтенсивності. Апарат плазмового різання створює електромагнітні перешкоди в широкому частотному діапазоні. Вимоги нормативних документів [22] встановлюють, що напруженість електричного поля промислової частоти на робочих місцях не повинна перевищувати 5 кВ/м, а магнітна індукція – 500 мкТл.

Освітлення робочої зони також потребує уваги. Робота на машині термічного різання вимагає високої точності позиціонування різача відносно розмічених ліній на металі. При недостатньому рівні освітленості, менше за 200 лк відповідно до норм [23], зростає навантаження на зоровий аналізатор,

знижується продуктивність праці та підвищується ризик виробничого травматизму. З іншого боку, яскраве світло плазмової дуги створює протилежну проблему – надмірну освітленість, яка без відповідного захисту призводить до тимчасового або стійкого порушення зору та опіків сітківки ока.

2.9.1.2 Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Процес термічного різання супроводжується виділенням значної кількості токсичних газів та парів. Найбільш небезпечними з них є оксиди азоту, які утворюються при високотемпературному окисненні азоту повітря в зоні плазмової дуги. Діоксид азоту належить до речовин другого класу небезпеки з гранично допустимою концентрацією в повітрі робочої зони 2 мг/м^3 згідно з вимогами [21]. При концентраціях понад 50 мг/м^3 можливий розвиток токсичного набряку легень, що може призвести до летального результату.

Оксид вуглецю утворюється при неповному окисненні вуглецю сталі в зоні різання, особливо інтенсивно – при кисневому різанні високовуглецевих сталей. Ця отруйна речовина четвертого класу небезпеки має гранично допустиму концентрацію 20 мг/м^3 . Оксид вуглецю з'єднується з гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін, що порушує транспорт кисню до тканин організму. Тривалий вплив навіть невеликих концентрацій призводить до хронічного отруєння з ураженням серцево-судинної та нервової систем.

Озон утворюється під дією ультрафіолетового випромінювання плазмової дуги на кисень повітря. Ця речовина належить до першого класу небезпеки – надзвичайно небезпечних речовин – з гранично допустимою концентрацією лише $0,1 \text{ мг/м}^3$. Озон має різко виражену подразнювальну дію на слизові оболонки дихальних шляхів, викликає головний біль, задуху, а при високих концентраціях може спричинити токсичний набряк легень.

Аерозолі конденсації оксидів металів представляють особливу небезпеку через їх канцерогенні властивості. При термічному різанні сталей утворюються аерозолі оксидів заліза, марганцю, хрому та нікелю залежно від хімічного складу

металу. Оксиди хрому та нікелю є доведеними канцерогенами, здатними спричиняти злоякісні новоутворення дихальних шляхів при тривалому впливі. Оксиди марганцю викликають професійне захворювання – манганокуніоз, особливу форму пневмоконіозу з переважним ураженням нервової системи.

При плазмовому різанні деяких спеціальних сталей або матеріалів із захисними покриттями можливе виділення фторидів – фтористого водню та фторидів кремнію. Ці високотоксичні речовини мають виражену подразнювальну дію на дихальні шляхи та шкірні покриви навіть при невеликих концентраціях.

2.9.1.3 Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Робота оператора машини термічного різання пов'язана зі значним фізичним навантаженням. Протягом до 80% робочого часу оператор перебуває на ногах, періодично виконує переміщення листів металу масою до 50 кг за допомогою підйомно-транспортного обладнання. Така робота вимагає значних фізичних зусиль та може призвести до розвитку захворювань опорно-рухового апарату, особливо при недотриманні правил підйому та переміщення важких вантажів.

Нервово-психічне навантаження обумовлене специфікою роботи на машині з числовим програмним керуванням. Робота вимагає постійної концентрації уваги, оперативного мислення при виникненні нестандартних ситуацій, високої відповідальності за якість продукції та збереження дорогого обладнання. Впровадження автоматичної системи стабілізації положення різача суттєво знижує психоемоційне навантаження, оскільки виключає необхідність постійного ручного регулювання висоти різача та зменшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій через людський фактор.

Монотонність праці може стати причиною зниження функціональної активності організму. Виконання однотипних операцій з налаштування та контролю процесу різання протягом тривалого часу призводить до розвитку

стану, який характеризується зниженням уваги, збільшенням кількості помилок та загальним зниженням продуктивності праці.

Для об'єктивної оцінки умов праці на робочому місці оператора машини термічного різання було проведено гігієнічну класифікацію відповідно до вимог [19]. Результати оцінки наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Гігієнічна класифікація умов праці оператора машини термічного різання

Фактор виробничого середовища	Фактичне значення	ГДР/ГДК	Клас умов праці
Температура повітря, °C	26-28	22-24	3,1 (шкідливі 1-го ступеня)
Теплове випромінювання, Вт/м ²	650	300	3,2 (шкідливі 2-го ступеня)
Відносна вологість, %	55-65	40-60	2 (допустимі)
Швидкість руху повітря, м/с	0,3-0,5	0,2-0,5	2 (допустимі)
Шум еквівалентний рівень, дБА	95-100	80	3,2 (шкідливі 2-го ступеня)
Пил (аерозолі конденсації), мг/м ³	18-22	6	3,2 (шкідливі 2-го ступеня)
Оксиди азоту (NO ₂), мг/м ³	3-5	2	3,1 (шкідливі 1-го ступеня)
Оксид вуглецю (CO), мг/м ³	15-25	20	3,1 (шкідливі 1-го ступеня)
Озон (O ₃), мг/м ³	0,15-0,25	0,1	3,1 (шкідливі 1-го ступеня)
Освітленість природна, лк	150-200	200	3,1 (шкідливі 1-го ступеня)
Освітленість штучна, лк	180-220	200	2 (допустимі)
Важкість праці	Середня	—	2 (допустимі)
Напруженість праці	Помірна	—	2 (допустимі)

Примітка: ГДР – гранично допустимий рівень; ГДК – гранично допустима концентрація.

Аналіз отриманих даних показує, що умови праці на робочому місці оператора машини термічного різання відносяться до класу 3.2 – шкідливі умови праці другого ступеня – за показниками теплового випромінювання, шуму та вмісту пилу в повітрі робочої зони. За іншими факторами умови праці класифікуються як шкідливі першого ступеня (клас 3.1) або допустимі (клас 2).

Відповідно до методики [19], загальна оцінка умов праці встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості. Таким чином, умови праці оператора машини термічного різання офіційно класифікуються як шкідливі другого ступеня (клас 3.2), що вимагає розробки та впровадження комплексу заходів щодо зниження впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів на здоров'я працюючих.

