

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Вдосконалення технологічного процесу виготовлення  
рами контейнера

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МЗс-41  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

	_____	<u>Горбань Ю.І</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Береженко Б.М.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Ткаченко І.Г.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<u>Окіпний І.Б.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2021

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«    »

20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Горбаню Юрію Ігоровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення технологічного процесу виготовлення рами контейнера

Керівник роботи Береженко Богдан Миколайович, старший викладач кафедри МТ  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «22» Січня 2021 року № 4/7-37

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина; 2. Технологічна частина; 3. Конструкторська частина;

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

1) Технологічний процес виготовлення виробу 1 аркуш А1; 2) Трансформатор зварювальний 1 аркуш А1; 3) Кантувач для зварювання рами контейнера 5 аркушів А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка

Студент \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ Горбань Ю.І. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Березенко Б.М.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота для здобуття освітнього рівня бакалавр на тему «Вдосконалення технологічного процесу виготовлення рами контейнера» складається з пояснювальної записки, яка в свою чергу складається з 4 розділів та графічної частини, що складається з 6 листів формату А1 креслень складально-зварювальних пристосувань та 1 листа формату А1 технологічного процесу виготовлення рами контейнера.

Мета кваліфікаційної роботи – вдосконалення технологічного процесу виготовлення зварного виробу, підвищення якості виготовлення виробу та підвищення продуктивності праці.

Запропоновано: технологію автоматичного зварювання нижньої рами вантажного контейнера; проведено розрахунок необхідних параметрів режиму зварювання; вибрано раціональне зварювальне устаткування; проведено розрахунки техніко-економічних показників; запропоновано заходи з охорони праці.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** НАПІВАВТОМАТ, ЗВАРЮВАННЯ, ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ДРІТ, ЗВАРЮВАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Опис конструкції зварного виробу	6
1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу	7
1.3 Технічні умови на виготовлення зварного виробу.	7
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу та постановка задач на проектування.	8
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Обґрунтування способу зварювання	12
2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування.	14
2.3 Вибір методу контролю якості виробу	16
2.4 Опис запропонованого технологічного процесу виготовлення зварного виробу	18
2.5 Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу	20
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	22
3.1 Вибір та розрахунок елементів основного чи додаткового зварювального устаткування	22
3.2 Розрахунок зварних з'єднань на міцність	59
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	61
4.1 Оцінка шкідливих факторів, які діють в зварювальному цеху (дільниці). Заходи для зменшення їх впливу	61
4.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою для зварювального цеху (дільниці)	63
4.3 Пожежна профілактика в зварювальному цеху (дільниці)	66
ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69
ДОДАТКИ	71

## ВСТУП

На сьогоднішній день, такі галузі народного господарства, як машинобудування, будівництво не можливо уявити без технологічного процесу зварювання металів. Тому на сьогоднішній день в зварювальне виробництво ефективно впроваджуються заходи, щодо вдосконалення технологічних процесів зварювання, підвищення якості виконання зварних швів та якості виготовлення зварних виробів. Виробництво стає більш автоматизованим та механізованим.

Зварювання – один з найбільш широко розповсюджених технологічних процесів. В зв'язку із зростанням зварювального виробництва та розробленням нових способів зварювання та наплавлення, в свою чергу зростає і вимога створення нових зразків зварювального устаткування та їх постійного вдосконалення. Це забезпечує ефективне застосування всіх способів зварювання в промисловості.

Зварювальне виробництво на сьогоднішній день є однією з провідних областей техніки. Високопродуктивні та економічно ефективні способи зварювання, наплавлення, паяння, термічного різання та металізації широко застосовують у всіх галузях машинобудування. Вони дозволяють успішно обробляти майже всі конструкційні матеріали найрізноманітніших товщин. Високорозвинене зварювальне виробництво є фундаментом для подальшого збільшення показників якості виготовленої продукції, продуктивності праці, економічного використання енергії та матеріалів.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис конструкції зварного виробу

Контейнер призначений для транспортування дрібними відправками різних вантажів, в тому числі і вантажів, які швидко псуються. Контейнер складається з рами, бункерів, даху, автозчепного пристрою, гальмівної системи, механізму розвантаження, візків. В роботі розглядається нижня рама вантажного контейнера (рис. 1.1). Рама є основою кузова. Вона з'єднує між собою частини контейнера, які сприймають вертикальні і горизонтальні зусилля, які діють на нього. Рама – це просторова конструкція, що призначена для з'єднання вузлів та деталей в єдиний механізм. Основними деталями нижньої рами є: брус упорний 1, брус розпорний 2 і 4, стійка 3 та інші.

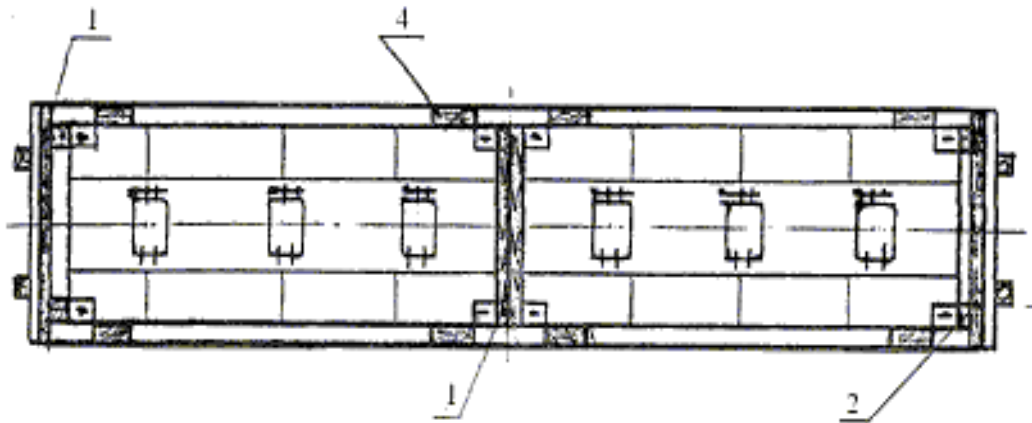
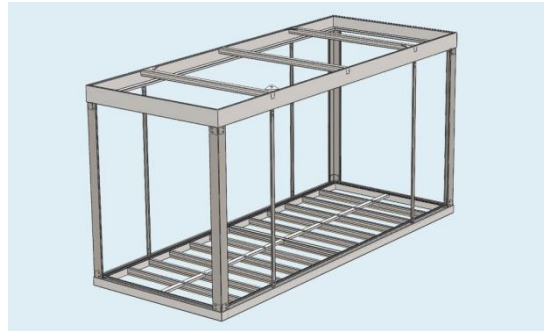


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд рами контейнера.

## 1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу

Проектуючи зварні конструкції, для того щоб отримати якісні зварні вироби, велику увагу приділяють матеріалу, з якого, в подальшому виготовлятиметься зварна конструкція.

Матеріал, з якого виготовлятиметься зварний виріб повинен в першу чергу добре зварюватись. Також він має легко піддаватися до механічного, або термічного оброблення. Ще одними важливими показниками матеріалу є його механічні властивості та вартість.

Виходячи з вище сказаного, для виготовлення рами контейнера вибираємо сталь 09Г2. Вона є конструкційною, маловуглецевою, та низьколегованою

В таблицях 1.1. та 1.2 зведені хімічний склад та механічні властивості матеріалу виробу.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі марки 09Г2, % (ГОСТ 19282-73)[1]

C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	P	S	N	As
			не більше						
до 0,12	0,17- 0,37	1,4- 1,8	0,30	0,30	0,30	0,035	0,040	0,008	0,08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі марки 09Г2 [1]

ГОСТ	Стан поставки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %
19282-73	Сортовий і фасонний	До 20	Не менше		
			305	440	21

## 1.3 Технічні умови на виготовлення зварного виробу

Під час виготовлення виробу, або на стадії його проектування геометричні розміри виробу та його форма мають зберігатися та бути незмінними. Тому при проектуванні конструкції завжди враховують особливості виробництва з



технічної точки зору. Для запобігання виникнення деформацій, або різноманітних напружень необхідно чітко дотримуватись технології. Зварні з'єднання оформляються відповідно до допусків на розміри, характеру обробки та форми підготовки кромки.

