

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Інженерно-фізичний  
(повне найменування факультету)

Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій  
(повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

магістр  
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Оптимізація конструкції та розробка технологічного процесу  
виготовлення ярмових балок трансформаторів серії 110 кВ»  
(назва теми)

Виконав: студент 2 курсу, групи ІФ-312м

Спеціальності 131 Прикладна механіка  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)  
Технології та устаткування зварювання

ЛАПТЄВ Є.О.  
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ЛАПТЄВА Г.М.  
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ШЕВЧЕНКО В.Г.  
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Факультет Інженерно-фізичний  
 Кафедра Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій  
 Ступінь вищої освіти магістр  
 Спеціальність 131 Прикладна механіка  
(код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Технології та устаткування зварювання  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Капустян Олексій Євгенович

«15» грудня 2023 року

**ЗАВДАННЯ**

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

ЛАПТЄВ Євген Олексійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи): Оптимізація конструкції та розробка технологічного процесу виготовлення ярмових балок трансформаторів серії 110 кВ

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент ЛАПТЄВА Ганна Миколаївна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «15» грудня 2023 року № 509

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 22.12.2023 р.

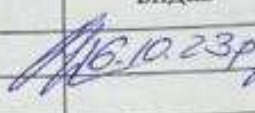
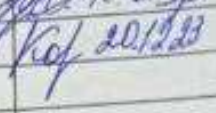


3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Креслення ярмових балок, матеріали, діючі навантаження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розділ 1. Вихідні дані; Розділ 2. Технологічна частина; Розділ 3. Розрахунок механічної міцності ярмової балки; Розділ 4. Розробка технологічного плану; Розділ 5. Техніко-економічні обґрунтування; Розділ 6. Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Вступ, балка ярмова, існуючі типи ярмових балок, порівняльна характеристика зварювальних сумішей для зварювання, аналітична модель оптимізованої конструкції ярмової балки трансформатора, результати розрахунку механічної міцності ярмової балки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	ЛАПТЄВА Г.М., доцент		
	Нормоконтроль Корнієнко О.Б., сі. викладач		
6.	Охорона праці доц. Нестерів О.В.		

7. Дата видачі завдання « 16 » ЖОВТНЯ 2023 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	11.09.23	викон
2	Аналіз літературних джерел	22.09.23	викон
3	Технологічний процес та устаткування	25.09.23	викон
4	Робота з графічними матеріалами (креслення)	16.10.23	викон
5	Техніко-економічні обґрунтування	30.10.23	викон
6	Формування висновків з магістерської роботи	17.11.23	викон
7	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	10.12.23	викон
8	Подання роботи до захисту	20.12.23	

Студент

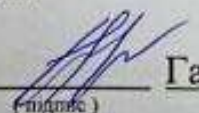


Свген ЛАПТЄВ

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)



Ганна ЛАПТЄВА

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 73 с., 13 табл., 25 рис., 1 додаток, 32 джерел.

**БАЛКА ЯРМОВА, СТАЛЬ 09Г2С, НАПІВАВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЗАХИСНІ ГАЗИ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ДРІТ.**

Об'єкт дослідження – розрахунок механічних характеристик балки ярмової.

Мета дипломного проекту – оптимізація конструкції та розробити технологічний процес виготовлення ярмової балки трансформаторов класу 110 кВ.

Методи дослідження: розрахунок механічної міцності, аналіз існуючих конструкцій різних типів ярмових балок.

Для виготовлення балки ярмової були розроблений технологічний процес виготовлення. За допомогою програмного забезпечення проведено розрахунок механічної міцності ярмових балок при прикладанні діючих навантажень. Обрано обладнання для виготовлення (напівавтомат зварювальний, джерело живлення, спеціальні та універсальні складально–зварювальні пристосування). Розроблено технологічний процес виробництва ярмових балок.

Надано ТЕО розробленого технологічного процесу.

## ABSTRACT

Explanatory note: 73 pages, 13 tables, 25 figures, 1 supplements, 32 sources.

YOKE BEAM, 09G2S STEEL, SEMI-AUTOMATIC WELDING, PROTECTIVE GASES, WELDING WIRE.

The object of the study is the calculation of the mechanical characteristics of the yoke beam.

The goal of the diploma project is to optimize the design and develop a manufacturing process for the yoke beam of transformers of the 110kV class.

Research methods: calculation of mechanical strength, analysis of existing structures of various types of yoke beams.

A manufacturing process was developed for the manufacture of the yoke beam. With the help of the software, the mechanical strength of the yoke beams was calculated when the operating loads were applied. Manufacturing equipment is selected (semi-automatic welding machine, power source, special and universal assembly and welding devices). A technological process for the production of yoke beams has been developed.

The feasibility study of the developed technological process was provided.

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 Вихідні данні	9
1.1 Призначення, опис, технічна характеристика ярмової балки	9
1.2 Матеріали, які використовуються для виготовлення ярмової балки	12
1.3 Технічні умови до ярмової балки	13
2 Технологічна частина	16
2.1 Вибір технологічного процесу. Виготовлення ярмової балки та опис	16
2.2 Опис пристосування для складання та зварювання	18
2.3 Нормування складальних операцій	18
2.4 Вибір та обґрунтування способу зварювання	19
2.5 Вибір матеріалів зварювальних	20
2.6 Розрахунок та вибір режимів зварювання	23
2.7 Вибір зварювального обладнання, джерел живлення зварювальної дуги, роду струму, полярності	28
2.8 Нормування зварювальних операцій	32
2.9 Розрахунок витрат зварювальних матеріалів та електроенергії на зварювання	34
2.10 Зменшення напруг та деформацій при зварюванні	38
2.11 Контроль якості зварювання. Обладнання та технологія	39
3 Розрахунок механічної міцності ярмової балки при застосуванні діючих навантажень	44
3.1 Підготовка розрахунку	44
3.2 Результати розрахунку	46
3.2.1 Коротке замикання на центральній фазі	46
3.2.2 Коротке замикання на бічній фазі	49
3.3 Висновки за результатами розрахунків	51
4 Розробка технологічного плану	52

4.1 Вибір кранового обладнання	52
4.2 Організація енерго- та газопостачання	53
4.2.1 Електроенергія	53
4.2.2 Газопостачання	55
4.3 Опис ділянки	55
5 Техніко-економічні обґрунтування	56
5.1 Техніко-економічні обґрунтування отриманого процесу	56
6 Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	58
6.1 Аналіз потенційних небезпек	58
6.2 Заходи по забезпеченню безпеки	58
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	61
6.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	62
6.4.1 Заходи з пожежної безпеки	62
6.4.2 Навчання населення діями в умовах надзвичайних ситуаціях	66
Висновки	68
Перелік джерел посилання	69
Додаток А Специфікація «Балка ярмова»	73

## ВСТУП

Ярмова балка – це вузол трансформатора, який використовується при виготовленні остовів трансформаторів класу напруги 110 кВ, що являється невідомою складовою активної частини силового трансформатора [1].

Конструкцією ярмової балки передбачаються різноманітні зварні з'єднання.

Ярмова балка є складною конструкцією, до якої висіваються підвищені технічні вимоги.

Балка розрахована на значний термін використання, так як працює в умовах механічних навантажень та великих температур.

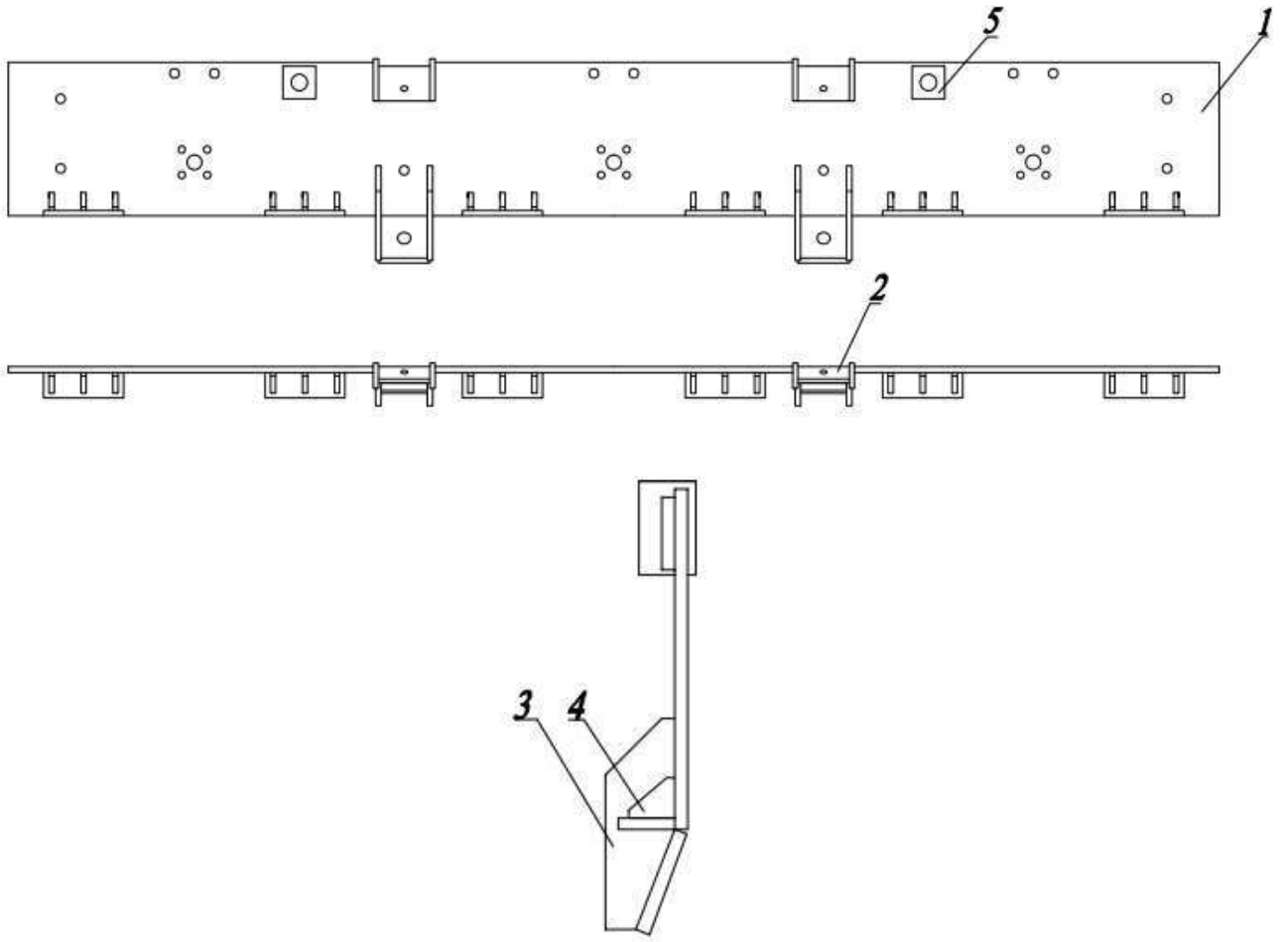
Ярмові балки повинні без ушкоджень витримувати зусилля, що виникають при короткому замиканні трансформатора. При підйомі не повинно бути залишкових деформацій. Жорсткість ярмових балок повинна забезпечувати пресування ярма магнітопроводу та осьове пресування обмоток.

## 1 ВИХІДНІ ДАННІ

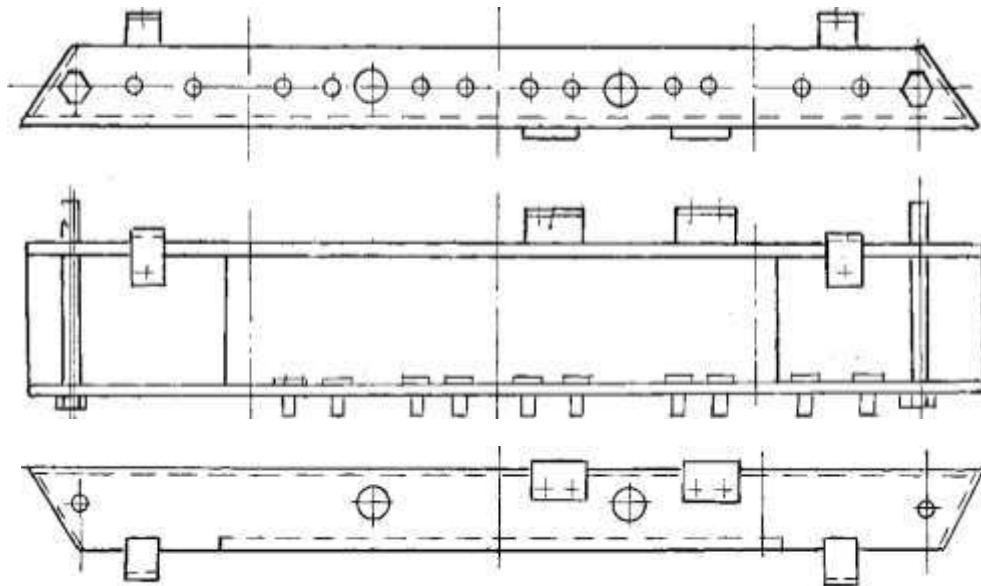
### 1.1 Призначення, опис, технічна характеристика ярмової балки

Ярмова балка – це складова, що застосовуються при виготовленні трансформаторів класу напруги 110 кВ та являється складовою частиною остова трансформатора (рисунок 1.1).

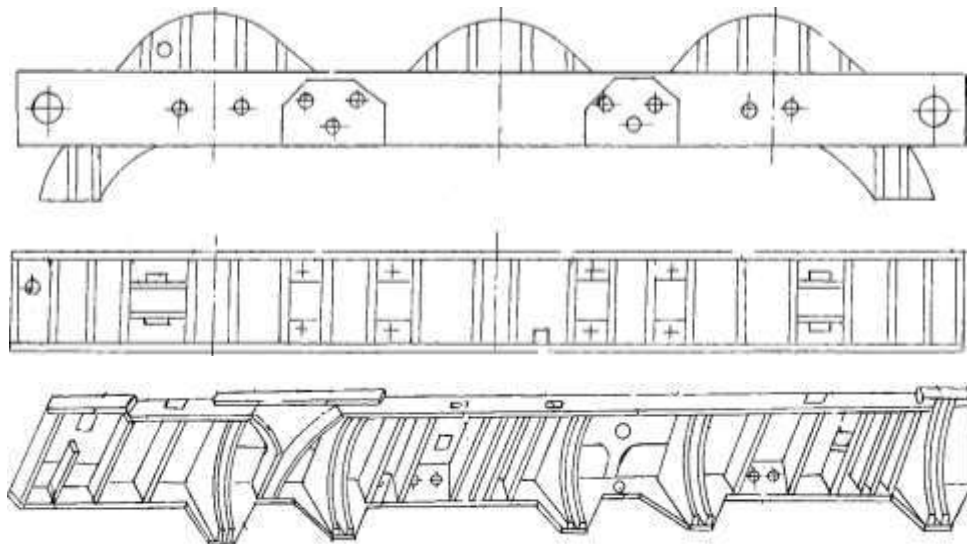
Існують різні типи ярмових балок (коробчастого перерізу, з прямолінійною стінкою та приварними полицями, зі збірними стінками та фігурними ребрами, зі ступінчастою стінкою), які застосовуються в магнітних системах силових трансформаторів (рисунок 1.2). Однак складність їх конструкції призводить до збільшення матеріало-, енерго- та трудомісткості, збільшення часу на виготовлення, складнощів, пов'язаних з особливістю їх виробництва (кривизна та непрямолінійність балок після зварювання та необхідність їх виправлення) вимагає оптимізації конструкції з метою усунення вищезгаданих недоліків, не втрачаючи, при цьому, механічної міцності балки.