2.9.2 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці

Для забезпечення безпечних умов праці при експлуатації модернізованої машини термічного різання розроблено комплекс організаційних та технічних заходів, що охоплює всі аспекти виробничої діяльності.

2.9.2.1 Організаційні заходи

Навчання та інструктаж персоналу є основою безпечної експлуатації обладнання. Відповідно до вимог [24], кожен працівник, який допускається до роботи на машині термічного різання, проходить багаторівневу систему підготовки. Спочатку при прийомі на роботу проводиться вступний інструктаж з охорони праці, під час якого працівника ознайомлюють із загальними правилами безпеки на підприємстві, основними небезпечними факторами та правилами поведінки в аварійних ситуаціях. Далі слідує первинний інструктаж безпосередньо на робочому місці, де детально розглядаються специфічні небезпеки, пов'язані з експлуатацією машини термічного різання, порядок виконання робочих операцій та використання засобів індивідуального захисту.

Після інструктажів працівник проходить стажування тривалістю не менше двох змін під керівництвом досвідченого наставника. Під час стажування відпрацьовуються практичні навички безпечної роботи, дії у нестандартних та аварійних ситуаціях. Завершується підготовка перевіркою знань з охорони праці

комісією підприємства та отриманням посвідчення встановленого зразка, що дає право на самостійну роботу.

Для підтримання знань на належному рівні проводиться повторний інструктаж не рідше одного разу на шість місяців. При зміні технологічного процесу, впровадженні нового обладнання або після порушення працівниками вимог охорони праці організовується позаплановий інструктаж. При виконанні робіт підвищеної небезпеки за нарядом-допуском проводиться цільовий інструктаж з розглядом специфічних умов роботи.

Програма навчання операторів машини термічного різання включає теоретичну частину обсягом сорок годин та практичне навчання тривалістю тридцять дві години. Під час теоретичного навчання розглядаються питання будови та принципу роботи обладнання, небезпечні фактори та методи захисту від них, основи електробезпеки, пожежна безпека, надання першої допомоги потерпілим. Практична частина передбачає відпрацювання навичок безпечного виконання всіх операцій, пов'язаних з експлуатацією машини.

Атестація робочих місць за умовами праці проводиться згідно з вимогами [25] не рідше одного разу на п'ять років. Ця процедура дозволяє об'єктивно оцінити фактичний стан умов праці та визначити необхідність додаткових заходів захисту. За результатами атестації встановлюється клас умов праці, визначається необхідність застосування засобів індивідуального та колективного захисту, встановлюються оптимальні режими праці та відпочинку. Крім того, атестація є підставою для надання працівникам пільг та компенсацій за роботу в шкідливих умовах, передбачених законодавством.

Медичні огляди працівників є важливим елементом профілактики професійних захворювань. Відповідно до вимог [26], оператори машини термічного різання підлягають обов'язковим попереднім та періодичним медичним оглядам. Попередній медичний огляд проводиться при прийомі на роботу з метою визначення придатності кандидата до виконання роботи за станом здоров'я. Періодичні медичні огляди проводяться щорічно протягом усього періоду роботи в шкідливих умовах.

Медичні огляди проводяться за участю терапевта, отоларинголога, офтальмолога та невропатолога. Обов'язковими є інструментальні дослідження: спірометрія для оцінки функції зовнішнього дихання, аудіометрія для перевірки слуху, біомікроскопія ока для виявлення ранніх ознак ушкодження органів зору. Також проводяться флюорографія органів грудної клітки, загальний аналіз крові та інші дослідження за показаннями. Метою періодичних оглядів є раннє виявлення професійних захворювань, коли ще можливе ефективне лікування та профілактика подальшого погіршення стану здоров'я.

Режим праці та відпочинку для операторів машини термічного різання встановлюється з урахуванням шкідливих умов праці. Згідно з вимогами [27], тривалість робочого тижня скорочується до тридцяти шести годин замість стандартних сорока. Працівникам надається додаткова відпустка за роботу в шкідливих умовах тривалістю сім календарних днів на рік. Протягом робочої зміни передбачені регламентовані перерви для відпочинку — по п'ятнадцять хвилин через кожні дві години роботи. Під час цих перерв працівники можуть відпочити в спеціально обладнаному приміщенні з нормальним мікрокліматом. Забороняється залучення операторів до понаднормової роботи та роботи у вихідні дні без додаткового медичного огляду.

При виникненні нещасних випадків на виробництві проводиться розслідування згідно з порядком, встановленим у документі [28]. Створюється комісія у складі представників роботодавця, профспілкової організації та служби охорони праці. Комісія з'ясовує обставини нещасного випадку, встановлює причини та осіб, що допустили порушення вимог охорони праці. За результатами розслідування складається акт форми Н-1, розробляються заходи щодо усунення причин травматизму та попередження подібних випадків у майбутньому.

2.9.2.2 Технічні заходи

Забезпечення електробезпеки є одним з найважливіших технічних заходів при експлуатації машини термічного різання. Усе електрообладнання має ступінь захисту не нижче IP20 згідно з класифікацією [29], що забезпечує захист від доторкання до струмопровідних частин пальцями та від потрапляння твердих предметів розміром понад дванадцять міліметрів. Корпуси електродвигунів, шафи керування, металеві оболонки кабелів — усі металеві нерухомі частини, які можуть опинитися під напругою при пошкодженні ізоляції, надійно приєднані до захисного заземлення відповідно до вимог [30].

Опір заземлюючого пристрою не перевищує чотирьох Ом при напрузі електроустановки до тисячі вольт. Перевірка опору заземлення проводиться спеціалізованою електролабораторією не рідше одного разу на рік з оформленням протоколу випробувань. Живлення електроустановок здійснюється в мережі з глухозаземленою нейтраллю з застосуванням системи захисного заземлення та занулення за схемою TN-S, що забезпечує надійний захист при виникненні несправностей.

На вводі живлення машини встановлені пристрої захисного вимикання з диференційним струмом спрацьовування не більше тридцяти міліампер. Ці пристрої забезпечують автоматичне відключення живлення при виникненні струму витоку на корпус або при доторканні людини до струмопровідних частин під напругою. Час спрацьовування не перевищує 0,03 секунди, що гарантує безпеку персоналу навіть при прямому контакті з елементами під напругою.

Частотний перетворювач SINAMICS V20 обладнаний комплексом вбудованих засобів захисту. Електронна система контролю постійно моніторить параметри роботи та автоматично відключає обладнання при виникненні короткого замикання, перевантаження по струму, перенапруги або пониженої напруги живильної мережі, перегріву силових елементів. При спрацьовуванні захисту на дисплеї перетворювача відображається код помилки, що дозволяє швидко визначити причину відключення та усунути несправність.