Зварні з'єднання повинні відповідати технічним умовам складального креслення. Зварювальні матеріали вибираються з найменшим вмістом фосфору та сірки.

Процес поступового з'єднання елементів зварного виробу, або конструкції в правильному порядку. Порядок складання зазначається в технологічній карті.

Існує декілька способів складання за попереднім розмічуванням, або за контрольними отворами.

При складанні по попередньому розмічуванню положення кожного елемента визначається по місцях.

Для зварювання рами контейнера використовуємо складально-зварювальні пристосування.

При складанні зварних з'єднань необхідно знати про вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на міцність конструкції, це залежить від конструктивних і експлуатаційних факторів.

Дефекти зварних з'єднань при виготовленні рами контейнерів не мають перевищувати норм ОСТ 23.2. 429 – 80.

При виявленні у зварному з'єднанні дефектів, наявність яких без виправлень допустима згідно ОСТ 23.2. 429 – 80 загальна довжина ділянок із дефектом має бути менша 15% від загальної довжини шва зварного з'єднання.

Конструктивні елементи швів мають відповідати стандарту ОСТ 23.1. 466 – 71.

#### **1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу та постановка задач на проектування**

Заготовки, з яких складається рама контейнера, виготовляються із листового прокату та фасонних профілів (Z-подібних профілів та кутників).

Заготовки виготовляють в такій послідовності:

- 1) правлять;
- 2) розмічують;
- 3) ріжуть;
- 4) очищують;

Правлення заготовок відбувається з використанням правильних вальців. Розмічують деталі з допомогою розмічувальних станків. Ріжуть необхідний матеріал з використанням різання газополуменевого, або механічним способом. Очищують заготовки завдяки хімічним, або механічним методам очистки поверхонь.

Для виготовлення рами контейнера використовують електродугове напівавтоматичне зварювання плавким електродом в захисному газі. Роль захисного газу відіграє вуглекислий газ ГОСТ 8050-85. Він доставляється в балонах відповідно до в рідкому стані.

Зварювання проводять з напівавтоматом ПДГ-312. Зварювальна головка в даному напівавтоматі включає в себе пальник, крізь який проходить шланг та мундштук, завдяки якому підводиться струм до зварювального дроту. Електродний дріт подається за допомогою гнучкого шлангу, який має довжину 3-4 м до пальника. В спеціальній шафі керування розміщена вся апаратура, що призначення для контролю та керування напівавтоматом. Також з допомогою шлангу підводиться до пальника зварювальний струм.[3].

При зварюванні рами контейнера використовуємо прямий струм, який має зворотну полярність. Пальник встановлюється на відстані 15...20 мм від зварного виробу. Кут нахилу пальника – 5...10°. Зварюється рама контейнера зварювальним дротом Св08Г2С. Його діаметр 1.2 мм.

Для захисту очей та обличчя зварювальника застосовують щиток ННП-С-605-40, ГОСТ 12.4.035-78.

Контроль якості зварних з'єднань даного виробу проводиться у відповідності з ГОСТ 23.2.429-80, він включає в себе:

- попередній контроль;

- операційний контроль;
- кінцевий контроль.

Об'єкти попереднього контролю наступні:

- кваліфікація зварювальника;
- стан зварювального обладнання, апаратури та складально-зварювальних пристосувань;
- комплектність технічної документації;
- матеріал заготовок;
- вимірювальні пристрої та інструменти.

Об'єкти операційного контролю:

- підготовлення деталей під зварювання;
- складання;
- зварювання.

Методи кінцевого контролю якості - це методи контролю якості швів зварних з'єднань, які в залежності від характеристики дефектів і технічних вимог, що висуваються до даних з'єднань, проводяться відповідно згідно ГОСТ 3242-69.

При зварюванні в середовищі  $\text{CO}_2$  спостерігається підвищене, в порівнянні з іншими способами зварювання, розбризування електродного металу. Деяка частина крапель розплавленого металу, що вилітають із зони зварювання налипає, чи сплавляється із зварюваною деталлю, соплом пальника та мундштуком.

Налипання крапель на поверхню сопла і мундштука порушує рівномірну подачу електродного дроту, погіршує газовий захист, тому необхідно періодично очищати сопло і мундштук від бризок.

Значним і важливим недоліком існуючого технологічного процесу є також використання ручних затискних пристроїв. Дані пристрої вимагають безпосередньої дії складальника-зварювальника, що значно збільшує час складання та трудові витрати на виготовлення рами вагона.

Важливим недоліком є нераціональне застосування зварювального обладнання.

Тому, враховуючи перераховані вище недоліки, необхідно:

- розробити і впровадити таку технологію зварювання в CO<sub>2</sub>, яка б дозволила зменшити розбризкування електродного металу;
- удосконалити затискні пристрої, замінивши ручні на механізовані;
- раціонально підібрати зварювальне обладнання.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Обґрунтування способу зварювання

При виборі того чи іншого способу зварювання для виготовлення рами контейнера необхідно керуватись наступними факторами: матеріал виробу, товщина деталей, якість зварного з'єднання, об'єм випуску, відповідальність конструкції.

Раму контейнера можна зварювати ручним дуговим зварюванням покритими електродами, напівавтоматичним зварюванням в аргоні, вуглекислому газі і під флюсом.

При ручному дуговому зварюванні покритими електродами, переміщення електрода вздовж лінії зварювання і подачу його в зону горіння дуги, здійснюють по мірі розплавлення вручну. При цьому виникають труднощі, пов'язані з підтриманням постійної довжини дуги. Коливання дугового проміжку відбиваються на основних параметрах режиму - силі струму і напрузі дуги [6].

Цей спосіб зварювання недостатньо продуктивний, з ручною подачею електрода, і застосовується, як правило, для зварювання швів невеликої довжини у важкодоступних місцях.

Зварювання в аргоні при виготовленні даного виробу застосовувати недоцільно внаслідок його дороговизни. Цей спосіб зварювання, застосовується для алюмінієвих, титанових, магнієвих сплавів, цирконію, молібдену та інших активних металів та їх сплавів, а також для особливо відповідальних конструкцій.

При напівавтоматичному зварюванні під флюсом дуга горить під шаром порошкоподібного флюсу, який забезпечує її стійке горіння і захист зварювальної ванни. При даному способі зварювання важко контролювати переміщення електродного дроту по осі стика, який закритий флюсом.

Напівавтоматичне зварювання під флюсом, як правило, застосовується для виконання коротких, менше 1,5 м, криволінійних, важкодоступних,

переривчастих швів. В останні роки об'єм застосування напівавтоматичного зварювання під флюсом значно скоротився, і все більше використовується напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу[6].

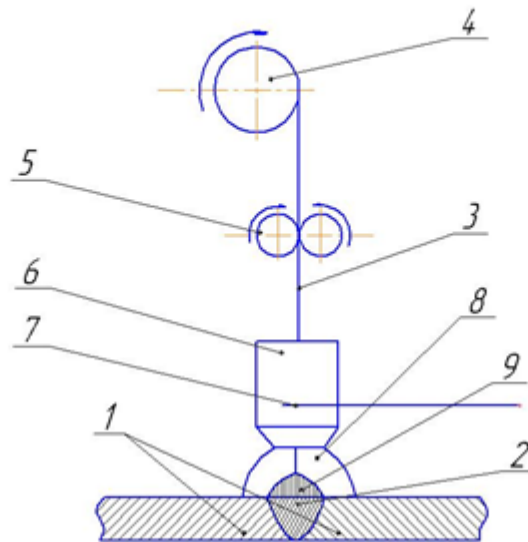
При зварюванні в  $\text{CO}_2$  в зону дуги через сопло пальника безперервно подається вуглекислий газ. Теплом, яке виділяє дуга, розплавлюється основний метал і зварювальний дріт. Відбувається кристалізація розплавленого металу та утворення зварного шва.