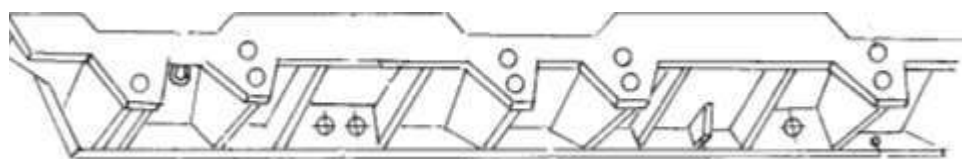
1 - стінка; 2 - бандажні вузли; 3 - бандажні вузли; 4 - упори; 5 - провущини  
 Рисунок 1.1 – Балка ярмова



а)



б)



в)

а - ярмова балка II-III габариту коробчатого перерізу;

б - балка ярмова IV габариту коробчастого перерізу;

в - балка ярмова з прямолінійною стінкою та приварними полицями

Рисунок 1.2 – Існуючі типи ярмових балок

Ярмова балка – це складова, що застосовуються при виготовленні трансформаторів класу напруги 110 кВ та являється складовою частиною остова трансформатора та складається із 13 деталей.

Конструкцією ярмової балки передбачаються різноманітні зварні з'єднання.

Ярмова балка є складною конструкцією, до якої висіваються підвищені технічні вимоги.

Балка розрахована на значний термін використання, так як працює в умовах механічних навантажень та великих температур. Ярмові балки повинні без ушкоджень витримувати зусилля, що виникають при короткому замиканні трансформатора. При підйомі не повинно бути залишкових деформацій. Жорсткість ярмових балок повинна забезпечувати пресування ярма магнітопроводу та осьове пресування обмоток.

Габаритні розміри ярмової балки:

- довжина – 3335 мм;
- ширина – 112 мм;
- висота – 556 мм.

Верхня ярмова балка складається з наступних деталей:

- стінка – 1 шт;
- бандажні вузли – 2 шт;
- бандажні вузли – 2 шт;
- упори – 6 шт;
- провусини – 2 шт.

Ярмова балка виготовляється зі сталі 09Г2С.

## 1.2 Матеріали, які застосовуються для виготовлення верхньої ярмової балки

Ярмова балка виготовляється зі сталі 09Г2С ДСТУ 8541 [2]. Це низьколегована конструкційна сталь, с часткою марганца до 2 % і кремнія до 1 %.

Застосування цього матеріалу знижує масу конструкцій та чутливість до потрібних температур, износу.

Хімічний склад, механічні властивості, здатність до зварювання наведені в таблицях 1.1 - 1.3.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад 09Г2С згідно з ДСТУ 8541 [2].

Зміст елементів, %								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu
≤ 0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	≤ 0,3	≤ 0,04	≤ 0,035	≤ 0,3	≤ 0,012	≤ 0,3

Таблиця 1.2 – Механічні характеристики 09Г2С при 20 ° С [2].

Тимчасовий опір розриву МПа, не менше	Межа текучості МПа, не більше	Відносне подовження %, не менше
500	350	20

Таблиця 1.3 – Здатність 09Г2С к зварюванню [2].

Група	Зварюваність	Екв. вуглецю Се, %	Характеристика
I	Добра	≤ 0,2	Зварюється будь як без використання підігріву та термічної обробки.

### 1.3 Технічні умови до ярмової балки

Ярмова балка виготовляється з 09Г2С відповідно до ДСТУ 8541 [2].

Зварні шви №№ 1, 2, 3, 4, 5 та 6 виконувати напівавтоматичним зварюванням відповідно ДСТУ 2456-94 [3]-[4].

Складання балок виконувати в стелажах для складання ярмових балок .

При складанні ярмової балки не дозволяється змінювати її конструкцію, яка передбачена технологічним процесом, при строповці та перевезенні – її деформування.

Закріплення балки виконувати за допомогою прихваток. Прихватки розставляти в місцях виконання зварних швів. Катет - від 4 мм до 5 мм. Довжина - від 10 мм до 30 мм в залежності від довжини. Відстань між ними - від 50 мм до 100 мм в залежності від шовної довжини.

Прихватки виконувати зварниками, маючими право на проведення зварювальних робіт.

Перед складанням зачистити кромки до блиску. При наявності на поверхні іржі, рідини, бруду, пилу перед зварюванням зачищення повторити. Зачищення проводити болгаркою.

Полуавтоматичне зварювання виконувати зварювальниками, які навчались цьому і одержали відповідний документ.

Зварювальники, на робочому місці, повинні пройти випробування в умовах, в яких буде виконуватись виготовлення ярмової балки.

Для напівавтоматичного зварювання застосовувати дріт зварювальний Св-08Г2С згідно ДСТУ EN ISO 14341 та суміш газів МИКС-1 ДСТУ ISO 14175-M21 [5][6].

Партія зварювального дроту повинна включати сертифікат з зазначенням заводу-виготовлювача, марки, характеристик, номера заказу, хімічного складу. К кожній бобині зварювального дроту повинна бути наклеєна бирка з зазначенням заводу-виготовлювача, марки, характеристик, номера заказу, хімічного складу дроту згідно ДСТУ EN ISO 14341 [5].

При відсутності бирки, сертифікату, у випадку невпевненості у якості зварювального дроту перевіряється його хімічний склад.

Поверхня має бути чистою, без окалини, ріддини та ін.. При необхідності очистити від вказаних недоліків.

Газ постачається в балонах. Перевірити обов'язково його якість в кожному балоні. При недоліках зварювання газ в данному балоні бракується.

Шви по закінченні потрібні бути очищені від напливів металу, окалини, бруду та інших недоліків.

При візуальному огляді шви повинні відповідати таким вимогам:

– мати гладку поверхню (без напливів та прожогів, розривів, звужень), не мати різкого переходу до основного металу;

– наплавлений метал є щільним по всій шовної довжині, тріщин та інші недопустими дефекти відсутні;

– усі кратери добре заварені;

– кутові шви мають плавний перехід до основного металу;

– тріщини, пори у зварних швах не допустимі.

Усі шви на ярмової балкці перевіряти оглядом 100 % та УЗ-контролем 100 %.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Вибір технологічного процесу. Виготовлення ярмової балки та опис

При збиранні ярмової балки враховувати габаритні розміри виробу, кількості деталей та значної ваги комплектуючих деталей та самої балки.

При виробництві ярмової балки застосовується стаціонарний спосіб складання, тому що всі операції при виготовленні виконуються на одному робочому місці.

Усі деталі, що надходять на складання та зварювання балок ярмових, повинні бути виготовлені згідно креслення, очищені, замарковані та подані комплектно. Перед збиранням балок ярмових слюсар-збирач металоконструкцій повинен перевірити всі деталі візуально та виміром на предмет відповідності їх вимогам креслення, не мати розшарування металу, заходів тріщин та інших дефектів. На торцях деталей не допускається наявність грата після газового різання, окалини, що відшаровується.

Складання деталей виробу виконувати по розмітці з використанням стандартних універсальних пристосувань. Розмітку деталей і складальних одиниць необхідно проводити відповідно до вимог креслення.

Складання балок ярмових проводити на спеціальних стелажах за допомогою прихваток. Складальні прихватки розміщувати в місцях розташування зварних швів. Складальні прихватки виконувати напівавтоматичним зварюванням зварювальним дротом.

Ширина/катет прихваток - не більше 0,7 ширини/катета майбутнього шва та і є від 4 мм до 6 мм для деталей, що прихоплюються, з товщиною не менше 6 мм. Довжина кожної прихватки повинна бути в 4-5 р. більше ніж товщина складових, які прихоплюються, але від 30 мм до 100 мм. Відстань між прихватками - у 30 - 40 разів більше товщини металу, що зварюється, але не більше 500 мм для низьколегованих сталей. Перед зварюванням видалити шлак, бризки металу, використовуючи ручний інструмент або болгарку.

Складання та зварювання ярмової балки виконувати згідно з вимогами креслення в наступному порядку:

- до стінки 1 відповідно до розмітки, приєднати, прихватити та приварити у два проходи дві провусини 5 (довжина швів з'єднання Н1 з  $\Delta 10$  – 0,72 м);
- на стінку 1, по розмітці, приєднати та прихватити шість упорів 4;
- приварити шість упорів у два проходи (довжина швів з'єднання Т1 з  $\Delta 10$  – 5,51 м);
- скантувати деталь за допомогою крану, кантувача та закріпити;
- остаточно приварити шість упорів (довжина швів з'єднання У6 – 1,32 м);
- укласти деталь на стелаж за допомогою крану, кантувача;
- до стінки приєднати, прихватити та приварити два бандажних вузла 2 (довжина швів з'єднання Т3 з  $\Delta 10$  (у два проходи) – 0,41 м, довжина швів з'єднання С12 (у три проходи) – 0,285 м);
- приєднати до стінки, прихватити та приварити два бандажних вузла 3 (довжина швів з'єднання Т3 з  $\Delta 10$  (у два проходи) – 0,55 м, довжина швів з'єднання С12 – 0,285 м).

Характеристики зварних швів надані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика зварних швів

Тип з'єднання	Катет/ширина, мм	ДСТУ/ISO	Довжина шва, м
H1	Δ10	ДСТУ ISO 2553 [7]	0,72
T1	Δ10		5,51
У6	14		1,32
T3	Δ10		0,96
C12	22		0,57

## 2.2 Опис пристосувань для складання та зварювання

При виготовленні ярмової балки для її складання при збиранні та зварюванні застосовується наступні види пристосувань - це стандартні стелажі для складання та зварювання та стелажі для зберігання.

## 2.3 Нормування складальних операцій

При проведенні робіт на час складання ярмової балки впливає наступний склад робіт.

- встановлення комплектуючих деталей на розмітку;
- розмітка міст встановлення;
- будівництва схеми розташування;
- встановлення центраторів, упорів, затискачів;
- збирання відповідно до розмітки під зварювання з прихваткою;
- кантовка та переміщення зібраних вузлів і конструкції під час збирання;
- контроль якості збирання і допуск до виконання зварювання.

Час на складання балки ярмової (з вагою 275 кг і кількістю деталей 13 шт.)  
 $T_{\text{скл}}$  дорівнює 2,95 годинам [8].

## 2.4 Вибір та обґрунтування способу зварювання

Для виконання швів ярмової балки використовувати напівавтоматичне зварювання в суміші захисних газів МИКС–1, враховуючи невелику довжину зварних швів та умов виготовлення у виробничому приміщенні.

Плюси напівавтоматичного зварювання в захисних газах:

- виконання зварних швів в різноманітних положеннях;
- зварювання незручних зварних швів, а також швів з невеликою довжиною та в великій кількості;
- зварювання у важкодоступних місцях;
- продуктивність в порівнянні з РДЗ (від 2 разів до 2,5 разів) на струмі до 500 А;
- зменшена трудомісткість на обробку зварних швів після зварювання;
- більша стійкість до кристалізації тріщин зварних швів (через відсутність шлакових включень).

Плюси суміші МИКС–1:

- збільшення наплавленого металу за годину;
- продуктивніше, ніж зварювання в традиційної (в захисному середовищі CO<sub>2</sub>) збільшується в 1,5-2,0 рази, що значно економить гроші;
- збільшення глибини провару шва, його щільності, що в кінцевому підсумку збільшує міцність зварювальних конструкцій;
- зниження втрат електродів на розбризк (від 70 % до 80 %);
- значне зменшення кількості бризок в районі шва і зменшення трудовитрат для їх прибирання;
- стабільність зварювання;

- покращення якості шва: зменшення неметалічних включень, пористості;
- зменшення термічної зони впливу, через що зменшується короблення конструкції;
- зниження використання електроенергії, матеріалів від 10 % до 15 %;
- поліпшення умов праці (менша кількість зварних аерозолів, диму зберігають здоров'я зварювальника, дають йому більше часу працювати продуктивно).

## 2.5 Вибір матеріалів зварювальних

Для напівавтоматичного зварювання при зварюванні ярмової балки зі сталі 09Г2С використовуємо дрот Св–08Г2С згідно ДСТУ EN ISO 14341–А, який за хімічним складом (наданим в таблиці 2.2) та механічними характеристиками близький до самої сталі [5]. Він легований марганцем та кремнієм, що дає розкислення зварювальної ванни та її дисульфурації і рафінуванню оберігаючи від утворення тріщин при зварюванні в суміші газів МИКС–1.

Дрот Св–08Г2С оміднений, що значно поліпшує його зберігання, зменшує витрати на чистку, зменшує силу поверхневого натягу, покращує електричний контакт між зварювальним дротом та токопровідним мундштуком, призводить під час зварювання до зменшення розбризкування.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад дроту зварювального Св–08Г2С відповідно до ДСТУ EN ISO 14341–А [5]

Зміст елементів, %					
C	Si	Mn	S	Cr	P
0,05 – 0,11	0,7 – 0,95	1,8 – 2,1	≤0,025	≤0,2	≤0,03

Проводимо вибір суміші газу для зварювання ярмової балки:

Для вуглецевих та легованих конструкційних сталей зі складом суміші газу (Ar – 90 %; CO<sub>2</sub> – 6 %; O<sub>2</sub> – 2 %). Використовується для крапельного або струменевого перенесення зварювального металу. При зварюванні стабільна дуга використовується для зварювання металів невеликих товщин.

Для вуглецевих та легованих конструкційних сталей зі складом суміші газу (Ar – 82 %; CO<sub>2</sub> – 18 %). Використовується для крапельного або струменевого перенесення зварювального металу. При зварюванні стабільна дуга, використовується для зварювання металів широкого спектра товщин.

Для вуглецевих та легованих конструкційних сталей зі складом суміші газу (Ar – 78 %; CO<sub>2</sub> – 20 %; O<sub>2</sub> – 2 %). Використовується для крапельного або струменевого перенесення зварювального металу, ідеально підходить для зварювання металів малих товщі.

Для вуглецевих та легованих конструкційних сталей зі складом суміші газу (He – 85 %; CO<sub>2</sub> – 1,5 %; Ar – 13,5 %). Зварювання пульсуючою дугою. Дає чудові і чисті шви з гладким профілем та незначним окисленням поверхні. Ідеальний для тонких матеріалів, де висока швидкість зварювання дає низький рівень деформації металу.

Для вуглецевих та легованих конструкційних сталей зі складом суміші газу (He – 55 %; CO<sub>2</sub> – 2 %; Ar – 43 %). При зварюванні низький рівень армування металу шва і навколо шовної зони. Підходить для зварювання металів широкого спектра товщі.