Робота на електроустановках напругою понад сорок два вольти змінного струму дозволяється тільки після повного зняття напруги, вивішування попереджувальних плакатів та перевірки відсутності напруги за допомогою спеціального вказівника. Персонал, що обслуговує електроустановки, повинен мати групу з електробезпеки не нижче третьої для роботи на електроустановках напругою до тисячі вольт. Оператори машини, які не виконують ремонтних робіт на електрообладнанні, повинні мати групу з електробезпеки не нижче другої.

Захист від механічних травм забезпечується комплексом технічних рішень. Небезпечні зони переміщення порталу та каретки огорожені захисними бар'єрами висотою не менше одного метра, встановленими на відстані не менше половини метра від габаритів машини згідно з вимогами [31]. На рухомі частини машини нанесені яскраві попереджувальні знаки безпеки відповідно до стандарту [32].

Машина обладнана системою блокування, яка унеможливорює пуск при відкритих захисних огороженнях. Кінцеві вимикачі на огороженнях з'єднані з системою керування таким чином, що відкриття будь-якого огороження автоматично знеструмлює приводи машини. На пульті керування в зоні постійної доступності оператора розміщена кнопка аварійної зупинки типу «грибок» червоного кольору. Натискання цієї кнопки призводить до миттєвого знеструмлення всіх приводів машини та апарату плазмового різання.

Для попередження персоналу про початок руху механізмів застосовується система світлової та звукової сигналізації. За три секунди до початку руху автоматично вмикається звуковий сигнал та світлові маячки жовтого кольору, що дає достатньо часу для відходу від небезпечної зони.

Захист від шуму та вібрації реалізується через комплекс конструктивних та організаційних заходів. Машина встановлена на спеціальний віброізолюючий фундамент, під опори машини застосовані віброгасні прокладки згідно з рекомендаціями [33]. На вихлопі системи стисненого повітря апарату плазмового різання встановлені глушники шуму, що знижують рівень звукового

тиску на 15-20 дБА. Сам апарат плазмового різання АПР-404 розташований у окремому приміщенні зі звукоізолюючими огороженнями.

Важливим технічним рішенням стало використання асинхронного двигуна з низьким рівнем шуму замість двигуна постійного струму. Асинхронний двигун генерує шум не більше 65 дБА на відстані одного метра, що дозволило знизити загальний рівень шуму машини на 5-8 дБА. Додатково оператори забезпечуються засобами індивідуального захисту органів слуху – протишумовими навушниками або вкладишами, що забезпечують зниження рівня шуму на 25-30 дБА.

Для зниження впливу теплового випромінювання між зоною різання та робочим місцем оператора на відстані не менше двох метрів встановлені захисні теплоізолюючі екрани з негорючих матеріалів – азбестоцементних або металевих листів з теплоізолюючим покриттям. Робоче місце оператора обладнане системою місцевого повітряного душення, яка подає повітря температурою 18-20°C зі швидкістю 1,5-2,0 м/с згідно з вимогами [34]. Оператори забезпечені спеціальним одягом з термостійких тканин з коефіцієнтом відбиття теплового випромінювання не менше 0,5.

При роботі в зоні підвищеного теплового випромінювання встановлено спеціальний режим праці з додатковими регламентованими перервами по п'ятнадцять хвилин через кожні сорок п'ять хвилин роботи. Під час перерв працівники відпочивають у приміщенні з комфортним мікрокліматом, що дозволяє уникнути перегрівання організму.

Захист від оптичного випромінювання плазмової дуги забезпечується встановленням стаціонарних захисних ширм з матеріалів, що не пропускають ультрафіолетове випромінювання. Використовується спеціальне скло марок С5-С7, яке затримує понад 99,9% шкідливого випромінювання. Оператори при спостереженні за процесом плазмового різання застосовують захисні щитки зі світлофільтрами марки Г-3 або Г-4 згідно з вимогами [35]. При кисневому різанні використовуються спеціальні захисні окуляри зі світлофільтрами відповідної

оптичної густини. На обладнанні нанесені попереджувальні знаки про небезпеку оптичного випромінювання.

Система вентиляції та очищення повітря робочої зони є критично важливою для забезпечення безпечних умов праці. Машина термічного різання обладнана місцевим відсмоктувачем у вигляді зонта, який переміщується разом з різакон та забезпечує локалізацію шкідливих виділень безпосередньо в зоні їх утворення. Конструкція відсмоктувача забезпечує швидкість повітря в робочому отворі не менше 1,5 м/с згідно з вимогами [36].

Продуктивність місцевої витяжної вентиляції розраховується виходячи з необхідності підтримання концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони на рівні, що не перевищує гранично допустимих концентрацій. Розрахунок проводиться за формулою, що враховує масу шкідливих речовин, що виділяються за годину, їх гранично допустиму концентрацію, густину повітря при робочій температурі та коефіцієнт запасу. Для даної машини при одночасній роботі кисневого та плазмового різаків розрахункова продуктивність місцевої витяжної вентиляції становить близько 4500 м³/год.

Повітря, що видаляється системою вентиляції, проходить двоступеневе очищення. Спочатку у циклонному пилоуловлювачі з ефективністю очищення не менше 85% осідають крупні частинки пилу. Потім повітря проходить через фільтр тонкого очищення з ефективністю не менше 95%, що дозволяє затримати дрібнодисперсний пил перед викидом в атмосферу згідно з вимогами [37].

У цеху також функціонує загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція з кратністю повітрообміну 4-6 год⁻¹. Ця система забезпечує видалення надлишків тепла та розбавлення концентрації шкідливих речовин, які не вловлюються місцевою витяжною вентиляцією. Система вентиляції обладнана автоматичною блокуванням – пуск машини термічного різання неможливий при вимкненій або несправній вентиляції, що гарантує безпечні умови праці.

Нормалізація параметрів мікроклімату досягається комплексом заходів. Огороджувальні конструкції будівлі – стіни та покриття – мають якісну теплоізоляцію, що зменшує теплові втрати в холодний період року та

теплонадходження в теплий період. У холодний період працює система повітряного опалення з подачею нагрітого повітря безпосередньо в робочу зону. Температура повітря, що подається, не перевищує 40°C, швидкість руху повітря обмежена 0,3 м/с, щоб уникнути дискомфорту працюючих.