Зварювати в  $\text{CO}_2$  слід якомога коротшою дугою. При переміщенні пальника дуга повинна знаходитися на основному металі, або на границі зварювальної ванни з основним металом[6].

Широке розповсюдження отримали способи напівавтоматичного дугового зварювання у вуглекислому газі плавким електродом діаметром 0,8...2 мм вуглецевих сталей товщиною більше 3 мм. Захисна дія вуглекислого газу зводиться до ізоляції реакційної зони дуги від взаємодії з повітрям і в кінцевому рахунку розрахована на захист металу ванни від проникнення азоту[7].

Напівавтоматичне зварювання в  $\text{CO}_2$  є високопродуктивним способом зварювання з механізованою подачею зварювального дроту. Крім цього, до переваг даного способу слід віднести його економічність, недефіцитність вуглекислого газу і достатньо високу якість металу шва.

Отже, для виготовлення рами контейнера найдоцільніше буде застосовувати спосіб напівавтоматичного зварювання плавким електродом в середовищі вуглекислого газу  $\text{CO}_2$ . Схема даного способу приведена на рисунку 2.1.



1- зварювані деталі; 2 - зварний шов; 3 - зварювальний дріт; 4-котушка з електродним дротом; 5- подаючі ролики; 6 - пальник; 7-зварювальне коло; 8- захисний газ; 9-зварювальна дуга

Рисунок 2.1 - Схема напівавтоматичного зварювання плавким електродом в середовищі вуглекислого газу

Основним недоліком при даному способі зварювання є розбризування металу. Для зменшення розбризування, зварювання проводять в газових сумішах[7].

Для зварювання виробів, матеріалом яких є маловуглецева сталь використовується  $CO_2+O_2$ . Кількість кисню в суміші 20-30%. Завдяки цьому метал менше розбризується, а форма шва стає кращою.

Відповідно зварювання рами контейнера проводимо застосовуючи спосіб напівавтоматичного зварювання плавким електродом в  $CO_2+O_2$ . Процентний вміст кисню в даній суміші становить 30 %.

## 2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування.

Джерело живлення призначене для забезпечення необхідної сили струму та напруги в зварювальній дузі. Його потужність це необхідна зварювальна сила струму. [10].

Якщо зварювання механізоване з використанням вуглекислого газу, то застосовують випрямлячі з жорсткими зовнішніми характеристиками.

Для зварювання рами контейнера будемо використовувати випрямляч ВДГ-503-3. Його Технічна характеристика наведена в таблиці 2.1[3].

Таблиця 2.1- Технічна характеристика випрямляча ВДГ-503-3

Номінальна робоча напруга, В	50
Номінальна сила струму, А	500
Коефіцієнт корисної дії, %	72
Межі регулювання струму, А	80 ...500
Зовнішня характеристика	жорстка
Маса, кг	210

Напівавтомат ПДГ-515 застосовується при дуговомц зварюванні у CO<sub>2</sub>. Його тип штовхаючий, конструкція відкрита, також він є переносним. Технічну характеристику ПДГ-515 наведено в таблиці 2.2 [11].

Таблиця 2.2- Технічна характеристика напівавтомату ПДГ-515

Номінальний зварювальний струм, А	500
Діаметр електродного дроту, мм	1,2...2,0
Швидкість подачі електродного дроту,	120...960
Маса <u>подаючого</u> пристрою, кг	12
Джерело живлення	ВДГ-503-3

Вибираємо пальник типу ГДПГ-302. За допомогою нього відбувається збудження зварювальної дуги та формується направлений потік захисного газу.



Для виготовлення рами контейнера використовуємо складально-зварювальні стенди, як зварювальні пристосування. Вони оснащені жорсткою основою (рамою). На рамі пристосування знаходяться установчі і затискні елементи.

Для фінального складання нашої зварної конструкції та її зварювання застосовуємо кантувач. Завдяки його раму контейнера можна буде встановлювати в зручне положення, для проведення зварювальних робіт, завдяки повороту виробу навколо своєї осі.

### **2.3 Вибір методу контролю якості виробу**

Контроль якості призначений для встановлення наявності або відсутності дефектів в зварних з'єднаннях, а також при наявності дефектів визначення їх розмірів та характеру. Внаслідок можна оцінити можливість ремонту та визначити причини утворення дефекту.

При виготовленні та зварюванні рами контейнера можливі такі методи контролю якості:

- візуально-оптичний метод;
- радіаційна дефектоскопія;
- магнітна та електромагнітна дефектоскопія;
- ультразвукова дефектоскопія.

Серед них найстарішим та проте досить важливим методом контролю є візуальний метод. Зовнішній огляд можуть проводити, як і неозброєним оком, так і використовувати різноманітні лупи. Зварні шви, які неможливо оглянути неозброєним оком, та шви які є захищеними за елементами конструкції оглядають здійснюють за допомогою спеціальних приладів оптики - ендоскопів, перископів і т.д..

Вчасне виявлення дефектів візуальним оглядом та виявлення причин їх утворення забезпечує оперативність в регулюванні якості зварювальної технології та зменшує об'єм наступних етапів контролю.

Метод радіаційної дефектоскопії ґрунтується на іонізуючому випромінюванні. Це випромінювання має форму рентгенівських променів і гама-випромінювання.

Хвилі рентгенівських променів мають значно меншу довжину ніж світлові хвилі, в саме -  $6 \cdot 10^{-13} \dots 6 \cdot 10^{-9}$  мм. Довжина хвилі гамма випромінювання становить –  $10^{-13} \dots 4 \cdot 10^{-12}$  мм.

Рентгенівське та гама-випромінювання має в порівнянні зі світловою велику енергію. Це забезпечує їм високу проникаючу здатність. В основі радіоактивного методу контролю лежить зміна рентгенівського та гама-випромінювання, при цьому втрачається частина енергії, внаслідок проходження ними матеріалу в залежності від його товщини та густини. .

Магнітна та електромагнітна дефектоскопія. В межах малих об'ємів, так званих доменів ( $V = 10^{-5} \dots 10^{-8}$  см<sup>3</sup>), магнітні поля, які викликаються обертанням електронів навколо власних осей, врівноважують одне одного і деталь виявляється розмагніченою. Але під впливом зовнішніх магнітних ліній поля доменів встановлюються в його напрямку, при цьому створюється спільне поле.

Зварювальна деталь є намагніченою. Магнітні лінії мають певний напрямок. Коли вони зустрічаються з дефектом, що має в тисячі раз меншу магнітну проникність ніж основний метал, силові лінії обходять дефект і утворюють поле розсіювання магнітних ліній. Таким методом добре виявляються дефекти, які є напрямленими перпендикулярно до магнітних ліній, і навпаки, дефекти, напрямлені вздовж магнітних ліній, не викликають розсіювання та виявляються значно тяжче. Методу електромагнітної дефектоскопії піддаються лише феромагнітні матеріали .

Ультразвукова дефектоскопія. Пружні механічні коливання, що розповсюджуються в повітрі, сприймаються зазвичай як звуки. Такі коливання прийнято називати акустичними. Якщо їх частота більша 20 кГц, тобто вище порогу чутливості для людини, то такі коливання називають ультразвуковими.

В дефектоскопії використовують ультразвукові коливання з частотою біля 0,5 ... 20 МГц.

Суть ультразвукової дефектоскопії в наступному. Акустичні коливання, які створює генератор-випромінювач, розповсюджуються в матеріалі виробу. При наявності дефекту утворюється відбите поле і дифраговане поле розсіювання. За дефектом при його значних розмірах утворюється акустична тінь, а поверхня дефекту відбиває ультразвукові хвилі. Реєструючи за допомогою приймача-шукача послаблення ультразвукової хвилі чи еха (відбиту ультразвукову хвилю), можна робити висновки про наявність дефекту в зварному шві, що досліджується .

З технологічних та конструктивних міркувань, для контролю рами контейнера для вантажних перевезень застосовуємо наступні методи контролю:

- візуально-оптичний;
- ультразвукову дефектоскопію.