Для вуглецевих та легованих конструкційних сталей зі складом суміші газу (Ar – 60 %; CO<sub>2</sub> – 2 %; He – 38 %). Використовується для крапельного або

струменево-го перенесення електронного металу. Надає стабільність дузі, що забезпечує низький рівень розбрикування і знижує появи дефекту шва.

Для кольорових металів та їх сплавів, середніх та високолегованих сталей зі складом суміші газу (Ar – 70 %; He – 30 %). Інертна газова суміш, дає більш ефективно нагрівання ніж чистий аргон. Збільшує швидкість зварювання, та забезпечує глибоке про варення, низьку пористість і рівну поверхню зварного шва.

Для кольорових металів та їх сплавів, середніх та високолегованих сталей зі складом суміші газу (Ar – 50 %; He – 50 %). Інертна, найбільш універсальна газова су-міш для зварювання металів будь яких товщини.

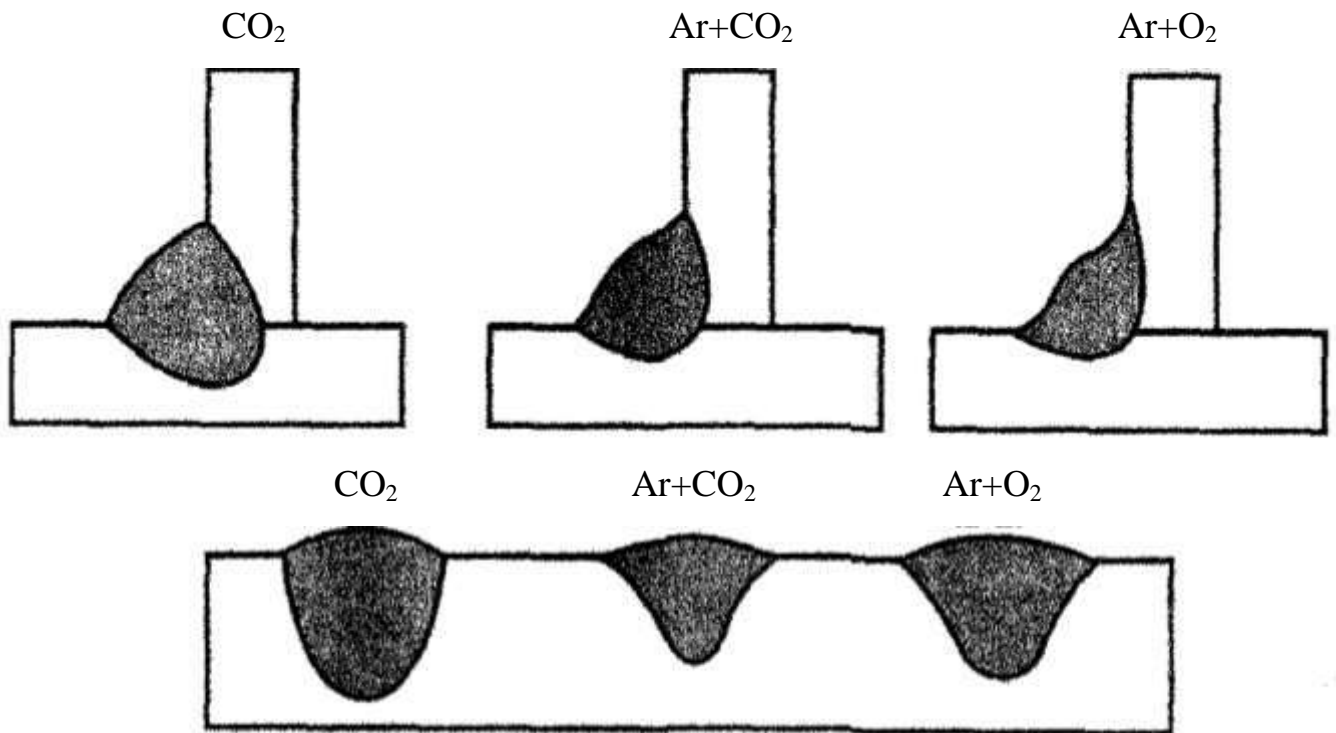


Рисунок 2.1 – Вплив змісту захисного газу на глибину і характер проплавлення основного металу

Захисним газом при виробництві ярмових балок застосовувати суміш газів МИКС–1 відповідно ДСТУ ISO 14175–M21, до якого включає 82 % аргону та 18 % вуглекислого газу [6]. Класифікація надана в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Класифікація захисного газу для зварювання [6][9]

Символи		Хімічний склад, %				Типове використання	Примітка
Група	Ідентифікаційне число	Окислювач	Інертні	Відновники	Хімічно пасивні		
		CO <sub>2</sub>	Ar	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>		
M2	1	15 - 25	Інше	-	–	MAG	Слабкий окислювач

## 2.6 Розрахунок та вибір режимів зварювання

До параметрів режиму напівавтоматичного зварювання в захисних газах відноситься:

- діаметр електродного дроту,  $d_e=1,6$  мм;
- напруга на дузі,  $U_d$ , В;
- зварювальний струм,  $I_{зв}$ , А;
- швидкість подачі дроту,  $v_{под}$ , м/год;
- швидкість зварювання,  $v_{зв}$ , м/год;
- виліт електродного дроту,  $l_e$ , мм;
- питомі витрати газу,  $q_g$ , л/год.

Зварювальний струм:

$$I_{зв} = 100 \cdot d_e (d_e + 0,5),$$

$$I_{зв} = 100 \cdot 1,6 (1,6 + 0,5) = 336 \approx 340 \text{ А}$$

Напруга на дузі:

$$U_d = 8 \cdot (d_e + 1,6),$$

$$U_d = 8 \cdot (1,6 + 1,6) = 26 \text{ В}$$

Швидкість зварювання:

$$v_{зв} = \frac{I_{зв} \cdot \alpha_n}{F_n \cdot \gamma \cdot 100},$$

де  $\alpha_n$  – коефіцієнт наплавки,  $\alpha_n = 16,5 \text{ г/А год}$  [10];

$\gamma$  – щільність металу,  $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ ;

$F_n$  – площа перерізу наплавленого металу,  $\text{см}^2$ .

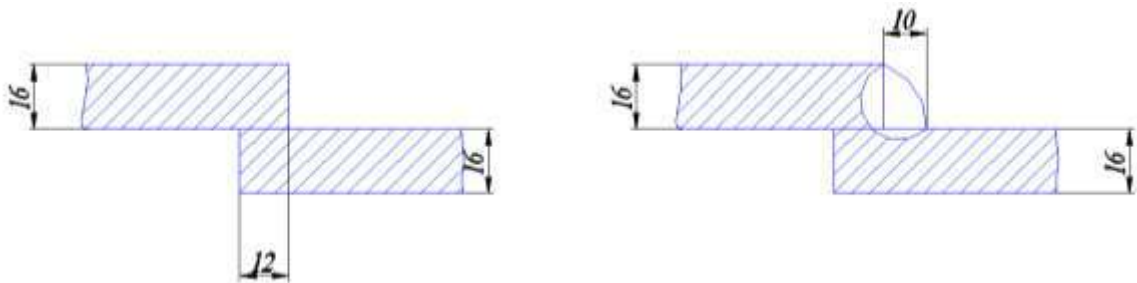


Рисунок 2.2 - З'єднання в напусток Н1

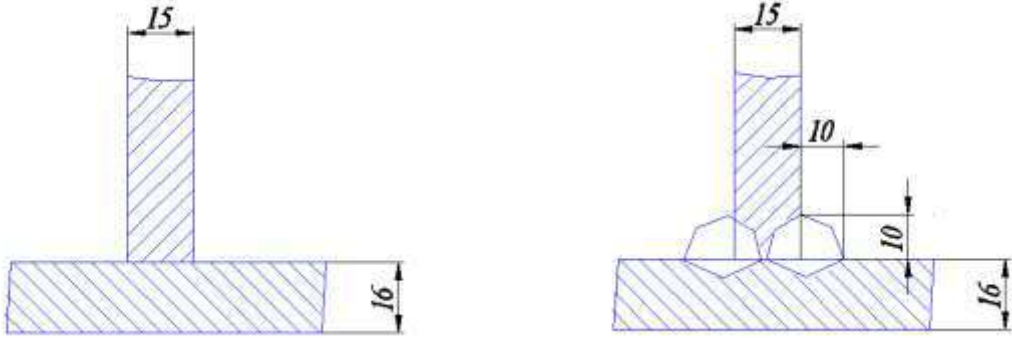


Рисунок 2.3 – Таврове з'єднання Т3

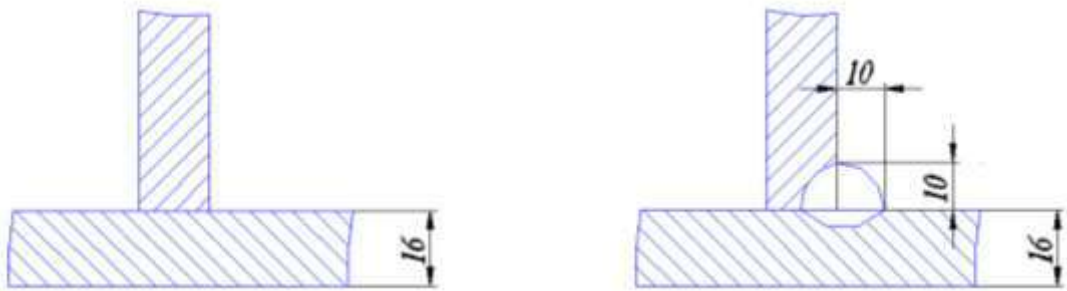


Рисунок 2.4 – Таврове з'єднання Т1

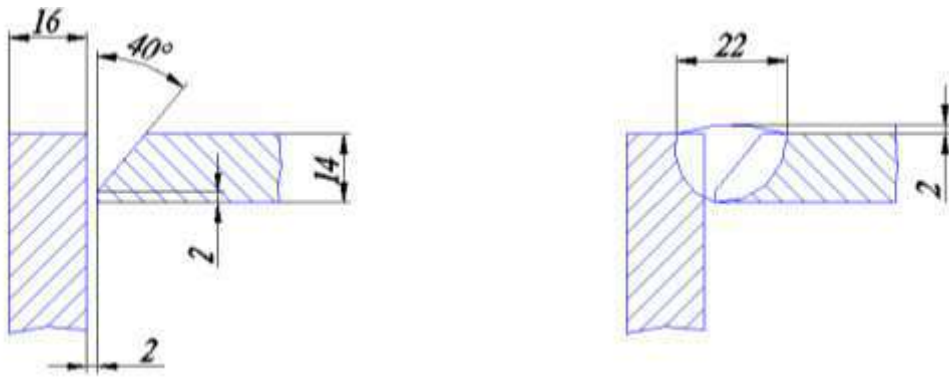


Рисунок 2.5 – Углове з'єднання У6



Рисунок 2.6 - Стикове з'єднання С12

Площа перерізу наплавленого металу:

$$F_H = 0,75 \cdot e \cdot q + \frac{1}{2} \cdot k^2,$$

де  $e$  – ширина шва, мм;

$q$  – посилення шва,  $q = 0,5$  мм;

$k$  – катет шва, мм.

$$e_1 = k \cdot \sqrt{2} = 10 \cdot \sqrt{2} = 14,1 \text{ мм}$$

$$e_2 = k \cdot \sqrt{2} = 10 \cdot \sqrt{2} = 14,1 \text{ мм}$$

$$e_4 = k \cdot \sqrt{2} = 10 \cdot \sqrt{2} = 14,1 \text{ мм}$$

$$F_{H1,2,4} = 0,75 \cdot 14,1 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 100 = 55,2 \approx 0,55 \text{ см}^2$$

Зварні шви з катетом 10 мм виконувати в два проходи. Площа перерізу наплавленого металу одного шару шва дорівнює 0,28 см<sup>2</sup>.

$$F_H = 0,75 \cdot e \cdot q + b \cdot s + \frac{1}{2} (s - c) \cdot (s - c) \operatorname{tg} \alpha,$$

де  $b$  – зазор між зварним з'єднанням, мм;

$s$  – товщина металу, мм;

$c$  – величина притуплення, мм;

$\alpha$  – кут скосу кромки.

$$F_{H3} = 0,75 \cdot 18 \cdot 1 + 2 \cdot 14 + 0,5(14-2)(14-2) \cdot 0,84 = 102 \approx 1,02 \text{ см}^2$$

$$F_{н5} = 0,75 \cdot 22 \cdot 2 + 2 \cdot 16 + 0,5(16-2)(16-2) \cdot 0,84 = 147 \approx 1,47 \text{ см}^2$$

Зварний шов з'єднання С12 виконувати у три прохода. Площа перерізу наплавленого металу одного шару шва дорівнює 0,49 см<sup>2</sup>.

$$v_{зв1,2,4} = 25,73 \text{ м/год} \approx 26 \text{ м/год}$$

$$v_{зв3} = 7,1 \text{ м/год} \approx 7 \text{ м/год}$$

$$v_{зв5} = 14,7 \text{ м/год} \approx 15 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$v_{под} = \frac{4 \cdot I_{зв} \cdot \alpha_H}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma}$$

$$v_{под} = (4 \cdot 340 \cdot 16,5) / (3,14 \cdot 2,56 \cdot 7,8) \approx 358 \text{ м/год}$$

Питомі витрати газу  $q_r = 20 \text{ л/хв}$  [10]. Виліт зварювального дроту  $l_c = 20 \text{ мм}$  [10].

Характеристики зварніх швів при напівавтоматичном зварюванні при виготовленні балки ярмової в захисних газах наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Режими зварювання напівавтоматичного в захисних газах

Тип з'єднання	Катет/ширина, мм	$d_e$ , мм	$I_{зв}$ , А	$U_d$ , В	$v_{зв}$ , м/год	$v_{под}$ , м/год	Кількість шарів
Н1	Δ10	1,6	340	26	26	358	2
Т1	Δ10				26		2
У6	14				7		1
Т3	Δ10				26		2
С12	18				15		3

2.7 Вибір зварювального обладнання, джерел живлення зварювальної дуги, роду струму, полярності

Для виконання зварювання напівавтоматичного в захисних газах використовувати напівавтомат зварювальний FastMig М 520 «КЕМРРІ» з джерелом ВДГ–506/3 (рисунки 2.7, 2.8)



Рисунок 2.7 – Напівавтомат зварювальний FastMig M 520 «KEMPPi»



Рисунок 2.8 – Джерело живлення ВДГ–506/3

Зварювальний напівавтомат КЕМРРІ FastMig M 520 – має модульну конструкцію, простий в використанні і призначений для широкого кола областей застосування.

Ці зварювальні апарати відрізняються високими характеристиками робочого циклу, компактним корпусом, малою масою, що сприяє підвищенню продуктивності і мобільності на зварювальній майданчику.

У зварюванні MIG/MAG обладнання FastMig M є популярною альтернативою звичайному устаткуванню. Система управління цього апарату забезпечує чудове запалювання дуги і відмінні зварювальні характеристики (надані в таблиці 2.6), тому можна витратити менше часу на видалення бризок розплавленого металу.

Напівавтомат FastMig M 520 «КЕМРРІ» використовується з джерелом живлення ВДГ–506/3.