Приміщення блоку керування системою числового програмного керування обладнане системою кондиціонування, яка підтримує оптимальні параметри мікроклімату – температуру 20-22°C та відносну вологість 40-60%. Це важливо для надійної роботи електронного обладнання та комфорту персоналу. Для персоналу обладнано спеціальну кімнату відпочинку з температурою повітря 22-24°C, системами опалення та вентиляції, зручними місцями для сидіння.

Забезпечення нормованих параметрів освітлення здійснюється через систему комбінованого освітлення. Згідно з вимогами [23], для робіт середньої точності нормована освітленість при загальному освітленні становить 200 лк, а при місцевому освітленні на робочому місці – 750 лк.

У цеху встановлена система загального рівномірного освітлення з використанням сучасних світильників з люмінесцентними або світлодіодними лампами. Світильники розташовані на висоті 6-8 метрів від рівня підлоги та мають ступінь захисту IP54, що забезпечує захист від пилу та бризок води згідно з класифікацією [29]. Місцеве освітлення на робочому місці оператора забезпечується переносними світильниками потужністю 60-100 Вт з напругою живлення не вище 42 В для електробезпеки.

Світильники обладнані розсіювачами та відбивачами для забезпечення рівномірного розподілу освітленості та зменшення сліпучої дії. Регулярне очищення світильників від пилу проводиться не рідше одного разу на три місяці, своєчасно замінюються несправні лампи для підтримання нормованого рівня освітленості. Максимально використовується природне освітлення через світлові прорізи в покритті та бічні вікна будівлі. Коефіцієнт природної освітленості в приміщенні становить 1,5-2,0%, що відповідає вимогам для виробничих приміщень з даним розрядом робіт.

Захист від електромагнітних полів забезпечується екрануванням силових кабелів за допомогою металевих оплеток або прокладанням кабелів у металевих лотках, з'єднаних з системою заземлення. Ефективність екранування становить не менше 30 дБ у діапазоні частот від 10 кГц до 30 МГц. На вході живлення частотного перетворювача встановлені електромагнітні фільтри відповідно до вимог [38] для зниження рівня кондуктивних перешкод.

Частотний перетворювач та апарат плазмового різання розташовані в металевих шафах, що забезпечують додаткове екранування електромагнітних полів. Додержуються безпечні відстані від джерел електромагнітного випромінювання до робочих місць персоналу – мінімальна відстань від частотного перетворювача до постійного робочого місця становить не менше 0,5 метра згідно з вимогами [22]. Періодично, не рідше одного разу на рік, проводиться контроль рівнів електромагнітних полів на робочих місцях за допомогою атестованих засобів вимірювальної техніки.

2.9.3 Засоби індивідуального захисту та організація медичного обслуговування

Для захисту персоналу від дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що не можуть бути повністю усунені технічними засобами колективного захисту, застосовуються засоби індивідуального захисту згідно з вимогами [39].

Спеціальний одяг оператора машини термічного різання включає костюм зварювальника брезентовий, що складається з куртки та брюк з вогнезахисним просоченням. Цей одяг забезпечує надійний захист від іскор, бризок розплавленого металу та теплового випромінювання. Термін носіння костюму становить дванадцять місяців згідно з нормами [40]. Для додаткового захисту тулуба при роботах з підвищеною небезпекою опіків використовується фартух брезентовий з вогнезахисним просоченням з аналогічним терміном носіння.

Спеціальне взуття представлене черевиками шкіряними на підошві, стійкій до впливу високих температур, з металевим підноском для захисту пальців ніг від механічних ушкоджень та із захистом від проколювання підошви. Такі черевики забезпечують комплексний захист стоп від термічних та механічних травм. Термін носіння – дванадцять місяців.

Для захисту голови від механічних ушкоджень при можливому падінні предметів використовується каска захисна протиударна. Термін її використання – до зносу, але не більше трьох років, після чого каска підлягає заміні навіть при відсутності видимих пошкоджень, оскільки властивості матеріалу з часом погіршуються.

Засоби захисту очей та обличчя є критично важливими при роботі з термічним різанням. Основним засобом є щиток захисний зварювальника зі світлофільтром марки Г-3 або Г-4, який забезпечує повний захист очей та обличчя від ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання плазмової дуги. При роботі з кисневим різанням використовуються окуляри захисні зі світлофільтрами меншої оптичної густини. Для виконання допоміжних операцій, таких як очищення деталей або заміна оснащення, застосовуються відкриті захисні окуляри для захисту від механічних часток. Терміни носіння: щиток – до зносу, окуляри – дванадцять місяців.

Засоби захисту органів дихання представлені респіраторами протиаерозольними типу «Пелюстка» або аналогічними з класом захисту FFP2. Ці респіратори забезпечують ефективність фільтрації не менше 94% і захищають від пилу та аерозолів конденсації оксидів металів. Термін носіння – до зносу або засмічення фільтрів, але не більше одного місяця. При підвищених концентраціях шкідливих газів використовуються респіратори з комбінованими фільтрами типу A2P2 або повнолицьові маски з примусовою подачею очищеного повітря.

Для захисту органів слуху від шуму застосовуються навушники протишумові або вкладиші протишумові з ефективністю зниження рівня звуку

не менше 25 дБА. Навушники служать дванадцять місяців, вкладиші одноразового використання – один місяць.

Засоби захисту рук включають рукавиці брезентові з вогнезахисним просоченням для захисту кистей від іскор, бризок розплавленого металу та теплового випромінювання з терміном носіння один місяць. Для виконання робіт на електроустановках використовуються рукавиці гумові діелектричні з терміном носіння дванадцять місяців та обов'язковою перевіркою електроізоляційних властивостей кожні шість місяців.

Засоби дерматологічного захисту представлені пастами та кремами для захисту відкритих ділянок шкіри від забруднення металевим пилом, мастилами та іншими речовинами. Ці засоби застосовуються перед початком роботи та після перерв. Після закінчення роботи для очищення шкіри використовуються спеціальні миючі засоби.

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту здійснюється безоплатно згідно з нормами, встановленими у документі [40]. Видача засобів індивідуального захисту реєструється в особовій картці обліку, яка ведеться на кожного працівника. Працівники зобов'язані правильно застосовувати та зберігати видані їм засоби захисту, своєчасно інформувати роботодавця про необхідність чищення, прання, ремонту або заміни.

Роботодавець забезпечує своєчасну видачу засобів індивідуального захисту згідно з встановленими нормами, контролює правильність їх застосування працівниками, організовує належне зберігання, чищення, прання та ремонт. При псуванні засобів захисту до закінчення терміну носіння з незалежних від працівника причин забезпечується їх заміна або ремонт за рахунок роботодавця. Засоби індивідуального захисту, такі як респіратори, діелектричні рукавиці та каски, підлягають періодичним випробуванням та перевірці справності у встановлені терміни.