## **2.4 Опис запропонованого технологічного процесу виготовлення зварного виробу.**

Послідовність виконання технологічного процесу виготовлення рами контейнера:

- 1)заготівельні операції
- 2)складальні операції
- 3)зварювальні операції
- 4)опоряджувальні операції
- 5) допоміжні операції
- б) контрольні операції

Для отримання заготовок виконуємо правлення, розмічування, різання, очищення.

Правлення листового прокату проводиться на листопривильних вальцях. правлення профільного прокату на роликівих машинах.

Розмічування виконуємо не використовуючи шаблони відповідно до креслення. Креслення проектується на розмічувальну поверхню.

Використовуємо гільйотинні ножиці для різання деталей з листового прокату. Для різання кутників використовуємо прес-ножиці із фасонними ножами.

Очищуємо кромки деталей перед складанням. Видаляємо фарбу та іржу металевими щітками. Залишки мастил видаляємо обезжирюванням.

Перевіряємо відповідність деталей вузлів до вимог креслення візуально.

Послідовність проведення складання та зварювання:

- 1) встановлюємо деталь в пристосування по фіксатору;
- 2) встановлюємо деталь з фіксацією по пазу;
- 3) встановлюємо деталь в пристосування;
- 4) притискаємо деталі в пневматичними притискачами;
- 5) проводимо зварювання;
- 6) знімаємо деталь з пристосування;
- 7) зварюємо деталь завершально.

Після виконання зварювання проводимо зачищення швів, видалення металевих бризок з поверхонь зварних вузлів рами контейнера.

Також виконуємо допоміжні роботи:

- налагоджувальні;
- перевантажувальні;
- підіймально-транспортні.

Проводимо наступні контрольні операції:

- контроль вхідних зварювальних матеріалів;
- контроль зварювальних матеріалів;
- контроль якості заготівельних, складальних, опоряджувальних операцій та операції зварювання;
- контроль зварних з'єднань і готової продукції.

Перевіряємо якість і форму зварних швів згідно з кресленням зовнішнім оглядом. Перевіряємо присутність зовнішніх дефектів, деформації вузлів. Внутрішні дефекти перевіряємо, використовуючи ультразвукову дефектоскопію.

## 2.5 Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу.

Проводимо техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу [13].

Рівень механізації та автоматизації визначаємо за формулою [13]:

$$U_M = \frac{P_M}{P_M + P_E} \cdot 100\% , \quad (2.1)$$

де  $P_M$  – кількість робітників, при механізованому способі, чол.;

$P_E$  – кількість робітників, при ручному способі, чол.

завод:

$$U_M = \frac{11}{11 + 14} \cdot 100\% = 44\% ;$$

проект:

$$U_M = \frac{20}{20 + 9} \cdot 100\% = 69\% .$$

Собівартість товарної продукції визначають за формулою [13]:

$$C = B \cdot C_H = B \cdot (C_y + 0,8 \cdot 3_{00}) \cdot 1,1, \quad (2.2)$$

де  $C_H$  – повна собівартість виробу, грн.

– по заводському:

$$C = 2000 \cdot (24506,1 + 0,8 \cdot 92,89) \cdot 1,1 = 5407690,64 \text{ грн};$$

– по проектному:

$$C = 2000 \cdot (22482 + 0,8 \cdot 89,84) \cdot 1,1 = 4961851,84 \text{ грн}.$$

Знаходимо річний економічний ефект [13] :

$$E_\phi = ((C_{пз} + E_n \cdot \Phi_{мз}) - (C_{пп} + E_n \cdot \Phi_{мп})) \cdot B. \quad (2.3)$$

де,  $C_{пз}$  – нова собівартість виробу по заводських даних, грн;

$C_{пп}$  – нова собівартість виробу по проектних даних, грн. ;

$\Phi_{мз}$  – фондомісткість продукції по заводських даних, грн/шт.

$\Phi_{мп}$  – фондомісткість продукції по проектних даних, грн/шт

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень,

$$E_n = 0,15.$$

$$E_\phi = ((24506,1 + 0,15 \cdot 744,67) - (23482 + 0,15 \cdot 911,97)) \cdot 2000 = 599800,1 \text{ грн}$$

Термін окупності додаткових вкладень визначають за формулою [13]:

$$T_{ок} = \frac{\Phi_{осп} - \Phi_{осз}}{E_{ур}}, \quad (2.4)$$

де  $\Phi_{осп}$  – вартість основних виробничих фондів по проектному варіанту

$\Phi_{осз}$  – вартість основних виробничих фондів по заводському

$E_{ур}$  – умовна річна економія, грн

$$E_{ур} = B \cdot (C_{пз} - C_{мз}) \quad (2.5)$$

$$E_{ур} = 2000 \cdot (24506,1 - 23482) = 204820 \text{ грн.}$$

$$T_{ок} = \frac{911973,8 - 744674,6}{204820} = 0,83 \text{ роки}$$

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Вибір та розрахунок елементів основного чи додаткового зварювального устаткування.

Вихідні дані для розрахунку трансформатора зводимо в таблицю 3.2

Таблиця 3.2- Вихідні дані для розрахунку трансформатора

Номінальний зварювальний струм, А	$I_{2ном}$	13000
Первинна напруга, В	$U_1$	365
Частота струму, Гц	$f$	50
Вторинна напруга, В	$U_{2ном}$	2,86
	$U_{20min}$	1,45
	$U_{20max}$	2,9
Число ступенів регулювання вторинної напруги	$n$	4
Номінальний ступінь		4
Тривалість вмикання, %	ПВ	20
Тип трансформатора		броньовий

Магнітопровід - шихтований з пластин, вирубаних з електротехнічної сталі марки 3413 товщиною 0,5мм.

Обмотки – дискові, залиті епоксидним компаундом. Клас ізоляції обмоток В.Охолодження: вторинної обмотки – водяне, проточне; первинної обмотки – шляхом теплопередачі дискам вторинного витка; магнітопроводу - повітряне.

Приймаємо  $\omega_2=1$ .

Первинну обмотку секціонуємо на 4 ступені за схемою №9 (с.140-141).  
Визначаємо кількість витків первинної обмотки, які включаються в мережу на першій і останній ступенях:

$$(\omega_1)_1 = \frac{U_1 \cdot \omega_2}{(U_{20})_1} . \quad (3.39)$$

Отже:

$$(\omega_1)_1 = \frac{365 \cdot 1}{1,45} = 251,7 \text{ витків};$$

$$(\omega_1)_4 = \frac{365 \cdot 1}{2,9} = 125 \text{ витків.}$$

Заокруглюємо витки до цілого числа і отримаємо  $(\omega_1)_1 = 252$  витка;  $(\omega_1)_4 = 126$  витків;  $U_{20\text{мін}} = 1,45$  В. і  $U_{20\text{макс}} = 2,9$  В.

Визначаємо число витків по секціях:

- для першої секції:

$$\omega_{c1} = \frac{U_1}{3 \cdot (U_{20})_4} . \quad (3.40)$$

Звідси:

$$\omega_{c1} = \frac{365}{2 \cdot 2,86} = 42 \text{ витка};$$

- для другої секції:

$$\omega_{c2} = 2 \cdot \omega_{c1} \quad (3.41)$$

Звідси:

$$\omega_{c2} = 2 \cdot 42 = 84 \text{ витка};$$

По отриманим результатам із формул (4.2 і 4.3) складаємо електричну схему первинної обмотки (рисунок 3.4).