Напівавтомат зварювальний FastMig M 520 «КЕМРРІ» з ВДГ–506/3, призначений для напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG) та ручного дугового зварювання (ММА) відповідальних з'єднань в стаціонарних і монтажних умовах і відрізняється високими технологічними властивостями при невеликих вагогабаритних показниках, що дозволяє виконувати зварювальні роботи в стиснених умовах.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики FastMig M 520 «КЕМРРІ» [11]

Характеристика	Значення
Напруга живлення 3 ~, 50/60 Гц	400 В (–15 ... + 20%)
Номінальна потужність	27,0 кВА
Навантаження при 40 ° С ПВ 60%	520 А
Навантаження при 40 ° С ПВ 100%	430 А
Діапазон зварювального струму і напруги, ММА	15 А / 20 В – 520 А / 43 В
Діапазон зварювального струму і напруги, MIG	20 А / 12 В – 520 А / 43 В
Макс. напруга при зварюванні ММА, В	45
Напруга холостого ходу, ММА	$U_0 = 48 - 53$ В, $U_{cp} = 50$ В
Напруга холостого ходу, MIG / MAG	$U_0 = 50 - 58$ В
Потужність холостого ходу, Вт	25
Коефіцієнт потужності при макс. струмі	0,80
ККД при макс. струмі	88%
Діапазон робочої температури	– 20 ... + 40 ° С
Діапазон температури зберігання	– 40 ... + 60 ° С
Клас електромагнітної сумісності	А

Кінець таблиці 2.6

Мінімальна потужність мережі живлення при короткому замиканні $S_{k3}$	5,5 МВА
Клас захисту	IP23S
Маса, кг	36
Габаритні розміри Д х Ш х В, (мм)	590 х 230 х 430

Редуктори застосовують для зменшення високого тиску газу, що знаходиться у балоні до робочого і автоматичного підтримання заданого тиску. При газоелектричному зварюванні використовують кисневі редуктори РК оберненої дії, а також спеціальний дюзовий редуктор ДЗР–1–59.

Ротаметр застосовують для вимірювання витрат газу. При зварюванні в захисних газах ротаметри поплавкового типу (РС–3; РС–5), ротаметри дросельного, каліброваного і редукторного типу без блокування і з блокуванням зварювального струму по воді і газу.

Спрей для зварювання «SVETS–SPRAY» попереджує прилипання продуктів зварювання та рідкого металу до мундштука. Засновується на жирокислотному екстракті. Не містить силікону та розчинників. Не шкідливий для оточуючого середовища.

## 2.8 Нормування зварювальних операцій

На час напівавтоматичного зварювання у середовищі захисних газів МИКС–1 впливає таке:

- вмикання/вимикання напівавтомата;
- підготовка балонів з газом, підключення/відключення, продувка шлангів;
- встановлення заданого режиму зварювання на напівавтоматі;
- встановлення бухти з дротом;

– встановлення дроту у шланговий електроудтримувач при підготовці напівавтомата;

– зачистка кромки перед зварюванням;

– зварювання;

– очистка швів від бризок, напливів;

– контроль швів.

Час на напівавтоматичне зварювання:

$$T_{зв} = \frac{T'_{зв}}{10} \cdot L_{ш}$$

де  $T'_{зв}$  – час на зварювання десяти метрів шва;

$T'_{зв}$  – для Т1 з  $\Delta 10$ , Т3 з  $\Delta 10$  та Н1 з  $\Delta 10 = 1,3$  години, для У6 = 3,6 години, для С12 = 4,6 години [12];

$L'_{ш}$  – загальна довжина однотипних швів.

Час на зварювання Н1 з  $\Delta 10$ :

$$T_{зв1} = (1,3/10) \cdot 0,72 = 0,10 \text{ год}$$

Час на зварювання Т1 з  $\Delta 10$ :

$$T_{зв2} = (1,3/10) \cdot 5,51 = 0,72 \text{ год}$$

Час на зварювання Т3 з  $\Delta 10$ :

$$T_{зв3} = (1,3/10) \cdot 0,96 = 0,13 \text{ год}$$

Час на зварювання У6:

$$T_{зв4} = (3,6/10) \cdot 1,32 = 0,48 \text{ год}$$

Час на зварювання С12:

$$T_{зв5} = (4,6/10) \cdot 0,57 = 0,26 \text{ год}$$

Загальний час на зварювання:

$$T_{зв} = \sum T_{звi},$$

$$T_{зв} = 0,1 + 0,72 + 0,13 + 0,48 + 0,26 = 1,69 \text{ год}$$

## 2.9 Розрахунок витрат зварювальних матеріалів та електроенергії на зварювання

До зварювальних матеріалів при напівавтоматичному зварюванні в захисних газах відноситься:

- зварювальний дріт;
- суміш газів.

Витрати електродного дроту:

$$G_{зд} = K_{\epsilon} \cdot G_n \cdot L_{ш},$$

де  $K_{\epsilon}$  – коефіцієнт що враховує витрати дроту на вигар та розбрискування;

$$K_{\epsilon} = 1,05 [10];$$

$G_n$  – вага наплавленого металу на 1 м шва, г;

$L_{ш}$  – довжина однотипних швів, м

$$G_H = F_H \cdot \gamma \cdot 100,$$

$$G_{H1} = 0,55 \cdot 7,8 \cdot 100 = 429 \approx 0,429 \text{ кг}$$

$$G_{H2} = 0,55 \cdot 7,8 \cdot 100 = 429 \approx 0,429 \text{ кг}$$

$$G_{H3} = 1,02 \cdot 7,8 \cdot 100 = 796 \approx 0,796 \text{ кг}$$

$$G_{H4} = 0,55 \cdot 7,8 \cdot 100 = 429 \approx 0,429 \text{ кг}$$

$$G_{H5} = 1,47 \cdot 7,8 \cdot 100 = 1147 \approx 1,147 \text{ кг}$$

$$G_{зд1} = 1,05 \cdot 0,429 \cdot 0,72 = 0,32 \text{ кг}$$

$$G_{зд2} = 1,05 \cdot 0,429 \cdot 5,51 = 2,48 \text{ кг}$$

$$G_{зд3} = 1,05 \cdot 0,796 \cdot 0,96 = 0,80 \text{ кг}$$

$$G_{зд4} = 1,05 \cdot 0,429 \cdot 1,32 = 0,60 \text{ кг}$$

$$G_{зд5} = 1,05 \cdot 1,147 \cdot 0,57 = 0,69 \text{ кг}$$

Загальні витрати зварювального дроту:

$$G_{зд} = \sum G_{зді} = G_{зд1} + G_{зд2} + G_{зд3} + G_{зд4} + G_{зд5},$$

$$G_{зд} = \sum G_{зді} = 0,32 + 2,48 + 0,8 + 0,6 + 0,69 = 4,89 \text{ кг}$$

Витрати суміші газів:

$$Q_z = q_z \cdot T_o \cdot L_{ш} + q_z (t_{пз} + t_{пер} \cdot n),$$

де  $T_o$  – час горіння дуги на 1 м шва, хв;

$t_{пз}$  – підготовчо-заключний час,  $t_{пз} = 0,5$  хв [10];

$t_{пер}$  – час на один перехід при зварюванні,  $t_{пер} = 0,02$  хв [10];

$n$  – кількість переходів при зварюванні.

$$T_o = \frac{60}{v_{зв}},$$

$$T_{o1,2,4} = 60/26 = 2,31 \text{ хв}$$

$$T_{o3} = 60/7 = 8,57 \text{ хв}$$

$$T_{o5} = 60/15 = 4,0 \text{ хв}$$

$$Q_{г1} = 20 \cdot 2,31 \cdot 0,72 \cdot 2 + 20(0,5 + 0,02 \cdot 8) = 79,73 \text{ л}$$

$$Q_{г2} = 20 \cdot 2,31 \cdot 0,96 \cdot 2 + 20(0,5 + 0,02 \cdot 32) = 111,5 \text{ л}$$

$$Q_{г3} = 20 \cdot 8,57 \cdot 5,51 \cdot 2 + 20(0,5 + 0,02 \cdot 80) = 1930,8 \text{ л}$$

$$Q_{г4} = 20 \cdot 2,31 \cdot 1,32 \cdot 1 + 20(0,5 + 0,02 \cdot 6) = 73,4 \text{ л}$$

$$Q_{г5} = 20 \cdot 4 \cdot 0,57 \cdot 3 + 20(0,5 + 0,02 \cdot 16) = 153,2 \text{ л}$$

Загальні витрати суміші газів:

$$Q_z = \sum Q_{zi} = Q_{z1} + Q_{z2} + Q_{z3} + Q_{z4} + Q_{z5} + Q_{z6},$$

$$Q_{\Gamma} = \sum Q_{\Gamma i} = 79,73 + 111,5 + 1930,8 + 73,4 + 153,2 = 2348,6 \text{ л}$$

Витрати електроенергії на напівавтоматичне зварювання:

$$A = \frac{U_{\delta} \cdot G_{\text{н}} \cdot L_{\text{ш}}}{\alpha_{\text{н}} \cdot \eta \cdot K_u},$$

де  $\eta$  – ККД джерела живлення;

$K_u$  – коефіцієнт, що враховує час горіння дуги,  $K_u = 0,65$  [10].

$$A_1 = (26 \cdot 0,429 \cdot 0,72) / (16,8 \cdot 0,87 \cdot 0,65) = 0,85 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$A_2 = (26 \cdot 0,429 \cdot 5,51) / (16,8 \cdot 0,87 \cdot 0,65) = 6,47 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$A_3 = (26 \cdot 0,796 \cdot 0,96) / (16,8 \cdot 0,87 \cdot 0,65) = 2,09 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$A_4 = (26 \cdot 0,429 \cdot 1,32) / (16,8 \cdot 0,87 \cdot 0,65) = 1,55 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$A_5 = (26 \cdot 1,147 \cdot 0,57) / (16,8 \cdot 0,87 \cdot 0,65) = 1,79 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Загальні витрати електроенергії на зварювання:

$$A = \sum A_i = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5,$$

$$A = \sum A_i = 0,85 + 6,47 + 2,09 + 1,55 + 1,79 = 12,75 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

## 2.10 Зменшення напруг та деформацій при зварюванні

Зменшення зварювальних напружень, деформацій відбувається на всіх етапах розробки та виготовлення ярмової балки.

На стадії конструювання:

- обмежувати кількість наплавленого металу зменшенням катету, призначаючи оптимальну величину перерізу зварного шва і учитуючи розрахунки на міцність. Повишати величину перерізу шва зварного не дозволяється;

- не розташовувати зварні шви біля максимальних напружень від діючих навантажень;

- не пересікати велику кількість зварних швів.

При розробці технологічного процесу та зварювання важливе:

- складання балок ярмових з урахуванням виникаючих деформацій. Використовувати метод зворотних деформацій. Знаючи, що шов після охолодження скорочується у розмірах обов'язково передбачити характер можливих кутових напружень деформацій, створити попередній вигин балки, що зварюються в інший бік. Визначити шляхом розрахунків або досвідом;

- оптимізована послідовність нанесення зварних швів;

- уникати прихваток, що створюють жорстке закріплення та визивають виникнення великих залишкових напружень. Використовувати складальну оснастку, яка надає можливості переміщення балки та складових при усадці металу;

- ярмові балки виготовляти таким чином, щоб утворюючі жорсткий контур замикаючі шви, заварювались останніми;

- приміняти спосіб урівноваження деформацій: за для цього зварні шви робити в наступній послідовності, при якій наступний шов визиває деформації зворотнього напрямку у порівнянні з деформаціями від попереднього.

## 2.11 Контроль якості зварювання. Обладнання та технологія

Контроль якості виконувати на всіх стадіях виготовлення ярмової балки. Якість підготовки кромки та складання деталей перед зварюванням, якість швів всіх з'єднань контролювати візуально – 100 %, УЗ – 100 %.

Спочатку візуально контролювати зварювальні матеріали, щоб виявити в них браковані (заусенці, окалини, вм'ятини та інш.). Контроль пробного зварювання при захисті в середовищі захисних газів (при встановленні нового балона) щоб перевірити якість.

Перевіряють якість зачищення зварних кромки. Також контролюють величину зазору між збираємими складовими. Для цього використовують спеціальні шаблони, кути, вимірювачи, лінійки (рисунки 2.9, 2.10).

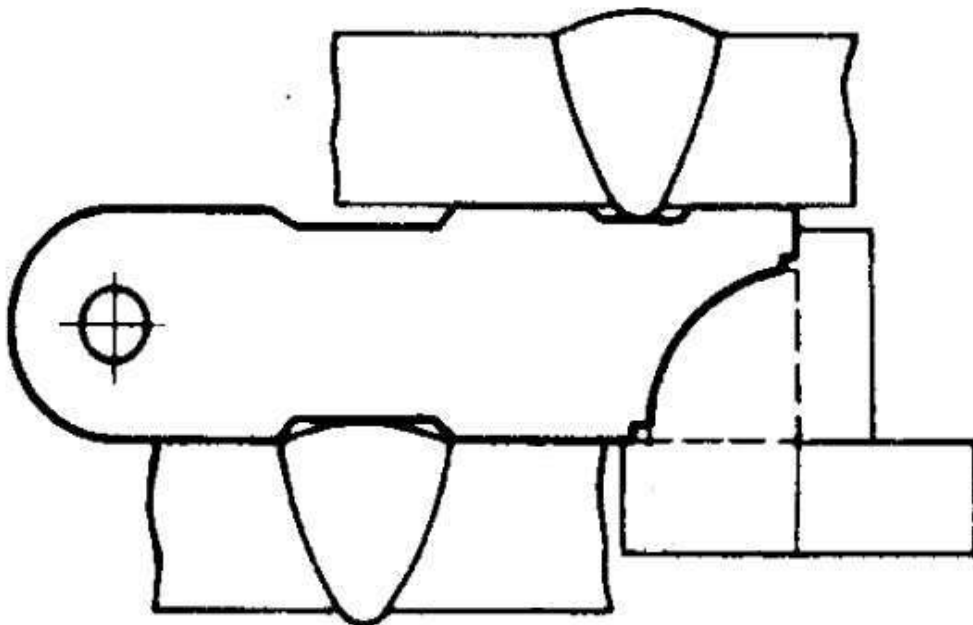
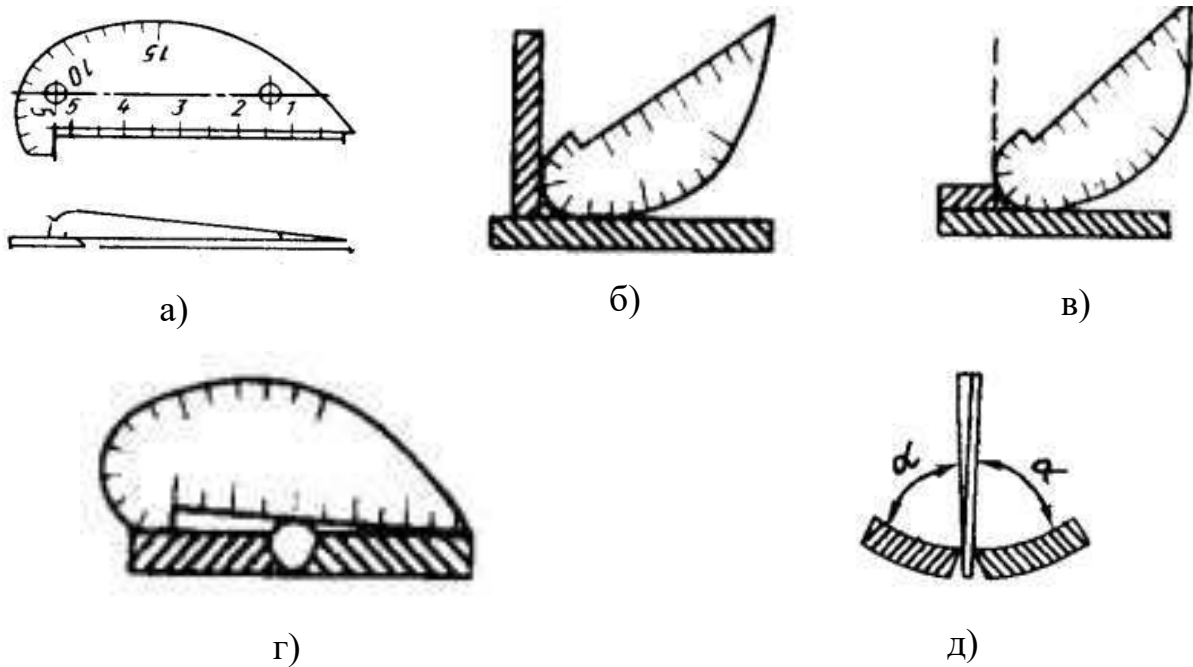


Рисунок 2.9 – Спеціальний шаблон

Візуально оглядати при зварюванні. Контроль режимів зварювання, правильність накладання швів, стабільність горіння дуги. Огляд проводити неозброєним оком або лупою.