Організація медичного обслуговування працівників є важливою складовою системи охорони праці. Відповідно до вимог [26], працівники, які зазнають

впливу шкідливих виробничих факторів, підлягають обов'язковим медичним оглядам двох типів – попереднім та періодичним.

Попередні медичні огляди проводяться при прийомі на роботу з метою визначення відповідності стану здоров'я працівника роботі, яку він має виконувати. Огляд проводиться комісією за участю терапевта, отоларинголога, офтальмолога та невропатолога. Обов'язковими є дослідження: рентгенографія або флюорографія органів грудної клітки, спірометрія для оцінки функції зовнішнього дихання, аудіометрія для перевірки слуху, біомікроскопія ока для оцінки стану очей, електрокардіографія, загальний аналіз крові та сечі.

Періодичні медичні огляди проводяться не рідше одного разу на рік протягом усього періоду роботи в шкідливих умовах. Ці огляди спрямовані на динамічне спостереження за станом здоров'я працівників, раннє виявлення професійних захворювань, виявлення загальних захворювань, що є медичними протипоказаннями до продовження роботи в шкідливих умовах, та своєчасне проведення профілактичних заходів.

За результатами медичних оглядів складається підсумковий акт, в якому зазначається загальна кількість оглянутих працівників, кількість виявлених професійних захворювань та професійних отруєнь, кількість осіб з підозрою на професійне захворювання, направлених на поглиблене обстеження, кількість осіб з виявленими загальними захворюваннями, кількість осіб, яким встановлені протипоказання до продовження роботи в шкідливих умовах. У акті також формулюються рекомендації щодо оздоровлення працівників та поліпшення умов праці.

Працівники, у яких виявлено професійне захворювання, направляються на лікування до спеціалізованих медичних закладів. Питання про можливість продовження роботи в шкідливих умовах вирішується лікарсько-консультативною комісією з урахуванням висновків профспатолога та результатів поглибленого обстеження.

Підприємство забезпечує створення санітарного поста в цеху, оснащеного аптечкою першої допомоги з необхідним набором медикаментів та

перев'язувальних матеріалів. Працівники проходять навчання прийомам надання першої допомоги при нещасних випадках, включаючи електротравми, опіки, механічні травми та отруєння. У доступних місцях розміщені інструкції з надання першої допомоги та плакати з техніки виконання реанімаційних заходів. Забезпечена можливість швидкого виклику медичної допомоги та транспортування потерпілих до медичного закладу.

2.9.4 Пожежна безпека

Цех металоконструкцій, в якому експлуатується машина термічного різання, відноситься до категорії В за вибухопожежною та пожежною небезпекою згідно з класифікацією [41]. Ця категорія встановлена з урахуванням того, що в приміщенні використовуються горючі гази – ацетилен, природний газ, пропан – для газополуменевого різання, горючі рідини у вигляді мастил та гідравлічних рідин, а також присутні горючі матеріали, такі як дерев'яні піддони, обтиральні матеріали та ізоляція електричних кабелів.

Можливі причини виникнення пожежі в цеху досить різноманітні. Найбільш очевидна небезпека пов'язана з потраплянням іскор та бризок розплавленого металу від зони різання на горючі матеріали. При термічному різанні іскри можуть відлітати на відстань до десяти метрів, і якщо в цій зоні знаходяться дерев'яні піддони, обтиральне ганчір'я або пакувальні матеріали, вони можуть загорітися.

Серйозну небезпеку становить можливість витікання горючих газів з несправного обладнання, шлангів або з'єднань. При витіканні газу в приміщення утворюється вибухонебезпечна суміш з повітрям, яка може запалитися від іскор, відкритого вогню або розігрітих поверхонь. Особливо небезпечним є ацетилен, який утворює вибухонебезпечні суміші з повітрям в широкому діапазоні концентрацій.

Короткі замикання в електропроводці або електрообладнанні внаслідок пошкодження ізоляції, перевантаження або неякісного монтажу можуть

призвести до виділення значної кількості тепла, достатнього для запалення ізоляції кабелів та розташованих поблизу горючих матеріалів. Перегрівання електрообладнання – електродвигунів, частотного перетворювача, трансформаторів – при тривалій роботі в режимі перевантаження або при недостатньому охолодженні внаслідок забруднення вентиляційних отворів пилом також може стати причиною пожежі.

Специфічною причиною пожеж у механічних цехах є самозаймання промасленого обтирального матеріалу. При зберіганні такого матеріалу в необладнаних місцях без доступу повітря відбуваються процеси окиснення мастил з виділенням тепла, що може призвести до самозаймання. Нарешті, порушення працівниками правил пожежної безпеки – куріння в невстановлених місцях, застосування відкритого вогню для підігрівання деталей, зберігання горючих матеріалів у виробничих приміщеннях у кількостях, що перевищують змінну потребу – також є поширеними причинами пожеж.

2.9.4.1 Організаційні заходи пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки розроблено та затверджено інструкції з пожежної безпеки для цеху металоконструкцій та окремо для робочого місця оператора машини термічного різання згідно з вимогами [42]. Наказом по підприємству призначено відповідальну особу за пожежну безпеку в цеху. Ця особа проходить навчання з питань пожежної безпеки в обсязі пожежно-технічного мінімуму з подальшою перевіркою знань у спеціалізованих навчальних центрах.

Всі працівники цеху без винятку проходять вступний та первинний інструктажі з пожежної безпеки при прийомі на роботу. Повторний інструктаж проводиться не рідше одного разу на рік згідно з вимогами нормативних документів [42]. Під час інструктажів працівники ознайомлюються з правилами пожежної безпеки в цеху, порядком дій при виявленні пожежі, розташуванням евакуаційних виходів та первинних засобів пожежогасіння.

Розроблено план евакуації людей на випадок пожежі з нанесенням розташування евакуаційних виходів, засобів пожежогасіння, місць розташування кнопок пожежної сигналізації. План евакуації виконаний у яскравому кольоровому форматі та розміщений на видних місцях біля виходів з приміщення, щоб будь-хто міг швидко зорієнтуватися в аварійній ситуації.

Для відпрацювання дій персоналу при виникненні пожежі проводяться тренування з евакуації людей не рідше двох разів на рік. Під час тренувань перевіряється справність систем оповіщення про пожежу, можливість безпечної евакуації всіх працюючих, знання персоналом маршрутів евакуації та місць збору після евакуації. За результатами тренувань складається акт з висновками та рекомендаціями щодо поліпшення організації евакуації.