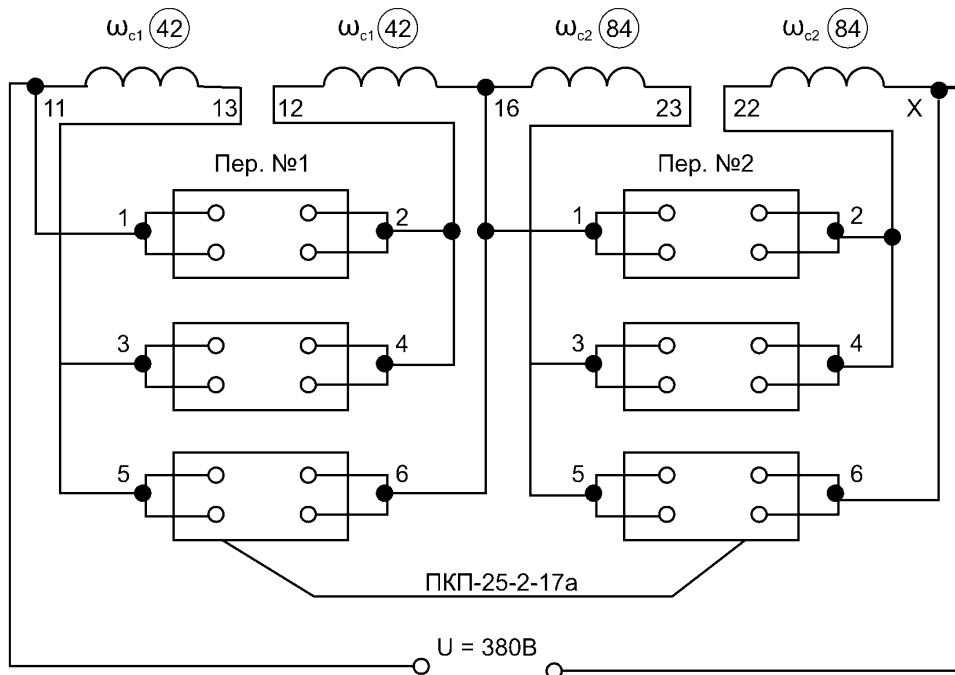


Рисунок 3.4 – Електрична схема первинної обмотки

Заповнюємо таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Таблиця ступенів

Ступінь	З'єднання контактів переключачелів		$\omega_1$		$I_1, A$	$q, mm^2$	$U_{20}, B$
1	3-4	3-4	$2\omega_{c1}+2$	252	20,5	6,2	1,45
			$\omega_{c2}$				
2	1-2 5-6		$\omega_{c1}+2$	210	29,6		1,74
			$\omega_{c2}$				
3	3-4	1-2	$2\omega_{c1}+$	188	36,9	7,6	2,17
			$\omega_{c2}$				
4	1-2 5-6	5-6	$\omega_{c1}+\omega_{c2}$	126		7,6	2,9

Визначаємо номінальну потужність за формулою:

$$P_{2\text{НОМ}}=I_{2\text{НОМ}} \cdot U_{20\text{НОМ}}. \quad (3.42)$$

Звідси:

$$P_{2\text{НОМ}}=13000 \cdot 2,86=37,2 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Визначаємо коефіцієнт трансформації за формулою:

$$K=\frac{\omega_{1\text{НОМ}}}{\omega_2}=\frac{126}{1}=126. \quad (3.43)$$

Визначаємо коефіцієнт  $K_1$ , який враховує вплив струму холостого ходу на номінальний первинний струм:

$$K_1=1+0,005 \cdot i_0 \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}}. \quad (3.44)$$

де  $i_0$ - струм холостого ходу  $i_0=20\%$ - для транспортування з діапазоном значення вторинного струму більше 5000 А;

ПВ – тривалість вмикання, ПВ=20%

Звідси:

$$K_1=1+0,005 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{20}{100}}=1,044.$$

Визначаємо номінальний первинний струм за формулою:

$$I_{1\text{НОМ}}=K_1 \cdot \frac{I_{2\text{НОМ}}}{K}. \quad (3.45)$$

Звідси:

$$I_{1\text{НОМ}}=1,044 \cdot \frac{13000}{126}=82 \text{ А.}$$

Розрахунковий струм визначаємо за формулою:

$$I_1=I_{1\text{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}} \quad (3.46)$$

Звідси:

$$I_1=82 \cdot \sqrt{\frac{20}{100}}=36,9 \text{ А.}$$

Визначаємо розрахункові струми для:

- другого ступеня:

$$I_{1(2)}=I_1 \cdot \left[ \frac{(\omega_1)_3}{(\omega_1)_2} \right]^2, \quad (3.47)$$

Звідси:

$$I_{1(2)}=36,9 \cdot \left[ \frac{188}{210} \right]^2=29,6 \text{ А;}$$

- першого ступеня:

$$I_{1(1)}=36,9 \cdot \left[ \frac{188}{252} \right]^2=20,5 \text{ А.}$$

Розрахункові значення струмів заносимо в таблицю ступенів 3.3.

Визначаємо найбільші струми для кожного ступеня і заносимо їх в таблицю 3.3.

По таблиці 4.1 (с.162) для виконання 1, ізоляції класу В задамося густиною струму  $j=4,8 \text{ А/мм}^2$ .

Потрібні перерізи мідного дроту:

- для секції 1:

$$q_{1(1)} = \frac{I_{1(1)}}{j} \quad (3.48)$$

Звідси:

$$q_{1(1)} = \frac{36,9}{4,8} = 7,6 \text{ мм}^2;$$

- для секції 2:

$$q_{1(2)} = \frac{29,6}{4,8} = 6,2 \text{ мм}^2.$$

Сумарний переріз дроту визначаємо за формулою:

$$q_1 = \Sigma q_{1(1)} + \Sigma q_{1(2)} = \omega_{1(1)} \cdot q_{1(1)} + \omega_{1(2)} \cdot q_{1(2)} \quad (3.49)$$

Звідси:

$$q_1 = (42+42) \cdot 7,6 + (84+84) \cdot 6,2 = 1680 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо розрахунковий струм вторинної обмотки на номінальному ступені:

$$I_2 = I_{2\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}} \quad (3.50)$$

Звідси:

$$I_2 = 13000 \cdot \sqrt{\frac{20}{100}} = 4415,88 \approx 4500 \text{ А.}$$

Вибираємо за таблицею 4.1 (с.162) для мідного вторинного витка з водяним охолодженням  $j_2 = 5,0 \text{ А/мм}^2$ .

Визначаємо переріз вторинного витка за формулою:

$$q_2 = \frac{I_2}{j_2}. \quad (3.51)$$

Звідси:

$$q_2 = \frac{4500}{5,0} = 900 \text{ мм}^2.$$

Сумарний переріз обмоток:

$$q = q_1 + q_2 = 1680 + 900 = 2580 \text{ мм}^2.$$

За таблицею 4.3 (с.168) для розміщення обмоток, площею  $2580 \text{ мм}^2$  необхідна площа вікна  $\approx 5700 \text{ мм}^2$ . Для магнітопроводу даного трансформатора вибираємо по таблиці 2.5 (с. 88-89) пластини П – подібної форми першого габариту. Розміри вікна  $80 \times 80 \text{ мм}$ ,  $S_o = 6400 \text{ мм}^2$ .

Розміри пластини показані на рисунку 3.5.

Обмотку поділяємо по котушках таким чином: 42 витки першої секції і 84 витки другої секції укладаємо в одну котушку і отримуємо 2 котушки №1 з числом витків  $\omega'_k = 42$  і  $\omega''_k = 84$ . Тут вся первинна обмотка укомплектована в дві котушки №1 по 126 витків в кожній.

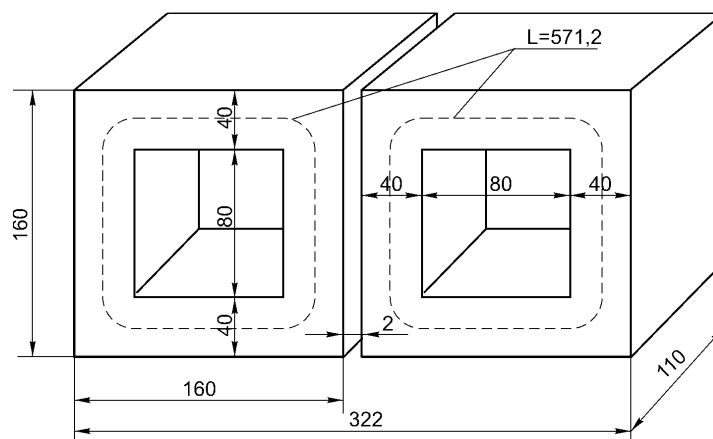


Рисунок 3.5 – Форма і розміри пластин магнітопроводу трансформатора

При чому 42 витка в одній і другій котушці укомплектовані внизу, а 84 витки – зверху.