В першу чергу виявляти тріщини, пори, підрізи, прожоги, раковини, напливи, непровари та інші дефекти.



а) універсальний шаблон; б) використання шаблону для контролю таврового;  
в) в напусток; г) стикового; д) з'єднань і вимір зазору.

Рисунок 2.10 – Шаблон для перевірки зварних швів А. І. Красновського

Обов'язково виявляти дефекти, пов'язані з формою шва. При зовнішньому огляді використовують оглядові лупи (марок ЛПК–470, ЛПК–471) та бінокулярні налобні лупи (БЛ–1, БЛ–2) з двократним збільшенням. Крім того, для пошуку та оцінювання дефектів використовують складні кармані лупи (ЛП–1, ЛАЗ, ЛАП–4) зі збільшенням від 2,5 разів до 7 разів та від 7 кратного збільшення до 20 кратного збільшення.

Після проведення зовнішнього огляду та виправлення недопустимих дефектів, зварні з'єднання підвергають контролю іншим фізичним методом, для виявлення внутрішніх дефектів використовувати метод ультразвукового контролю.

Ультразвукова дефектоскопія основана на властивості ультразвукових хвиль направлено розповсюджуватися в середовищах та відображатися від границь, або порушених суцільностей (дефектів), володіючих іншими

акустичними опорами. Для контролю якості зварних з'єднань використовувати ехо-імпульсний метод. Він лаштується в озвучуванні виробу короткими імпульсами ультразвуку та реєстрації ехо – сигналів, відображених від дефекту до приймача (рисунки 2.11, 2.12, 2.13). Ознакою дефекту є явище імпульсу на екрані дефектоскопа.

До основних переваг ультразвукової дефектоскопії відносяться: висока чуттєвість, оперативність в отриманні результатів, мобільність апаратури, низька стабільність контролю, відсутність радіаційної небезпеки. Метод широко розповсюджений на виробництві для виявлення дефектів, тріщин, непроварів, шлакових та інших включень в зварювальних швах від 0,1 мм до 2800 мм.

Контроль прямим та однократно відбитим променем здійснюють при переміщенні перетворювача біля шовної зони. Цей спосіб дозволяє здійснювати контроль з однієї сторони виробу, а також прозвучувати “мертву зону”.

Ультразвуковий контроль повинен складатися з наступних етапів:

- вибір основних параметрів сканування, виходячи з параметрів з'єднання, належного контролю та змінний ККД на контроль;
- налаштування дефектоскопу по контрольним зразкам на задані параметри;
- відчистку поверхні сканування від бризок металу, бруду;
- нанесення контактуючого змазуючого матеріалу на шукачі та поверхні сканування;
- забезпечення економічних та ергономічних умов контролю.

Для проведення контролю використовувати ультразвуковий дефектоскоп марки УД2–70 (характеристики надані в таблиці 2.8).

Дефектоскоп УД2–70 призначений для контролю продукції на наявність дефектів типу порушення суцільності і однорідності матеріалів, готових виробів, напівфабрикатів і зварювальних з'єднань, вимірювання глибини і координат залягання дефектів, вимірювання відносин амплітуд сигналів відбитих від дефектів. Особливості дефектоскопа:

- два незалежні вимірювальні строби;

- система автоматичної сигналізації дефектів;
- можливість запам'ятовування: 100 програм налаштувань, 100 зображень екрану, 2000 результатів вимірювання;
- режим роботи з АРД діаграмами;
- режим роботи з АРУ, режим роботи “СПИСІВ”;
- режим «електронна лупа»;
- режим «стоп – кадр», функція «замок»;
- режим зв'язку з ПК.

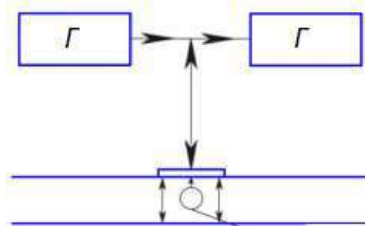


Рисунок 2.11 – Схема ультразвукового контролю стикових швів

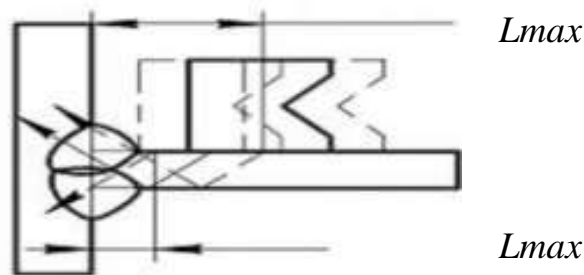


Рисунок 2.12 – Схема ультразвукового контролю таврових швів

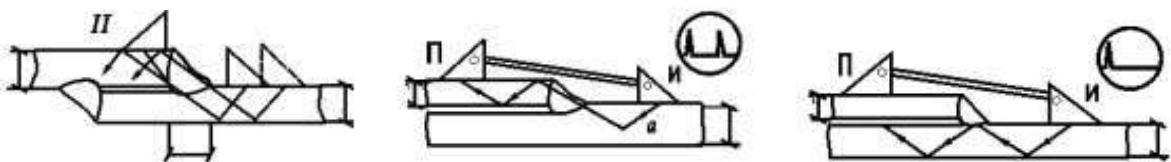


Рисунок 2.13 – Схема ультразвукового контролю швів внапусток

Таблиця 2.8 – Основні технічні характеристики УД2–70 [13]

Робочі частоти, МГц	1,25; 1,8; 2,5; 5; 10
Діапазон контролю (по сталі), мм	0 - 5000
Динамічний діапазон посилення приймального тракту, Дб	100
Абсолютна похибка вимірювання глибини залягання дефекту Нх, мм	$\pm(0,5 + 0,02 Нх)$
Абсолютна похибка вимірювань відношення амплітуд сигналів Мх, мм	$\pm(0,2 + 0,03 Мх)$
Час безперервної роботи від акумуляторної батареї, год, не менше	8

Контролювати площинність ярмових балок, а також їхню прямолінійність на відповідність вимогам креслення (за допомогою стандартизованих пристроїв для контролю зазначених параметрів). Наявність невідповідності не допускається.

### 3 РОЗРАХУНОК МЕХАНІЧНОЇ МІЦНОСТІ ЯРМОВОЇ БАЛКИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДІЮЧИХ НАВАНТАЖЕНЬ

#### 3.1 Підготовка розрахунку

Розрахунок здійснювався у розробленій компанії ANSYS Inc. програмі Ansys Mechanical 17.2, заснованій на методі скінчених елементів [14].

Модель ярмової балки приведена на рис. 3.1.

Властивості та товщини матеріалів, які використовують при розрахунку, приведені в таблицях 3.1, 3.2.

Таблиця 3.1 – Властивості використовуваних матеріалів [2][15][16]

Деталь	Матеріал	Модуль пружності, МПа	Межа текучості, МПа	Межа міцності, МПа
Пресуюче кільце	Ranprex KP-20224	13000	-	208 (межа міцності на згин)
Ярмова балка	09Г2С	210000	355	490
Штир	S690QL (12ХГН2МА)		690	770-940
Стяжна пластина	09Г2С		355	490
Болти, шпильки	A2-70 DIN		450	700
Бандажі	09Г2С	210000	355	490

Допустимі напруги приймаються рівними:

- до межі текучості (для сталевих деталей);

- до 75 МПа (для пресуючих кілець).

Таблиця 3.2 – Розміри використовуваних матеріалів

Деталь	Матеріал	Товщина/Діаметр, мм
Верхнє пресуюче кільце	Ranprex, КР-20224	50
Ярмова балка	09Г2С	16
Штир	12ХГН2МА	D40
Стяжна пластина	09Г2С	14
Кронштейни, що спираються на бруски	09Г2С	14
Нижні мости	09Г2С	Комбіновані, 10 мм і 20 мм
Верхні мости	09Г2С	Комбіновані, 16 мм і 20 мм
Болти	A2-70 DIN	D16
Шпильки	A2-70 DIN	D24
Бандажі	09Г2С	7x50

Навантаження, прикладені до ярмової балки під час короткого замикання

Коротке замикання на центральній фазі:

- максимальна сила, що діє на верхню притискну конструкцію при короткому замиканні на центральній фазі, дорівнює 170 кН, прикладена сила приймається рівною 85 кН, оскільки розрахункова модель представляє половину повної конструкції через симетрію останньої;

- сила, що діє на верхню притискну конструкцію на бічні фази в той же момент часу, приймається рівною зусиллю затиску обмоток, тобто 159 кН; прикладена сила приймається рівною 79,5 кН, оскільки розрахункова модель представляє половину повної конструкції через симетрію останньої.

Коротке замикання на бічній фазі:

- максимальне зусилля, що діє на верхню притискну конструкцію при короткому замиканні на бічній фазі, дорівнює 170 кН, прикладену силу прийнято рівною 85 кН, оскільки розрахункова модель представляє половину повної конструкції через симетричність останньої;

- сила, що діє на верхню притискну конструкцію на головних опорах у той самий момент часу, приймається рівною силі затиску обмоток, тобто 159 кН, прикладена сила приймається рівною 79,5 кН, оскільки розрахункова модель представляє половину повної структури за рахунок симетрії останнього.

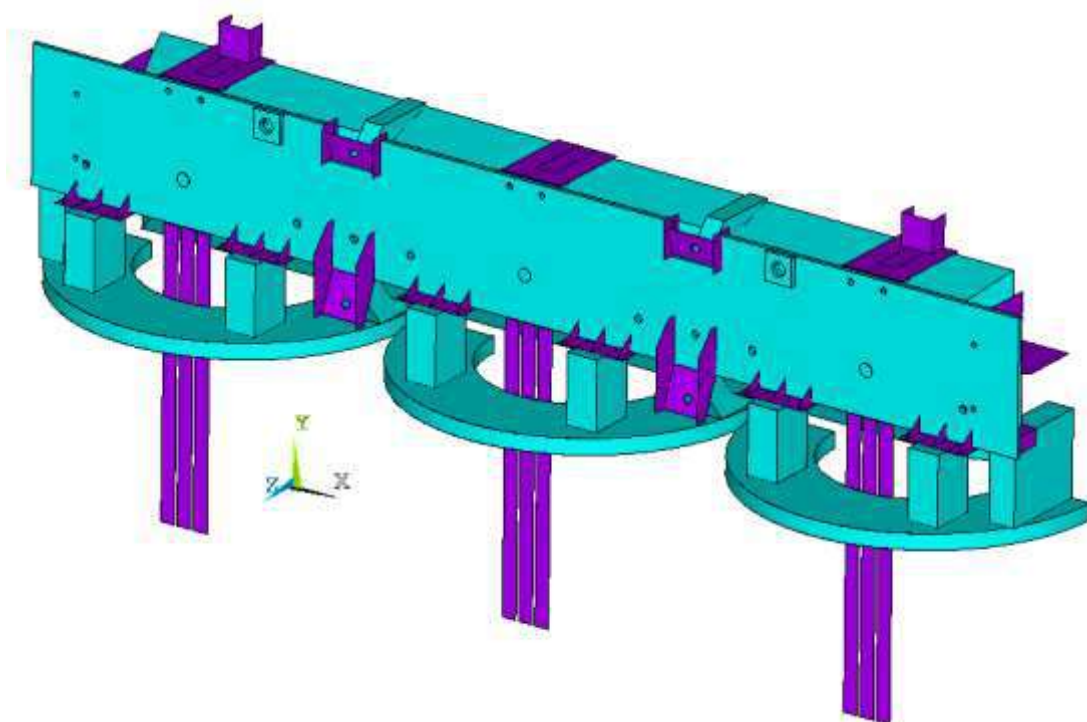


Рисунок 3.1 - Аналітична модель верхньої ярмової балки

## 3.2 Результати розрахунку

### 3.2.1 Коротке замикання на центральній фазі

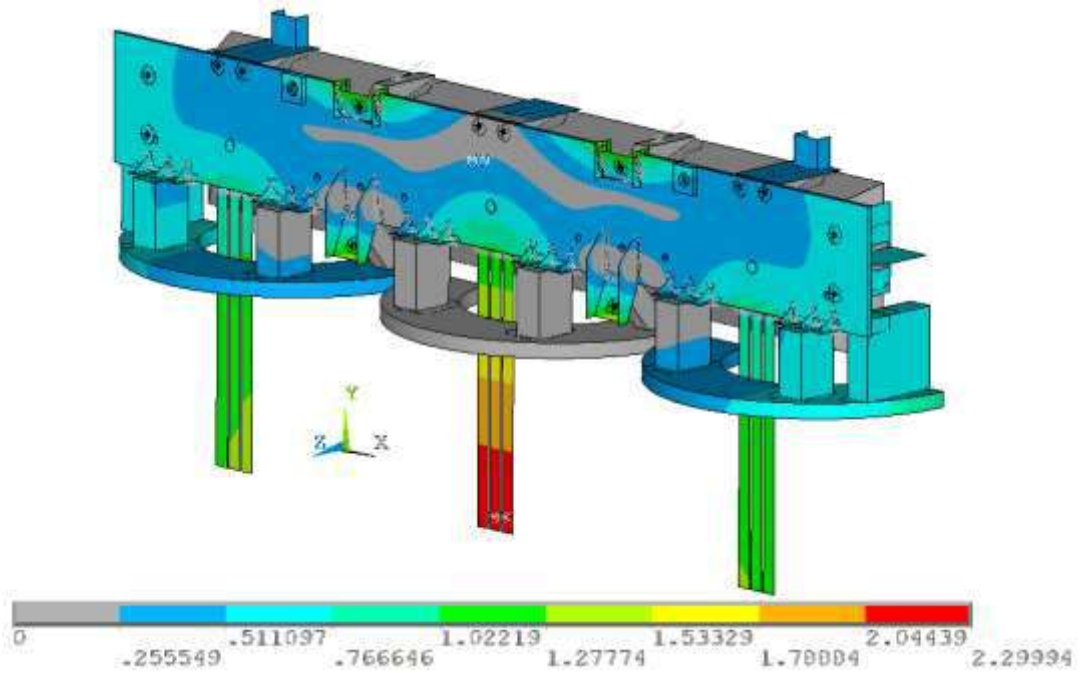


Рисунок 3.2 – Переміщення вздовж вісі Y при короткому замиканні на центральній фазі, мм