У цеху встановлено протипожежний режим, який регламентує всі аспекти пожежної безпеки: порядок зберігання горючих матеріалів, місця для куріння, порядок прибирання виробничих приміщень, правила проведення вогневих робіт, порядок огляду та закриття приміщень після закінчення роботи. Протипожежний режим затверджено наказом керівника підприємства та доведено до відома всіх працівників.

2.9.4.2 Технічні заходи пожежної безпеки

Приміщення цеху обладнано сучасною автоматичною пожежною сигналізацією. На стелі встановлені димові та теплові пожежні сповіщувачі з кроком не більше дев'яти метрів згідно з вимогами [43]. Димові сповіщувачі реагують на появу диму в приміщенні, теплові – на підвищення температури понад встановлений поріг. При спрацьовуванні будь-якого сповіщувача сигнал автоматично передається на приймально-контрольний пожежний прилад, розташований на посту охорони, з одночасним включенням системи оповіщення про пожежу.

Система оповіщення людей про пожежу включає світлові табло «ВИХІД», звукові сирени та мовне оповіщення згідно з вимогами [44]. При виникненні

пожежі система автоматично включає звукові сигнали в усьому приміщенні та транслює голосове повідомлення про необхідність евакуації з вказівкою найближчих евакуаційних виходів. Така система забезпечує можливість оповіщення всіх людей, що знаходяться в приміщенні, незалежно від їх місця розташування.

Евакуаційні виходи з цеху обладнані дверима, що відкриваються назовні за напрямком евакуації, мають ширину не менше 1,2 метра та висоту не менше 2,0 метрів. Двері не обладнані замками, що перешкоджають їх вільному відкриванню зсередини без ключа – використовуються тільки антипанічні пристрої, які дозволяють відкрити двері простим натисканням. Евакуаційні шляхи та виходи постійно утримуються вільними, не захащується матеріалами, обладнанням або тарою. Ширина евакуаційних проходів становить не менше 1,5 метра згідно з вимогами [45], що забезпечує можливість швидкої евакуації великої кількості людей одночасно.

На випадок відключення електроенергії під час пожежі евакуаційні шляхи та виходи обладнані системою аварійного евакуаційного освітлення з живленням від автономних джерел – акумуляторних батарей. Ця система забезпечує освітленість не менше 0,5 лк на рівні підлоги, чого достатньо для безпечного руху людей до виходу навіть у повній темряві.

Електропроводка в цеху виконана кабелем з мідними жилами в негорючій ізоляції, прокладеним у металевих лотках або трубах. Застосування кабелів з алюмінієвими жилами в приміщеннях категорії В не допускається згідно з вимогами [30], оскільки алюміній має більший перехідний опір у з'єднаннях, що може призвести до їх нагрівання та виникнення пожежі.

Електрообладнання надійно захищене від струмів короткого замикання та перевантаження за допомогою автоматичних вимикачів з відповідними характеристиками спрацьовування. Номінальні струми плавких вставок запобіжників або уставки автоматичних вимикачів ретельно вибрані відповідно до розрахункових струмів навантаження, щоб забезпечити надійний захист при аварійних режимах без хибних спрацьовувань при номінальному режимі роботи.

Частотний перетворювач SINAMICS V20 обладнано вбудованою системою термозахисту, що автоматично відключає обладнання при перевищенні допустимої температури силових елементів. Температура спрацьовування захисту для IGBT- модулів встановлена на рівні 85°C, що гарантує відключення обладнання до досягнення критичних температур, які могли б призвести до пошкодження або займання.

Горючі гази зберігаються у спеціально обладнаному приміщенні – газовому складі, розташованому окремо від виробничих приміщень. Балони з газами встановлюються вертикально в спеціальних металевих стелажах або клітках, захищених від впливу прямих сонячних променів та атмосферних опадів. Газовий склад має природну вентиляцію з витяжкою у верхній частині приміщення для видалення можливих витоків легких газів та припливом у нижній частині для видалення важких газів.

Газопроводи, що підводять гази до машини термічного різання, виконані з мідних або сталевих труб з товщиною стінки, достатньою для безпечної експлуатації при робочому тиску. З'єднання труб виконані зварюванням або на різьбі з обов'язковим ущільненням та герметизацією. На газопроводах встановлені запірні крани, які дозволяють швидко перекрити подачу газу в аварійній ситуації, та зворотні клапани для запобігання зворотного удару полум'я в газопровід.

Шланги для подачі газів та кисню мають кольорове маркування згідно зі стандартами: червоний колір – для горючих газів, синій – для кисню. Шланги виготовлені з негорючих або важкогорючих матеріалів, надійно закріплені на штуцерах за допомогою металевих хомутів. Довжина шлангів не перевищує тридцяти метрів, оскільки при більшій довжині зростають втрати тиску та знижується керованість процесом. Не допускається використання шлангів з механічними пошкодженнями, тріщинами, пропалами або з терміном служби, що перевищує встановлений виробником.

Перед початком кожної зміни з кисневого або плазмового різання проводиться ретельна перевірка справності обладнання, герметичності з'єднань,

відсутності витоків газів. Для перевірки герметичності використовується мильний розчин, який наноситься на з'єднання – поява бульбашок свідчить про наявність витoku. Використання відкритого вогню для перевірки герметичності категорично забороняється, оскільки це може призвести до вибуху або пожежі.

2.9.4.3 Первинні засоби пожежогасіння

Цех металоконструкцій обладнано первинними засобами пожежогасіння згідно з нормами [46]. Розрахункова кількість вогнегасників визначається виходячи з площі приміщення, категорії за пожежною небезпекою та класів можливих пожеж.

Для гасіння пожеж класу А, тобто горіння твердих речовин – дерева, паперу, тканин – передбачені вогнегасники порошкові ВП-5 або вуглекислотні ВВК-3,5 з розрахунку один вогнегасник на 200 квадратних метрів площі приміщення. Порошкові вогнегасники універсальні та ефективні при гасінні більшості типів пожеж. Вуглекислотні вогнегасники особливо ефективні при гасінні електрообладнання під напругою.

Для гасіння пожеж класу Е – горіння електроустановок під напругою – застосовуються виключно вогнегасники вуглекислотні ВВК-3,5 або порошкові ВП-5. Ці вогнегасники розташовані безпосередньо біля електрощитів та шаф керування на відстані не далі п'яти метрів, щоб у разі виникнення пожежі можна було швидко приступити до гасіння. Водні або пінні вогнегасники для гасіння електроустановок під напругою не використовуються, оскільки вода та водні розчини є провідниками електричного струму і створюють небезпеку ураження людини, що гасить пожежу.