Площа вікна магнітопроводу, на якому повинні розміститись обмотки, з врахуванням товщини компаунда (по 7мм по всьому периметру обмоток) і вільного розміщення блоку в вікні (по 1мм на кожную сторону), складатиме 64х64мм.

Вибираємо розміри обмотувального дроту для кожної секції.

Визначаємо товщину ізолюваного дроту за формулою:

$$a_n = \frac{\epsilon_o' - \omega_k \cdot \delta_{np} - 3}{\omega_k}, \quad (3.53)$$

$$\text{де: } \epsilon_o' = \epsilon_o - 2 \cdot \Delta_e - 2\Delta_o = 80 - 2 \cdot 7 - 2 \cdot 1 = 64 \text{ мм}, \quad (3.54)$$

$$\Delta_e = 7 \text{ мм}; \quad \Delta_o = 1 \text{ мм};$$

$\epsilon_o'$  - ширина вікна,  $\epsilon_o' = 64$  мм;

$\omega_k$  - число витків в котушці;

$\delta_{np}$  - ізоляція (ЛСЭ) між шарами, яка вибирається по таблиці 2.7 (с.101), для ізоляції класу В при заливанні;

3мм- збільшення радіального розміру котушки після зняття її з оправки.

Звідси:

$$a_n = \frac{64 - [(42 + 84) \cdot 0,12 + 3]}{42 + 84} = 0,55 \text{ мм.}$$

Визначаємо наближену ширину дроту:

$$\epsilon = \frac{q_{(1)}}{a_n} = \frac{7,6}{0,55} = 15,2 \text{ мм.} \quad (3.55)$$

Оскільки ширина дротів першої і другої секції повинна бути однаковою, то середній розмір товщини дроту  $a_n = 0,55$  мм поділяється приблизно пропорційно потрібному перерізу: для першої секції  $a_n = 0,6$  мм, для другої секції  $a_n = 0,5$  мм.

За таблицею 2.6 (с.98) двостороння товщина ізоляції  $a_n - a = 0,46$  мм і  $v_n - v = 0,27$  мм.

Товщина голого дроту для 1 секції:

$$a_1 = a_n - 0,46 = 0,6 - 0,46 = 0,14 \text{ мм}; \quad (3.56)$$

для 2 секції:

$$a_{(2)} = 0,5 - 0,46 = 0,04 \text{ мм}.$$

Ширина голого дроту для обох секцій:

$$v_{(1,2)} = \frac{q_{1(1)}}{a_{(1)}} = \frac{q_{1(2)}}{a_{(2)}} = \frac{7,6}{0,14} \approx \frac{6,2}{0,04} \approx 7 \text{ мм}. \quad (3.57)$$

За ГОСТ 7268-82 і ГОСТ 434-78 вибираємо дроти таких розмірів:

- для першої секції:  $a \cdot v = 0,06 \cdot 7$ ;  $a_n \cdot v_n = 0,52 \cdot 7,27$ ;

- для другої секції:  $a \cdot v = 0,05 \cdot 7$ ;  $a_n \cdot v_n = 0,51 \cdot 7,27$ ;

$$q_{1(1)} = 7,4 \text{ мм}^2; \quad q_{1(2)} = 6,69 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо густину струму для обмоток першої і другої секції №1:

$$j = \frac{I}{q}. \quad (3.58)$$

Отже:

$$j_{1(1)} = \frac{36,9}{7,4} = 4,986 \text{ А/мм}^2;$$

$$j_{1(2)} = \frac{29,6}{6,69} = 4,714 \text{ А/мм}^2;$$

Визначаємо такі розміри котушок №1 під заливання:

- радіальний розмір:

$$A_{к1} = \omega'_{к1} \cdot (a_n + \delta_{np}) + \omega''_{к1} \cdot (a_n + \delta_{np}) + 3. \quad (3.59)$$

Звідси:

$$A_{к1} = 42 \cdot (0,52 + 0,12) + 84 \cdot (0,51 + 0,12) + 3 = 78 \text{ мм};$$

- осьовий розмір:

$$a_{к1} = e_n + (1,2 \dots 2). \quad (3.60)$$

Звідси:

$$a_{к1} = 7,27 + (1,2 \dots 2) = 8,77 \dots 9,27 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $a_{к1} = 9 \text{ мм}$ ;

(1,5...2)- збільшення осьового розміру котушки;

- внутрішній розмір по ширині:

$$B_{к1} = e_c + 2 \cdot \Delta_o + 2 \cdot \Delta_e. \quad (3.61)$$

де  $e_c$  - ширина стержня, на який надівається котушка, мм.

Звідси:

$$B_{к1} = 40 + 2 + 40 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 7 = 98 \text{ мм};$$

- внутрішній розмір по довжині вибирається після розрахунку магнітопроводу.

Всі розрахунки заносимо в таблицю 3.4

Визначаємо поперечний переріз кожного диску:



$$q_{2(1)} = \frac{q_2}{n\delta}, \quad (3.62)$$

де  $n\delta$  - кількість дисків,  $n\delta=1$ , тому що є 2 котушки первинної обмотки.

Звідси:

$$q_{2(1)} = \frac{900}{1} = 900 \text{ мм}^2$$

Таблиця 3.4 – Дані розрахунку розмірів котушок

Секція 1	Секція 2
$\omega_{1(1)} = 42 + 42 = 84$	$\omega_{1(1)} = 84 + 84 = 168$
$I_{1(1)} = 36,9A$	$I_{1(1)} = 29,6A$
Попередньо при $j=4,8 \text{ А/мм}^2$	
$q_{1(1)} = 7,6 \text{ мм}^2$	$q_{1(2)} = 6,2 \text{ мм}^2$
$\Sigma_{q_{1(1)}} = 638,4 \text{ мм}^2$	$\Sigma_{q_{1(2)}} = 1041,6 \text{ мм}^2$
Обмотувальні дані	
Дві котушки №1	
$\omega'_{\kappa 1} = 42$	$\omega''_{\kappa 1} = 84$
Провід ПСД 0,5x7	Провід ПСД 0,5x7
$q_{1(1)} = 7,4 \text{ мм}^2$	$q_{1(2)} = 6,69 \text{ мм}^2$
$j_{1(1)} = 4,986 \text{ А/мм}^2$ ;	$j_{1(2)} = 4,714 \text{ А/мм}^2$ ;
Радіальні розміри котушок, мм	
$A_{\kappa 1} = 42 \cdot (0,52 + 0,12) + 84 \cdot (0,51 + 0,12) + 3 = 78 \text{ мм}$ ;	
Осьові розміри котушок, мм	
$a_{\kappa 1} = 7,27 + (1,5 \dots 2) = 9 \text{ мм}$ ;	

Радіальна ширина диску:

$$A_{\kappa} = K + d_{\text{тр}} \quad (3.63)$$

За формулою (3.59)  $A_{k1}=78\text{мм}$ .

Попередня товщина диску:

$$a_{\text{д}} = \frac{q_{2(1)}}{K + d_{\text{тр}}}, \quad (3.64)$$

Звідси:

$$a_{\text{д}} = \frac{900}{78} = 11,5\text{мм}.$$

Приймаємо  $a_{\text{д}}=10\text{мм}$ .

Зовнішній діаметр трубки  $d_{\text{тр}}=10\text{мм}$ ; товщина стінки - 1,5мм.