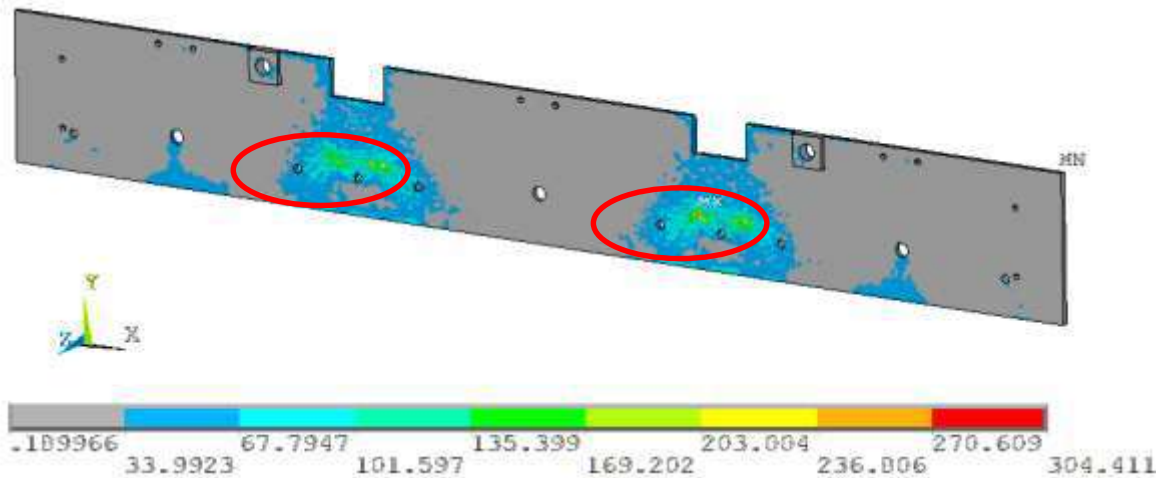


Рисунок 3.3 – Еквівалентні напруження в верхній ярмовій балці при короткому замиканні на центральній фазі, МПа

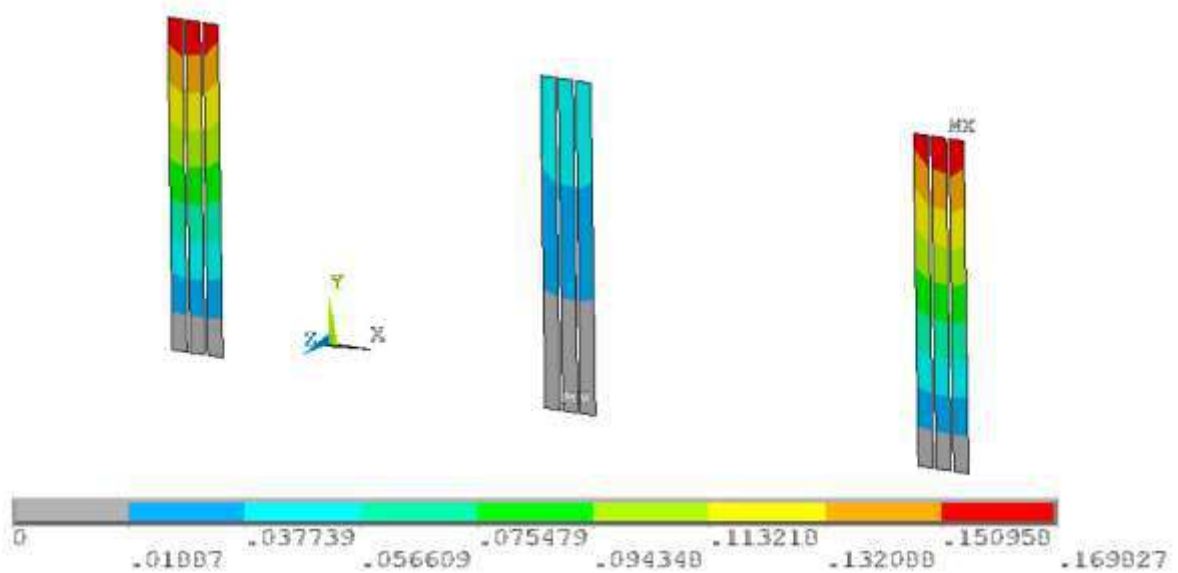


Рисунок 3.4 – Зміщення вздовж вісі Y на стяжніх пластинах при короткому замиканні на центральній фазі, мм

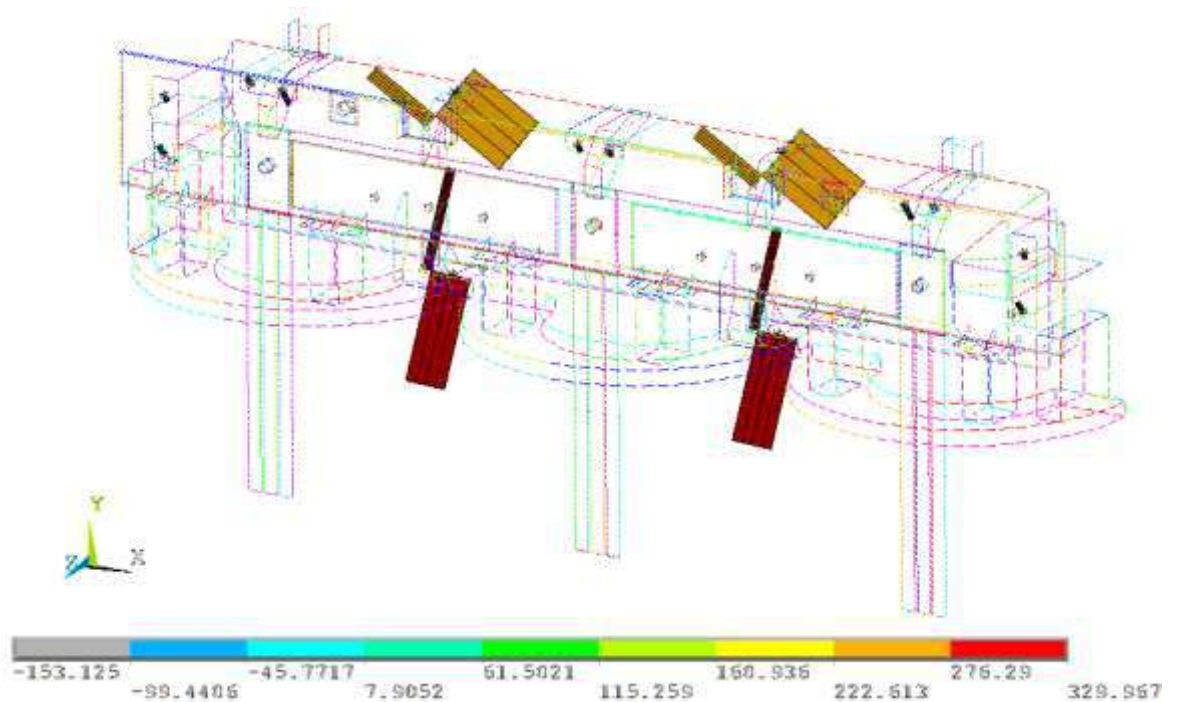


Рисунок 3.5 – Напруження в бандажах верхньої пресуючої конструкції при короткому замиканні на центральній фазі, МПа

### 3.2.2 Коротке замикання на бічній фазі

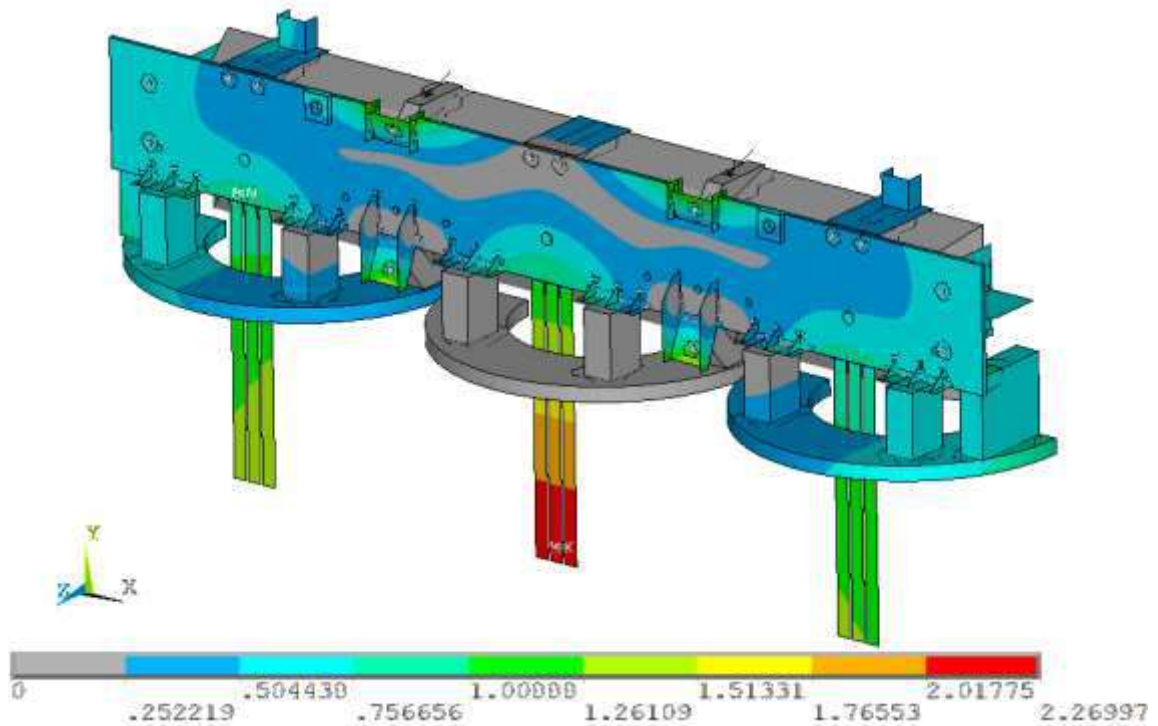


Рисунок 3.6 – Переміщення вздовж вісі Y при короткому замиканні на бічній фазі, мм

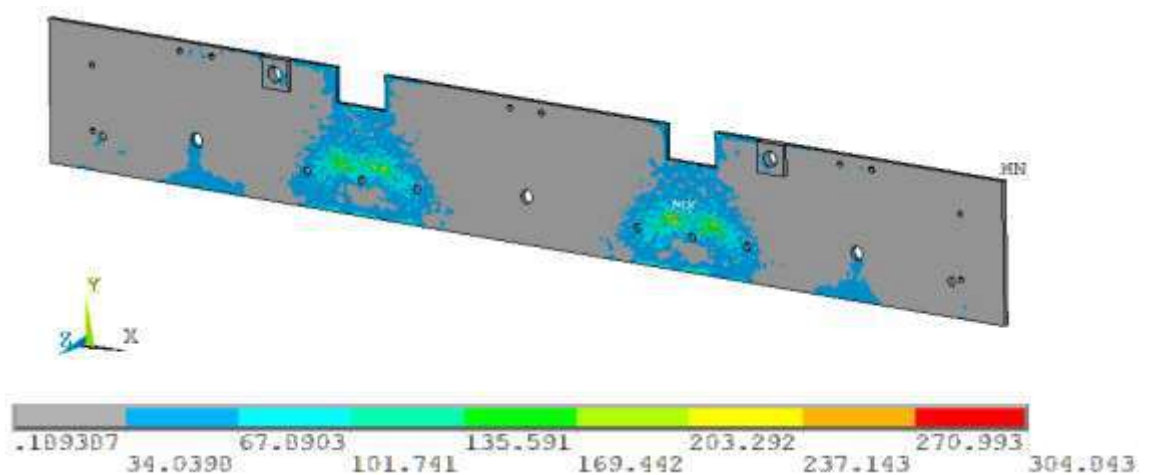


Рисунок 3.7 – Еквівалентні напруження в верхній ярмовій балці при короткому замиканні на бічній фазі, МПа

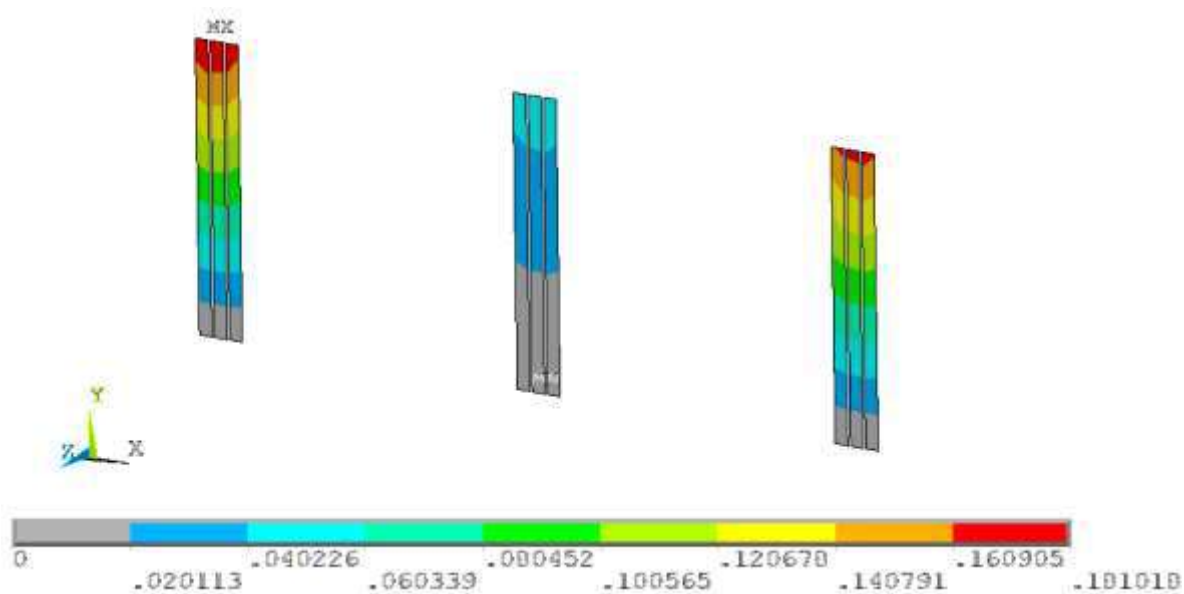


Рисунок 3.8 – Зміщення вздовж вісі Y на стяжних пластинах при короткому замиканні на бічній фазі, мм