Вогнегасники розміщені на видних та легкодоступних місцях на висоті не більше 1,5 метра від рівня підлоги до рукоятки вогнегасника, щоб будь-який працівник міг швидко його зняти та застосувати. Забезпечений вільний доступ до вогнегасників – біля них не складуються матеріали або обладнання. Кожен

вогнегасник забезпечено табличкою з вказівкою типу вогнегасника, дати останньої перевірки та дати наступної чергової перевірки.

У приміщенні встановлено пожежні щити, обладнані необхідним інвентарем для гасіння пожежі: ломами для розбирання конструкцій, сокирами для рубання дерев'яних елементів, багра для розбирання палаючих матеріалів та їх витягування, лопатами для засипання осередків пожежі піском. На пожежних щитах розміщені відра, використовувані для подачі води або піску на осередок пожежі. Біля пожежних щитів встановлені ящики з піском обсягом не менше 0,5 кубічного метра. Пісок є ефективним засобом гасіння невеликих осередків пожежі горючих рідин та електрообладнання під напругою.

Всі первинні засоби пожежогасіння утримуються у справному стані. Вогнегасники підлягають періодичній перевірці та перезарядженню згідно з інструкціями виробників. Порошкові вогнегасники перезаряджаються не рідше одного разу на п'ять років, вуглекислотні – після кожного використання або при зниженні маси заряду більш ніж на десять відсотків. Результати перевірок фіксуються в журналі обліку первинних засобів пожежогасіння та на етикетках на корпусах вогнегасників.

У приміщенні цеху встановлені внутрішні пожежні крани, під'єднані до внутрішнього протипожежного водопроводу. Кожен пожежний кран обладнаний пожежним рукавом довжиною п'ятнадцять або двадцять метрів та пожежним стволом. Пожежні крани розташовані таким чином, щоб кожна точка приміщення могла бути досягнута хоча б одним струменем води. Периметр зони дії кожного крана з урахуванням довжини рукава становить не менше двадцяти п'яти метрів.

Відповідальність за утримання первинних засобів пожежогасіння у справному стані, їх своєчасну перевірку та перезарядження покладена на призначену наказом відповідальну особу. Щомісяця проводиться огляд усіх засобів пожежогасіння з перевіркою їх наявності, доступності та зовнішнього стану. Результати оглядів фіксуються в спеціальному журналі.

Усі працівники цеху проходять практичне навчання з використання первинних засобів пожежогасіння. Під час навчання відпрацьовуються навички зняття вогнегасника, приведення його в дію, правильного спрямування струменя вогнегасної речовини, гасіння різних типів пожеж. Особлива увага приділяється правилам безпеки при гасінні електрообладнання під напругою.

Комплекс організаційних та технічних заходів з пожежної безпеки дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення пожежі в цеху металоконструкцій та забезпечує можливість швидкої локалізації та гасіння осередку пожежі у разі його виникнення, що захищає життя та здоров'я працівників і запобігає значним матеріальним збиткам.

Проведений аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів показав, що експлуатація машини термічного різання ПКПЛЦ-3,5-6 пов'язана зі складним комплексом ризиків для здоров'я персоналу. Умови праці оператора класифіковані як шкідливі другого ступеня за показниками теплового випромінювання, шуму та вмісту пилу в повітрі робочої зони, що вимагає застосування комплексу захисних заходів.

Розроблений комплекс організаційних заходів охоплює навчання та інструктаж персоналу, атестацію робочих місць, медичні огляди працівників, оптимізацію режимів праці та відпочинку. Технічні заходи включають забезпечення електробезпеки, захист від механічних травм, зниження рівня шуму та вібрації, захист від теплового та оптичного випромінювання, ефективну вентиляцію та нормалізацію параметрів мікроклімату та освітлення.

Впровадження автоматичної системи стабілізації положення різача сприяє зниженню психоемоційного навантаження на оператора та підвищує загальний рівень безпеки експлуатації обладнання. Застосування засобів індивідуального захисту та організація регулярного медичного обслуговування працівників дозволяють своєчасно виявляти та попереджувати розвиток професійних захворювань.

Заходи з пожежної безпеки, включаючи автоматичну пожежну сигналізацію, систему оповіщення, первинні засоби пожежогасіння та

дотримання протипожежного режиму, забезпечують надійний захист від виникнення та поширення пожеж у цеху металоконструкцій.

ВИСНОВКИ

У ході виконання випускної кваліфікаційної роботи було проведено комплексний аналіз технологічних процесів кисневого та плазмового різання металу, а також досліджено існуючу систему стабілізації робочого зазору на машині термічного різання ПКПЛЩ - 3,5 - 6.

Встановлено, що застосовувана щупова система стабілізації є морально застарілою: вона забезпечує точність лише ± 2 мм, має контактний принцип роботи, що призводить до швидкого зносу мікроперемикачів, і несумісна з сучасними вимогами до автоматизації, зокрема при виконанні різання зі скосом кромek під зварювання. У зв'язку з цим на практиці система відключена, а керування висотою різача здійснюється оператором вручну, що знижує продуктивність, якість заготовок і суперечить принципам сучасного автоматизованого виробництва.

На підставі техніко-економічного аналізу було обґрунтовано доцільність заміни існуючого електроприводу на основі двигуна постійного струму СЛ - 369М на асинхронний двигун з частотним перетворювачем на базі IGBT-транзисторів. Таке рішення забезпечує:

- підвищену надійність у складних умовах (запиленість, вологість, температурні коливання);
- енергоефективність;
- можливість плавного регулювання швидкості та обмеження пускових струмів;
- спрощення технічного обслуговування.

Сформульовано чіткі технічні вимоги до нової системи:

- хід вертикального переміщення – 300 мм;
- мінімальна швидкість вертикального переміщення – 0,025 м/с;
- використання безконтактних методів стабілізації: ємнісного датчика для кисневого різача та стабілізації за напруженою дугою – для плазмового.

Розроблено структурну схему системи з трьома вкладеними контурами регулювання (струму, швидкості, положення), що забезпечує високу динамічну точність позиціонування різака. Запропоновано використовувати сучасний частотний перетворювач SINAMICS V20, який повністю задовольняє поставлені технічні вимоги.

Економічна оцінка показала, що капітальні вкладення у розмірі 190 422 грн окупляться протягом 7,9 місяців. Основний економічний ефект досягається за рахунок:

- зниження відходів металу (71,9% загальної економії);
- економії електроенергії (14,5%);
- зменшення питомих умовно-постійних витрат (13,6%).