Радіальна ширина диску:

$$K = A_{\text{к}} - d_{\text{тр}} = 78 - 10 = 68\text{мм}. \quad (3.65)$$

Переріз вторинного витка:

$$q_2 = 1 \cdot 10 \cdot 68 = 680\text{мм}^2.$$

Уточнена густина струму:

$$j_2 = \frac{4500}{680} = 6,1 \text{ А/мм}^2.$$

Визначаємо зазор в вікні між катушечними групами для розташування виводів від катушок:

$$\delta_3 = \sigma'_{\text{o}} - (\Sigma a_{\text{к}} + \Sigma a_{\text{д}} + \Sigma a_{\text{и}}); \quad (3.66)$$

Звідси:

$$\delta_3 = 64 - (1 \cdot 9 + 1 \cdot 10 + 4 \cdot 1 \cdot 1) = 64 - 23 = 41\text{мм}.$$

Визначаємо конструктивні розміри блоку обмоток, залитих епоксидним компаундом:

- радіальний розмір блоку:

$$e_{об.м} = A_{к1} + 2 \cdot \Delta_e = 78 + 2 \cdot 7 = 92 \text{ мм}; \quad (3.67)$$

- осьовий розмір блоку:

$$h_{об.м} = \Sigma a_{к} + \Sigma a_{д} + \Sigma a_{ш} + 2 \cdot \Delta_e + \delta_3; \quad (3.68)$$

Звідси:

$$h_{об.м} = 1 \cdot 9 + 10 \cdot 1 + 41 + 4 \cdot 1 \cdot 1 + 2 \cdot 7 = 78 \text{ мм};$$

- внутрішній розмір блоку по ширині:

$$e'_{об.м} = B - 2 \cdot \Delta_e = 98 - 2 \cdot 7 = 84 \text{ мм}; \quad (3.69)$$

- внутрішній розмір блоку по довжині:

$$h'_{об.м} = B_{к1} - 2 \cdot \Delta_e = 134 - 2 \cdot 7 = 120 \text{ мм}. \quad (3.70)$$

Внутрішній розмір по довжині котушки  $B_{к1}$  буде:

$$B_{к1} = h_{пакета} + (h'_{об.м} - h_{пакета}) + 2 \cdot \Delta_e. \quad (3.71)$$

Звідси:

$$B_{к1} = 110 + 10 + 2 \cdot 7 = 134 \text{ мм}.$$

Складаємо схему з'єднання котушок і розміщення їх виводів, що показано на рисунку 3.6

Для котушок №1 розміри виводів 1 і 2 секції беремо однакові, розраховані на більший струм  $I=36,9\text{А}$ . За таблицею 4.1 (с.162) задамося густиною струму  $j_b=3 \text{ А/мм}^2$ .

Площа перерізу виводу:

$$q_{\text{в.к.}} = \frac{I_{1(3)}}{j_{\text{в}}} = \frac{36,9}{3} = 12,3 \text{ мм}^2. \quad (3.72)$$

Ширина:

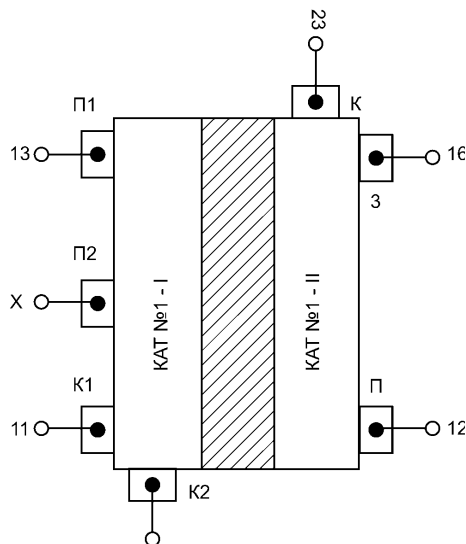
$$b_{\text{в}} = \frac{B - [2 \cdot R + \delta_{\text{в}} \cdot (n - 1)]}{3}, \quad (3.73)$$

де  $\delta_{\text{в}}$  - зазор між ізолюваними виводами,  $\delta_{\text{в}} = 15 \text{ мм}$ ;

$n$  - число виводів.

Звідси:

$$b_{\text{в}} = \frac{98 - [2 \cdot 5 + 15 \cdot (3 - 1)]}{3} = 19,3 \text{ мм}$$



*П* – початок витка котушки №1 – II;

*П1* – початок першого витка котушки №1 – I;

*П2* - початок другого витка котушки №1 – II;

*3* – загальний виток;

*К1, К2* – кінець першого і другого витка котушки №1 - I;

*К* - кінець витка котушки №1 - II

Рисунок 3.6 – Схема з'єднання котушок і розташування їх виводів

Двостороння товщина ізоляції виводу рівна 3мм, ширина голого дроту:

$$e_{e.k1} = 19,3 - 3 = 16,3;$$

товщина голого виводу:

$$a_{e.k1} = \frac{q_{e.k1}}{e_{e.k1}} = \frac{12,3}{16,3} = 0,76 \text{ мм.} \quad (3.74)$$

Уточнені розміри виводів за ГОСТ 434-78. Беремо провід ПММ:

$$a_{e.k1} \cdot e_{e.k1} = 1 \cdot 16 \text{ мм};$$

$$q_{e.k1} = 7,64 \text{ мм}^2.$$

Уточнена густина струму:

$$j_B = 2,68 \text{ А/мм}^2.$$

Отже, по розрахованим виводам на більший струм  $I=36,9 \text{ А}$ , і уточнивши густину струму для котушок №1, першої і другої секції у відповідності з таблицею 2.8 (с.109) вибираємо перерізи відводів, що з'єднують котушки первинної обмотки з перемикачем ступенів.

Відводи з дроту ПГВ – 500,  $q = 10 \text{ мм}^2$ .

В якості матеріалу магнітопроводу використовуємо електротехнічну листову сталь 3413 товщиною  $\delta_{ж} = 0,5 \text{ мм}$ , з ізоляційним покриттям.

За таблицею 4.2 (с.166) для трансформатора, що працює з ПВ=20% для максимального ступеня індукція магнітопроводу:

$$B_{\max(4)} = 1,56 + 0,05 = 1,61 \text{ Тл},$$

що відповідає  $B_{\text{ном.}} = 1,6 \text{ Тл}$ .

Визначаємо активний переріз магнітопроводу:

$$S = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot \omega_{1(4)} \cdot B_{ном.}} \quad (3.75)$$

Звідси:

$$S = \frac{365}{4,44 \cdot 50 \cdot 126 \cdot 1,6} = 0,008155 \text{ м}^2.$$

За таблицею 2.4 (с.86) визначаємо коефіцієнт заповнення,  $K_c=0,93$ .

Повний переріз магнітопроводу складає:

$$S_{ж} = \frac{S}{K_c} = \frac{0,008155}{0,93} = 0,0087 \text{ м}^2. \quad (3.76)$$

Визначаємо розмір перерізу, який відноситься до середнього стержня:

$$e_c = 2 \cdot e_a = 2 \cdot 40 = 80 \text{ мм}. \quad (3.77)$$

Товщина набору:

$$h = \frac{S_{ж}}{e_c} = \frac{0,0087 \cdot 10^6}{80} = 110 \text{ мм}. \quad (3.78)$$

Уточнений активний переріз магнітопроводу та індукція на четвертому ступені:

$$S = 2 \cdot e_c \cdot h \cdot K_c = 2 \cdot 0,040 \cdot 0,11 \cdot 0,93 = 0,008184 \text{ м}^2. \quad (3.79)$$

Номінальна індукція магнітопроводу:

$$B_{ном.} = \frac{365}{4,44 \cdot 50 \cdot 126 \cdot 0,008184} = 1,6 \text{ Тл.}$$

Максимальна на четвертому ступені:

$$B_{\max(4)} = \frac{365}{4,44 \cdot 50 \cdot 126 \cdot 0,008184} = 1,6 \text{ Тл.}$$

Визначаємо кількість пластин двох пакетів магнітопроводу:

$$n = 2 \cdot \frac{h \cdot K_c}{\delta_{\text{жс}}} = 2 \cdot \frac{110 \cdot 0,93}{0,5} = 410 \text{ пластин} \quad (3.80)$$

Визначаємо масу магнітопроводу:

$$G_{\text{ж}} = V \cdot \Sigma V_{\text{жс}},$$

де  $V$  – густина електротехнічної сталі, із якої виготовлені листи магнітопроводу ( $V = 7,65 \text{ г/см}^3$ );

$\Sigma V_{\text{жс}}$  - сумарний об'єм всіх частин магнітопроводу,  $\text{см}^3$ .