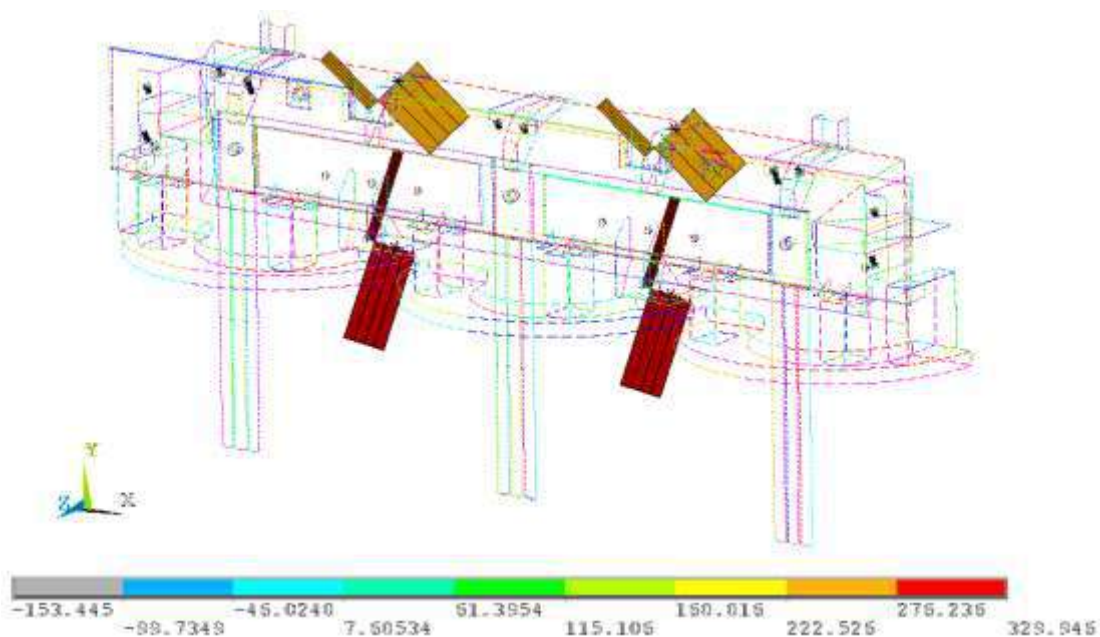


Рисунок 3.9 – Напруження в бандажах верхньої пресуючої конструкції при короткому замиканні на бічній фазі, МПа

### 3.3 Висновки за результатами розрахунків

Розрахунок на механічну міцність був проведений для ярмової балки трансформатора потужністю 40 МВА і його результати показують, що ярмова балка відповідає вимогам по переміщенням і напругам (отримані значення не перевищують допустимі).

Аналогічні розрахунки були проведені для трансформаторів потужністю 10, 25 і 63 МВА, результати яких також показали відповідність отриманих результатів вимогам міцності та надійності.

Це дає можливість зробити висновок про доцільність використання даної конструкції верхньої ярмової балки та уніфікувати її та техпроцес виготовлення для серії трансформаторів класу напруги 110 кВ.

## 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПЛАНУ

### 4.1 Вибір кранового обладнання

За допомогою підйомно–транспортного устаткування в складально-зварювальному виробництві виконують: завантаження-розвантаження, кантування та транспортування заготовок, деталей, комплектуючих і готових ярмових балок на всіх стадіях виготовлення.

Для транспортування, кантування балок та їх складових до стелажів готової продукції та на участок складання магнітних систем та активних частин трансформаторів використовувати кран мостовий в/п 10 т відповідно ISO 4301[17].



Рисунок 4.1 – Кран мостовий

Мостові крани є зручним обладнанням, яке обслуговують практично всю площу прольотів цеха та складів. Вантажозахисними пристроями мостових кранів служать крюки, затискачі, електромагнітні і вакуумні траверси. В однобалочних кранах використовують кран-балки ( електроталь).

Мостові крани обслуговують всю площу цеха за виключенням зони вздовж стін прольотів (які складають до 20 % площі прольоту), на яку кран не може подати гак.

На ділянці виготовлення ярмової балки передбачається кран-балка в/п 1 т, яка використовується на всіх етапах технологічного процесу складання та зварювання. Кран балка рухається по спрямовуючому, розташованому на висоті цеху.

## 4.2 Організація енерго - та газопостачання

### 4.2.1 Електроенергія

Витрати на електроенергію для зварювання складають від 70 % до 75 % загальних витрат електроенергії на виробництво.

Встановлення певної потужності зварювального електроустаткування  $S_{ЗАГ}$  визначається по формулі:

$$S_{ЗАГ} = S_{P1} + S_{P2} + S_{P3} + \dots,$$

де  $S_{P1}$ ,  $S_{P2}$ ,  $S_{P3}$  – сумарні потужності груп споживачів одної характеристики.

Повна потужність кожної з вказаних груп споживачів визначається по формулі:

$$S_p = \frac{\sum P_p \cdot K_c}{\cos \phi},$$

де  $\sum P_p$  - сумарна активна потужність споживачів однієї групи;

$K_c$  - коефіцієнт попиту, який залежить від завантаження зварювально-термічного устаткування;

$\cos \phi$  – середній коефіцієнт потужності електроприймачів даної групи при їх експлуатації.

Після проведення розрахунків і встановлення споживчої потужності на зварювальні роботи визначається число комплексних трансформаторних пунктів (КТП).

Трансформатори для зварювальних установок можна підключати спільно з іншими споживачами, але за умови, що сумарна потужність зварювальних апаратів буде не менше 80 % загальної потужності споживачів.

Для організації соціалізованого електроживлення зварювального устаткування, його необхідно розміщувати в зоні виробництва зварювальних робіт з застосуванням електророзводок.

Для підключення зварювального устаткування до електромережі високої напруги застосовувати мідні дроти та алюміній різних марок.

Поперечна площа дротів підбирається зі справ очних даних залежності від величини і частоти робочого струму.

Орієнтований розрахунок ведеться за формулою:

$$S = \frac{\ell}{j},$$

де  $S$  - площа поперечного перерізу дроту, мм<sup>2</sup>;

$\ell$  – величина робочого струму, А;

$j$  – допустима щільність струму, А/мм<sup>2</sup>.

Після цього дроти перевіряють на величину падіння напруги. Допустимий спад напруги в мережі від 220 В до 380 В складає 5 %.

#### 4.2.2 Газопостачання

Доставка захисної суміші газів МИКС–1 може здійснюватися наступним чином:

- постачання в балонах ємністю 10 л, 20 л, 40 л і 50 л під тиском від 15 МПа до 20 МПа;
- централізованим способом живлення постів напівавтоматичного зварювання від рампи.

Способи постачання захисної суміші газів МИКС–1 визначаються по об'єму робіт [18].

#### 4.3 Опис ділянки

На ділянці для виготовлення ярмової балки знаходиться стелажі для заготівель, комплектуючих, матеріалів та готових виробів, місце складання, місце напівавтоматичного зварювання, місце контролю.

Біля виробництва знаходиться ВДГ–506/3 з напівавтоматом FastMig M 520 «КЕМРРІ» і балон з сумішшю газів МИКС–1.

На ділянці проходить електромережа 220/380 В, мережі питної води, вода технічна, стиснуте повітря, мережа вуглекислого газу, мережа кисню.

Ділянку обслуговує кран мостовий в/п 10 т і кран–балка в/п 1 т. Вздовж всього цеху є пожежний проїзд.

Ділянка знаходиться в цеху з прольотом 12 м і відстанню між колонами 6 м. Передбачени: пожежний щит з вогнегасником, місце для запасів питної води.

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 5.1 Техніко-економічні обґрунтування отриманого процесу

Економічна вигода від оптимізації та вибору конструкції і розробки технологічного процесу виготовлення ярмової балки трансформаторос класом напруги 110 кВ полягає в наступному:

- зниження матеріаломісткості при виготовленні виробу (зменшення кількості сталі, зварювального дроту, захисних газів та інших матеріалів, що використовується під час проведення робіт);

- зниження енергоємності, за рахунок зменшення часу на підготовку робочого процесу та виготовлення продукції;

- значне зниження трудомісткості виготовлення ярмових балок за оптимізованою технологією (зменшення кількості деталей, що використовуються, менша кількість робочого часу, що витрачається на виконання всіх операцій);

- зниження складності та трудомісткості виготовлення виробів за рахунок оптимізації технології, що призвело до зменшення часу на виконання всього комплексу робіт, зменшення прокладності та циклу виготовлення продукції; зменшення навантаження на використовуване обладнання, оснащення, інструмент, що тягне за собою зниження амортизаційних відрахувань та збільшення ресурсу та коефіцієнта використання обладнання та виробничих площ; можливість використання при виготовленні збирачів та зварювальників нижчої кваліфікації, ніж раніше, при незмінній якості;

- Підвищення якості продукції, що виготовляється за рахунок вищевикладених факторів.

Всі ці досягнення дають особливо значний ефект при серійному характері виробництва, який впливає на структуру норм часу.

Для чутливого зниження витрат та собівартості потрібно:

1) покращувати організацію виробництва і праці, розвиваючи вузьку спеціалізацію; покращувати МТП і використання матеріалів; скорочувати транспортні витрати.

2) посилювати технічний рівень виробництва: приміняючи сучасне обладнання, технологічні процеси, оснащення, відповідний інструмент, автоматизувати виробничі процеси, удосконалювати технології, які використовуються при виготовленні.

3) вкладати кошти в науково-дослідні та конструкторські розробки, проведення досліджень, виготовлення та випробування нових зразків продукції, інновації.

4) проводити розробки та розрахунки, покликані знизити матеріал і трудомісткість виготовлення виробів за збереження якості.

5) Зменшувати відносно затрати та відрахування на амортизацію в результаті росту об'єму виготовлення, зміна асортименту продукції, підвищення її якості.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Аналіз потенційних небезпек**

В розділі надані основні заходи з охорони праці при розробці технологічного процесу зварювання ярмової балки:

а) можливість загорянь причинами яких є порушення правил пожежної безпеки, виток горючих робочих газів, коротке замикання, що може призвести до пожеж;

б) небезпеки що пов'язані з незадовільною професійною підготовкою фахівців, що може призвести до виникнення аварійних ситуацій;

в) можливість ураженням електричним струмом через відсутність заземлення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

г) можливість отримання механічних травм при складальних роботах, внаслідок несправності пристосування, не виконання техніки безпеки;

д) можливість виникнення небезпечних ситуацій у наслідок отруєння інертним газом у наслідок не виконання вимог з техніки безпеки;

ж) електрофтальмія, що може призвести до ураження органів зору у разі не використання індивідуальних засобів захисту;

е) можливість отримання термічних опіків при роботах, внаслідок не виконання техніки безпеки;

є) незадовільні параметри повітряного середовища , що може привести до патологій дихальних шляхів та легень.

### **6.2 Заходи по забезпеченню безпеки**

а) для виключення можливості загорянь, внаслідок порушення правил пожежної безпеки, необхідно проводити інструктаж і перевірку знань правил

пожежної безпеки, відповідно до НПАОП 28.52-1.15, НАПБ А.01.001 і НПАОП 0.00–4.12 [19][20][21].

б) для виключення аварійних ситуацій, як при виконанні робіт так і майбутніх експлуатацій, слід дотримуватись безумовного виконання технологічного процесу та заходів безпеки, зокрема обов'язковим є знання потенційної небезпеки з використанням захисного газового середовища: аргон інертний газ, токового навантаження, відсутність надійних методів зварювання, що призвести до руйнування конструкції в подальшій експлуатації.

в) для попередження ураження електричним струмом необхідно здійснювати наступні заходи захисту:

Організаційні заходи: до виконання робіт допускаються особи віком не молодше 18 років, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки згідно ДНАОП 1.1.10–1.01 та отримали допуск з електробезпеки відповідної групи [22].

Для кожного електроспоживного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи: Всі не ізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожені суцільними огороженнями, зняття або відкриття можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

Розташування струмоведучих частин на недоступній висоті. Висот розташування визначається значенням напруги: при нарузі до 1000 В – не менше 3,5 м, при нарузі більше 1000 В – не менше 6 м. Зварювальні проводи мають бути гнучкими з гнучкою та міцною ізоляцією. Принцип дії захисного заземлення полягає у зниженні до безпечних значень напруги дотику, яка обумовлена замиканням на корпус. Електрообладнання необхідно заземлювати у відповідності з ПУЕ [23].

При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту: сухі брезентові рукавиці, роба, взуття.

Використовувати на робочих місцях при зварюванні діелектричні килимки

згідно ДСТУ EN ISO 7010, ізолюючі підставки і інші електрозахисні засоби, що забезпечують електробезпеку. Для попередження працівників про можливість ураження електричним струмом на ділянках зварювання повинні бути вивішені попереджувальні написи, плакати та знаки безпеки [24].

Перед початком роботи перевіряються наявність і справність: огорожень і запобіжних пристроїв, струмоведучих частин електричної апаратури (пускачів, трансформаторів, кнопок і інших), заземлювальних пристроїв, захисних блокувань. При виявленні несправностей до роботи не приступати, про несправності повідомити своєму безпосередньому керівнику.

г) для виключення механічного травмування передбачається ряд заходів: наявність знаків безпеки; проведення навчання і перевірки знань з охорони праці; забезпечення працівників спеціальним одягом і спеціальними засобами індивідуального захисту.

Робітники зварювальних ділянок повинні забезпечуватись захисним, брезентові захисні костюми, спецодягом та індивідуальними захисними засобами згідно ДСТУ ISO 45001 [25].

Одяг спеціальний для захисту від підвищених температур теплового випромінювання, рукавиці спеціальні ДСТУ ISO 45001, спеціальне взуття (ботинки, напівсапоги) із захисними носками згідно ДСТУ 3835, спеціальні окуляри захисні по ДСТУ ISO 45001 [25]-[26].

Перед початком роботи необхідно: оглянути робоче місце, привести його в порядок, звільнити проходи і не захащувати їх, оглянути, привести в порядок і надіти засоби індивідуального захисту, переконатися в тому, що підлога суха;

д) для виключення можливості отруєння інертними газами необхідно виконувати наступні вимоги: гнучкі шланги мають бути тільки армовані, поєднання шлангів гладкими з'єднувачами неприпустимо. Кріплення виконуються тільки хомутом; герметизація проривів ізострічкою неприпустима, пошкоджену ділянку вирізати і поєднати з'єднувачем типу «йорш», після закінчення зварювання проводити продувку повітрям робочої зони, а також приямків і обладнання, розташованого нижче рівня підлоги.

ж) для захисту від впливу ультрафіолетового опромінення передбачено використання щитків зі світлофільтрами ДСТУ ISO 45001, захисних окулярів типу ГС–3, ГС–7, ГС–12 або встановлення світлофільтрів в камері наплавлення [25].

е) для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних захисних засобів, зокрема, рукавиці брезентові ДСТУ ISO 45001 [25].

є) для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища на ділянці для зварювання передбачено влаштування загально обмінної механічної вентиляції згідно ДСН 3.3.6-042 [27].

### 6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Метеорологічні умови в приміщенні ділянці та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони у виробничих приміщеннях приведені в таблицях 6.1, 6.2.