Запропоноване технічне рішення відповідає сучасним світовим тенденціям у галузі термічного різання, забезпечує можливість виробництва високоякісних заготовок без додаткової ручної обробки, підвищує ефективність виробничого процесу та є економічно доцільним при модернізації існуючого парку машин термічного різання в Україні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 5614–74. Машина термічного різання. Класи точності. – К.: Держстандарт України, 1974.
2. Дубінський В. С. Плазмові технології в металообробці. – Дніпро: Наука і освіта, 2016. – 212 с.
3. Agilent Technologies. (n.d.). Optical encoder AEAS-7000 series technical specifications [Data sheet]. Retrieved from <https://www.keysight.com>
4. GEME GmbH. (n.d.). Capacitive height and position sensors. Retrieved January 2026, from <https://www.geme.de/products/sensors>
5. Чиликін М. Г., Сандлер А. С. Основи автоматизованого електроприводу. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с.
6. Васильєв Б. І., Нікулін В. Ю. Електроприводи постійного та змінного струму: підручник. – К.: Фенікс, 2018. – 368 с.
7. Ковач К. П., Рац І. С. Перехідні процеси в машинах змінного струму. – Л.: Енергія, 1975. – 360 с.
8. Метлін С. Г. Системи автоматичного керування електроприводами. – К.: Техніка, 2005. – 288 с.
9. Руденко В. С., Сенько В. І. Основи електроприводу. – К.: Каравела, 2012. – 304 с.
10. Кіркоров В. І. Частотне регулювання асинхронних електроприводів: навч. посібник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 176 с.
11. Величко О. В., Кравець В. П. Теорія автоматичного керування: навч. посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2020. – 320 с.
12. Технологічна документація на кисневе різання металів. -- К.: Держстандарт України, 2022. -- 45 с.
13. Підвищення ефективності газополуменевого різання / В.І. Коваленко, О.М. Петров // Автоматичне зварювання. – 2023. – № 4. – С. 28 – 32.
14. Оптимізація параметрів плазмового різання / М.С. Іванов // Зварювальне виробництво. – 2024. – № 2. – С. 15 – 19.

15. Енергозбереження при застосуванні частотно-регульованого привода / А.П. Сидоренко // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2023. – № 3. – С. 42 – 47.

16. Якість термічного різання та шляхи її підвищення / Г.В. Мельник, С.І. Кравченко // Обробка матеріалів у машинобудуванні. – 2024. – № 1. – С. 35--40.

17. Автоматизація процесів термічного різання металів / О.В. Ткаченко // Вісник НТУУ "КПІ". Серія машинобудування. – 2023. – № 2. – С. 88 – 94.

18. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Затверджено наказом Держгірпромнагляду від 26.01.2005 № 15.

19. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42.

20. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 37.

21. ГН 2.2.5.1313-03. Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 14.01.2003.

22. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні правила і норми при роботі з джерелами електромагнітних полів. Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.08.2002 № 96.

23. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіон України, 2018.

24. НПАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4.

25. Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці. Затверджено постановою КМУ від 01.08.1992 № 442 (з змінами).

26. Порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій. Затверджено наказом МОЗ України від 21.05.2007 № 246.

27. КЗпП України. Кодекс законів про працю України від 10.12.1971 (з змінами).

28. Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві. Затверджено постановою КМУ від 17.04.2019 № 337.

29. ДСТУ EN 60529:2016. Ступені захисту, що забезпечуються оболонками (Код IP). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

30. ДСТУ ІЕС 60364-4-41:2016. Електроустановки низької напруги. Частина 4-41: Захист для забезпечення безпеки. Захист від ураження електричним струмом. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

31. ДСТУ EN ISO 14120:2018. Безпека машин. Огородження. Загальні вимоги до проектування та конструкції стаціонарних і рухомих огорожень. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

32. ДСТУ ISO 3864-1:2013. Графічні символи. Сигнальні кольори та знаки безпеки. Частина 1. Принципи розроблення знаків безпеки та сигнальної розмітки на робочих місцях. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014.

33. ДСТУ EN 1537:2003. Захист від вібрації та ударів. Вимоги до віброізоляції машин. Київ: Держспоживстандарт України, 2004.

34. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Розділ 6. Заходи щодо нормалізації мікроклімату.

35. ДСТУ EN 169:2004. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри для зварювання та споріднених технологій. Київ: Держспоживстандарт України, 2005.

36. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ: Мінрегіон України, 2013.

37. ДСТУ 3346-96. Викиди забруднювальних речовин в атмосферу від стаціонарних джерел. Київ: Держстандарт України, 1997.

38. ДСТУ EN 55032:2016. Електромагнітна сумісність мультимедійного обладнання. Вимоги до емісії. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

39. НПАОП 0.00-7.17-18. Правила забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Затверджено наказом Мінсоцполітики від 29.10.2018 № 1804.

40. Норми безоплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам загальних професій різних галузей промисловості. Затверджено наказом Мінсоцполітики від 08.10.2020 № 721.

41. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Київ: Мінрегіон України, 2017.

42. НАПБ Б.07.005-86. Визначення категорій приміщень і будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Київ: Держпожежнагляд МВС України, 1987.

43. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Київ: Мінрегіон України, 2014.

44. ДСТУ EN 54-23:2014. Системи пожежної сигналізації. Частина 23: Пожежні сповіщувачі. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015.

45. ДБН В.1.1-7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ: Мінрегіон України, 2017.

46. Правила пожежної безпеки в Україні. Затверджено наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417.

47. С. Гушко. Вимоги з оформлення письмових робіт у державному університеті економіки і технологій. Затверджено Науково-методичною радою Державного університету економіки і технологій (протокол №2 від «08» грудня 2020р.). Навч. посібник. Кривий Ріг, 2020.-53с.



Звіт подібності

Метадані

Назва організації		підрозділ		
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY		STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY		
Заголовок				
141-4д-2026вrm				
Автор		Науковий керівник / Експерт		
141-4д-2026вrm		Молдло Є.О.		
Кількість слів	Кількість символів	Дата звіту	Дата редагування	ІД документу
19786	148384	1/13/2026	1/13/2026	333099434

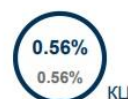
Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



19786

Кількість слів



148384

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		47
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		35

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

new

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	http://um.co.ua/8/8-5/8-52471.html	53 0.27 %
2	http://4ua.co.ua/manufacture/vb3bc79a5c43a88421206c37_0.html	27 0.14 %
3	Поліпшення пускових характеристик та енергетичних показників електроприводу вакуумного насосу за системою «вентильний двигун» 12/21/2023 Kryvyi Rih National University (Кафедра електричної інженерії)	24 0.12 %

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Іванов Антон Володимирович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

01.06. 2025