Таблиця 6.1 – Метеорологічні умови в приміщенні ділянці

Період року	Температура, с°	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	18-22	40-60	ОД-0,3
Теплий	20-23	40-60	0,1-0,4

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони у виробничих приміщеннях

Молібден, мг/м <sup>3</sup>	Окис вуглецю, мг/м <sup>3</sup>	Окис заліза, мг/м <sup>3</sup>	Хромовий ангідрид, мг/м <sup>3</sup>
2	20	4	0,01

Для зменшення концентрації шкідливих речовин на робочих місцях до гранично допустимих, застосовані місцеві витяжні панелі і фільтровитяжні агрегати, витяжні шафи та ін., згідно ДБН В.2.5-67 [28].

Для освітлення ділянки зварювання використовуємо люмінесцентні лампи, які, незважаючи на свої недоліки, мають ряд переваг:

- значна світловидатність (від 5 разів до 7 разів більше ламп розжарювання);
- великий термін служби (від 6000 годин до 14000 годин).

Освітленість проходів і частин приміщення, де роботи не проводяться, повина складати не менше 25 % освітлення, що створюється світильниками загального освітлення на робочих місцях, але не менше 75 лк при застосуванні газорозрядних ламп і 30 лк при використанні ламп накалювання.

## 6.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

### 6.4.1. Заходи з пожежної безпеки

Ділянка складання і зварювання, згідно ДСТУ Б В.1.1-36 відноситься до категорії «Г» згідно ДБН В.1.1.7, визначається, як «С» [29]-[30].

Площа ділянки складає 114 м<sup>2</sup>. Виходячи з цього, згідно ДСТУ 4297 вибирається три порошкових вогнегасника ємністю 8 літрів [31].

На ділянці розташований пожежний щит. До складу щита входить:

- вогнегасник – 3 шт.;
- ящик з піском – 1 шт.;
- покривало розміром 2х2 – 1 шт.;
- гаки – 3 шт.;
- лопати – 2 шт.;
- лом – 2 шт.;
- сокира – 2 шт.

Горінням називають складним фізико-хімічний процес взаємодії горючої речовини та окислювача, який супроводжується виділенням тепла та випромінюванням світла.

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі.

Залежно від агрегатного стану й особих можливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБН В.1.1.7 [30]:

- Клас А – пожежі твердих речовин, горіння яких супроводжується тлінням.
- А1 – горіння, яке супроводжується тлінням
- А2 – яке не супроводжується тлінням;
- Клас В – горіння рідких речовин;
- В1 – які розчинні у воді;
- В2 – нерозчинні у воді;
- Клас С – горіння газоподібних речовин (побутовий газ, водень, пропан);
- Клас D – горіння металів;
- D1 – легкі метали;
- D2 – лужні і лужноземельні метали;
- D3 – металомісткі сполуки;
- Клас Е – горіння електроустановок, що перебувають під напругою електричного струму.

Проте, нещодавно в Україні введено в дію ДСТУ EN 2, відповідно до якого поняття підкласів пожеж (від А1 до D3) уже не застосовується, з переліку також виключено клас Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою е струм), а натомість введено клас F – горіння речовин, які використовують для приготування їжі (рослинних і тваринних олій та жирів) та які містяться в кухонних приладах [32].

Пожежо – вибухова небезпека речовин та матеріалів – це сукупність властивостей, які характеризують їх схильність до виникнення й поширення горіння, особливості горіння і здатність піддаватись гасінню загорянь. За цими

показниками виділяють три групи горючості матеріалів і речовин: негорючі, важко горючі та горючі.

Негорючі (неспалимі) – речовини та матеріали, нездатні до горіння чи обвуглювання у повітрі під впливом вогню або високої температури. Це матеріали мінерального походження та виготовлені на їх основі матеріали — червона цегла, силікатна цегла, бетон, камінь, азбест, мінеральна вата, азбестовий цемент та інші матеріали, а також більшість металів. При цьому негорючі речовини можуть бути пожежонебезпечними, наприклад, речовини, що виділяють горючі продукти при взаємодії з водою.

Важкогорючі (важко спалимі) – речовини та матеріали, що здатні спалахувати, тліти чи обвуглюватись у повітрі від джерела запалювання, але нездатні самостійно горіти чи обвуглюватись після його видалення (матеріали, що містять спалимі та неспалимі компоненти, наприклад, деревина при глибокому просочуванні антипіренами, фіброліт і т. ін.);

Горючі (спалимі) – речовини та матеріали, що здатні самозайматися, а також спалахувати, тліти чи обвуглюватися від джерела запалювання та самостійно горіти після його видалення. У свою чергу, у групі горючих речовин та матеріалів виділяють легкозаймисті речовини та матеріали – це речовини та матеріали, що здатні займатися від короткочасної (до 30 секунд) дії джерела запалювання низької енергії.

Локалізація – це стадія пожежогасіння, на якій обмежено розповсюдження полум'я та створено умови для її повної ліквідації (створено достатній запас паливно-мастильних матеріалів, вогнегасних речовин, людських ресурсів тощо). Локалізація й гасіння пожеж проводяться задля збереження матеріальних цінностей держави й окремих громадян, тварин та організацій протипожежними формуваннями ЗС, ЦО, Міністерства внутрішніх справ, Міністерства з надзвичайних ситуацій, Міністерства охорони навколишнього середовища із залученням до цих робіт працівників, службовців і населення, що проживає поблизу осередку надзвичайної ситуації.

Для локалізації пожежі, створюються протипожежні смуги одночасно на кількох ділянках шириною від 6 м до 8 м. При наявності часу протипожежні смуги поширюються від 20 м до 40 м перед фронтом і від 8 м до 10 м на флангах і в тилу пожежі. Для гасіння пожежі можуть бути застосовані вибухові речовини.

Пожежна безпека – стан захищеності людини і матеріальних цінностей від пожеж. Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною діяльності держави щодо охорони життя і здоров'я людей, тварин, національного багатства та навколишнього природного середовища. В Україні загальні правові, соціальні та економічні основи забезпечення пожежної безпеки, відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб цієї галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності, регулюються Кодексом цивільного захисту України.

Задля підвищення пожежної безпеки і недопущення нещасних випадків, в Україні для всіх підприємств діє норма по отриманню протипожежної декларації, яка є одним з основних документів, що дозволяють здійснювати підприємницьку діяльність.

Протипожежна профілактика – це комплекс організаційних і технічних заходів, які спрямовано на підтримання безпеки людей, на попередження пожеж, локалізацію їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

В основі класифікації лежать порівняльні дані, що визначають ймовірність виникнення пожежі або вибуху залежно від властивостей і стану речовин, що задіяні у виробничому процесі.

Категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою будівель або приміщень – це класифікаційна характеристика небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, які знаходяться, або обертаються там, з урахуванням особливостей технологічних виробничих процесів, як «Г».

#### 6.4.2. Навчання населення діям в умовах надзвичайних ситуацій

Навчання населення діям в умовах надзвичайних ситуацій проводиться:

- працююче населення – за місцем роботи;
- діти дошкільного віку – за місцем виховання;
- учні та студенти – за місцем навчання;
- непрацююче населення – за місцем проживання.

Організація навчання діям в умовах надзвичайних ситуацій покладається:

а) працюючого і непрацюючого населення – на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту, а розробляють і затверджують організаційно методичні вказівки та програми з підготовки населення до дій в умовах НС.

б) місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування.

в) дітей дошкільного віку, учнів та студентів - на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики в сфері освіти і науки, який розробляє і затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних чинників, викликаних надзвичайними ситуаціями, надання долікарської допомоги, за погодженням з центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту.

Стандартами професійно-технічної та вищої освіти передбачено отримання знань у сфері цивільного захисту. Порядок навчання населення діям в умовах надзвичайних ситуацій встановлюється Кабінетом Міністрів України. Громадські організації та позашкільні навчальні заклади проводять навчання діям в умовах надзвичайних ситуацій відповідно до своїх програм.

Навчання працюючого населення діям в умовах надзвичайних ситуацій є обов'язковим і проводиться в робочий час, за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення до дій в умовах надзвичайних ситуацій, а також на спеціальних об'єктових навчаннях і тренуваннях з питань цивільного

захисту. Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту визначається Державною службою України з надзвичайних ситуацій. Для отримання працівниками відомостей про порядок дій в умовах надзвичайних ситуацій, з урахуванням особливостей виробничої діяльності об'єкта, облаштовується інформаційно довідковий куток з питань цивільного захисту.

При прийнятті на роботу, а також щорічно, працівники проходять інструктаж з питань цивільного захисту, пожежної безпеки та діям в умовах надзвичайних ситуацій. Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи, з метою допуску до виконання своїх обов'язків, а також періодично (один раз на три роки), проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки. Забороняється допускати до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема, з пожежної безпеки.

Непрацююче населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно – довідковий матеріал з питань цивільного захисту, правила пожежної безпеки в побуті та громадських місцях, а також отримує через засоби масової інформації, від органів державної влади або органів місцевого самоврядування необхідні відомості про надзвичайні ситуації, в зоні яких можуть виявитися непрацюючі громадяни, а також про способи захисту від впливу небезпечних чинників.

## ВИСНОВКИ

В дипломі була розроблена технологічний процес виготовлення ярмових балок трансформаторів класом напруги 110 кВ, а саме:

- розробтані технічні умови на виготовлення балок;
- складена схема виготовлення;
- обрана технологія зварювання;
- обрані потрібні зварювальні матеріали;
- визначен зварювальний режим;
- обране обладнання;
- наведені заходи по за для зменшенню напруг, деформацій у виробках;
- визначено, яким чином контролюється якість;

Наведено економічний зиск від розробки технологічного процесу виготовлення ярмових балок та оптимізації конструкції виробу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Електричні мережі, обладнання, документація, інструкції.  
URL: [www.leg.co.ua](http://www.leg.co.ua) (дата звернення: 09.10.2023).
2. ДСТУ 8541:2015. Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови.  
[На заміну ГОСТ 19281-89; Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 46 с.  
(Інформація та документація).
3. Хромченко Ф. А. Сварочное пособие электросварщика. М.: Энергоиздат, 1989. 143 с.
4. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки.  
[Чинний від 1994-04-15]. Вид. офіц. Київ, 1994. 28 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Електродні дроти та наплавлений метал у захисному газі плавким електродом нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14341:2011, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 78 с.
6. ДСТУ ISO 14175:2014. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 13 с.  
(Інформація та документація).
7. ДСТУ ISO 2553:2019. Зварювання та споріднені процеси. Умовні позначки на креслениках. Зварні з'єднання (ISO 2553:2019, IDT) [Чинний від 2019-01-11]. Вид. офіц. Київ, 2019. 49 с. (Інформація та документація).
8. ЕНиР. Сборник Е 40. Изготовление строительных конструкций и деталей. Выпуск 2 – Металлические конструкции. М.: Прейскурантиздат, 1987. 18 с.
9. Промышленные газы Украина. URL: [www.linde-gas.com.ua](http://www.linde-gas.com.ua)  
(дата звернення: 19.10.2023).
10. Шуб М. Б. Методические рекомендации на выполнение дипломного проекта по специальности «Технология сварочного производства». 1986. 212 с.

11. Сварочные полуавтоматы FastMig M 320/420/520. URL: [https://kemppi.in.ua/ru/catalog/sinergicheskoe\\_upravlenie/135.htm](https://kemppi.in.ua/ru/catalog/sinergicheskoe_upravlenie/135.htm) (дата звернення: 19.11.2023).
12. ЕНиР. Сборник Е 22. Сварочные работы. Выпуск 1 – Конструкции зданий и промышленных сооружений. М.: Прейскурантиздат, 1987. 56 с.
13. Волченко В. И. Контроль качества сварочных конструкций. М.: Машиностроение, 1986. 290 с.
14. Ansys Mechanical. Structural FEA Analysis Software. URL: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-mechanical> (дата звернення: 19.11.2023).
15. Сталь S690QL. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/steel/ctal-s690ql> (дата звернення: 25.09.2023).
16. Type of Ranprex. URL: [http://www.rancan.com/rancan/pdf/Tecnical\\_data.pdf](http://www.rancan.com/rancan/pdf/Tecnical_data.pdf) (дата звернення: 01.10.2023).
17. ДСТУ ISO 4301-2:2015. Крани підйомні. Класифікація. Частина 2. Самохідні крани (ISO 4301-2:2009, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 188 с.
18. Гитлевич А. Д. Техническое нормирование технологических процессов. М. : Машиностроение, 1977. 260 с.
19. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів. [Текст]. – Затверджено: Міністерство юстиції України. Наказ від 14.12.2012 № 1425 "Про затвердження Правил охорони праці під час зварювання металів" – 2012. – 26 с. (Правила пожежної безпеки).
20. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. [Текст]. – Затверджено: Міністерство юстиції України. Наказ від 30.12.2014 № 1417 Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні. – 2014. – 85 с. (Правила пожежної безпеки).
21. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-4.12-05. – На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93; чинний від 2005-02-26. – К.:

Держнагляд охорони праці України, 2005. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

22. ДНАОП 1.1.10–1.01–2000. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [Текст]. – Затверджено: Міністерство юстиції України. Наказ від 13.01.1998 № 2451 "Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електроустановок" – 1998. – 28 с.

23. Правила улаштування електроустановок [Текст]: ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. - (Правила).

24. ДСТУ EN ISO 7010:2019. Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки (EN ISO 7010:2012; A1:2014; A2:2014; A3:2014; A4:2014; A5:2015; A6:2016; A7:2017, IDT; ISO 7010:2011; Amd 1:2012; Amd 2:2012; Amd 3:2012; Amd 4:2013; Amd 5:2014; Amd 6:2014; Amd 7:2016, IDT). [На заміну ДСТУ ISO 6309:2007; Чинний від 2020-07-01]. Вид. офіц. Київ: 2020. 12 с. (Інформація та документація).

25. ДСТУ ISO 45001:2018. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). [На заміну ДСТУ OHSAS 18001:2010; Чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ: 2021. 40 с. (Інформація та документація).

26. ДСТУ 3835-98. Взуття спеціальне з верхом із шкіри для захисту від механічних впливів. Технічні умови. [На заміну ГОСТ 28507-90; Чинний від 2001-01-01]. Вид. офіц. Київ: 2001. 41 с. (Інформація та документація).

27. ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». [Текст]. – На заміну ДСН 3.3.6.042.93. Дата введення 1999-12-01. – Київ. Міністерство охорони здоров'я України. 1999. – 12 с. – (Санітарні норми України).

28. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». [Текст]. – На заміну СНиП 2.04.05-91. Дата введення 2014-01-01. – Київ. Міністерство

регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2013. – 141 с. – (Державні Будівельні Норми).

29. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 34 с. (Інформація та документація).

30. ДБН В.1.1.7–2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». [Текст]. – На заміну ДБН В.1.1.7–2002. Дата введення 2017-06-01. – Київ. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2003. – 42 с. – (Державні Будівельні Норми).

31. ДСТУ 4297:2004. Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2004-10-01]. Вид. офіц. Київ, 2004. 54 с. (Інформація та документація).

32. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: 2016. 3 с. (Інформація та документація).