Звідси:

$$G_{\text{ж}} = 7,65 \cdot 2 \cdot 11 \cdot 0,93 \cdot (16,0 \cdot 16,0 - 8,0 \cdot 8,0) \cdot 10^{-3} = 30,05 \text{ кг.}$$

Визначаємо середню довжину витка котушки №1:

- 42 витка першої секції, укладених знизу, що показано на рисунку 3.7:

$$\lambda'_{\text{ср.к1}} = 2 \cdot (B - 2 \cdot R) + 2 \cdot (B - 2 \cdot R) + 2 \cdot \pi \cdot (R + \frac{A + E}{4}). \quad (3.82)$$

Звідси:

$$\lambda'_{\text{ср.к1}} = 2 \cdot (98 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot (134 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot 3,14 \cdot (5 + \frac{29 + 30}{4}) = 0,516631 \text{ м;}$$

- 84 витка другої секції, укладених зверху:

$$\lambda'_{\text{ср.к1}} = 444 + 2 \cdot 3,14 \cdot (5 + 29 + \frac{49 + 51}{4}) = 0,81452 \text{ м,}$$

цілої котушки №1:

$$\lambda_{cp,к1} = 444 + 2 \cdot 3,14 \cdot \left(5 + \frac{29 + 30 + 49 + 51}{4}\right) = 444 + 6,28 \cdot (5 + 39,75) = 444 + 281,03 = 725,03 \text{ мм} = 0,72503 \text{ м}.$$

Визначаємо масу котушки №1:

$$G_{к1} = V \cdot K_{ц} \cdot 10^{-3} \cdot (\omega'_{к1} \cdot q_{1(1)} \cdot \lambda'_{cp,к1} + \omega''_{к1} \cdot q_{1(2)} \cdot \lambda''_{cp,к1}), \quad (3.83)$$

де  $V$  - густина матеріалу дроту, г/см<sup>3</sup>; для мідного дроту  $V = 8,9$  г/см<sup>3</sup>;

$\omega'_{к1}$ ,  $\omega''_{к1}$  - число витків першої котушки;

$\lambda'_{cp,к1}$ ,  $\lambda''_{cp,к1}$  - середня довжина витків першої котушки;

$q_{1(1)}$ ,  $q_{1(2)}$  - переріз кожного витка котушки, мм<sup>2</sup>;

$K_{ц}$  – коефіцієнт, що враховує збільшення маси дроту за рахунок ізоляції,

$K_{ц} = 1,03 - 1,08$ .

Звідси:

$$G_{к1} = 8,9 \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} \cdot (42 \cdot 7,4 \cdot 0,516631 + 84 \cdot 6,69 \cdot 0,8145) = 5,9 \text{ кг}.$$

Маса первинної обмотки:

$$G_1 = 2 \cdot G_{к1} = 2 \cdot 5,9 = 11,8 \text{ кг}. \quad (3.84)$$

Визначаємо розміри диска:

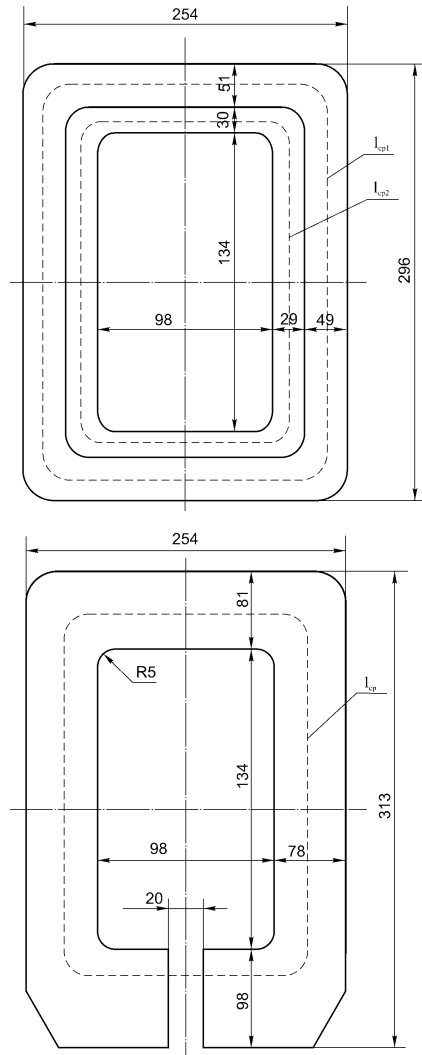
- внутрішній розмір по ширині:

$$L = B_k = 98 \text{ мм}; \quad (3.85)$$

- внутрішній розмір по довжині:

$$P = B_k = 134 \text{ мм}; \quad (3.86)$$





*а – котушка №1; б – вторинний виток*

Рисунок 3.7 – Схеми первинного і вторинного витків

- радіус заокруглення кутів по внутрішньому периметру  $R=5\text{мм}$ , по зовнішньому  $R_1=50\text{мм}$ .

Радіальні розміри диска:  $K=68\text{мм}$ ;

$$C = A_k + n \cdot \delta_g = 78 + 3 \cdot 1 = 81 \text{ мм}; \quad (3.87)$$

$$\Pi = A_k + (\sim 20) = 78 + 20 = 98 \text{ мм}. \quad (3.88)$$

Середня довжина витка диска:

$$\lambda_{cp2} = 2 \cdot (L - 2 \cdot R) + 2 \cdot (P - 2 \cdot R) + 2 \cdot \pi \cdot \left( R + \frac{2 \cdot K + \Pi + C}{8} \right). \quad (3.89)$$

Звідси:

$$\lambda_{cp2} = 2 \cdot (98 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot (134 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot 3,14 \cdot \left( 5 + \frac{2 \cdot 68 + 98 + 81}{8} \right) = 0,72267 \text{ м.}$$

Визначаємо масу диска:

$$G_2 = (V \cdot \lambda_{cp2} \cdot q_{2(1)}) \cdot 10^{-3}. \quad (3.90)$$

Звідси:

$$G_2 = (8,9 \cdot 0,72267 \cdot 900) \cdot 10^{-3} = 5,7 \text{ кг.}$$

Розміри і масу дисків уточнюють після конструктивного оформлення вторинного витка.

Визначаємо втрати холостого ходу трансформатора:

- на номінальній ступені при  $V_{ном.} = 1,6 \text{ Тл}$ :

$$P_o = K_o \cdot P \cdot G_{ж}, \quad (3.91)$$

де  $K_o$  – коефіцієнт, що враховує збільшення витрат за рахунок виробничих похибок, пов'язаних із зміною структури листів сталі при механічному обробленні,  $K_o = 1,1 - 1,25$ ;

$P$  – питомі витрати на 1 кг сталі по таблиці 4.4 (с.174),  $P = 1,63 \text{ Вт/кг}$ .

Звідси:

$$P_o = 1,2 \cdot 1,63 \cdot 30,05 = 58,7778 \text{ Вт;}$$

- на останній четвертій ступені при  $V_{\max(4)}=1,6$  Тл:

$$P_{o \max}=1,2 \cdot 1,63 \cdot 30,05=58,7778 \text{ Вт.}$$

Визначаємо середню довжину магнітної лінії:

$$\lambda_{\mu} = 2 \cdot (h_o + \epsilon_o) + 2 \cdot \pi \cdot \frac{\epsilon_c}{2}. \quad (3.92)$$

Звідси:

$$\lambda_{\mu} = 2 \cdot (80 + 80) + 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{80}{2} = 571,2 \text{ мм}$$

Сумарна МРС, яка необхідна для утворення потоку в сталі магнітопроводу та повітряних зазорів для номінального ступеня:

$$\Sigma F = F_{жс} + F_{\delta} = F \cdot \lambda_{\mu} + 0,8 \cdot B_{ном.} \cdot \delta_3 \cdot 10^4. \quad (3.93)$$

Звідси:

$$\Sigma F = 4,8 \cdot 57,12 + 0,8 \cdot 1,6 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot 10^4 = 402 \text{ А.}$$

Абсолютне значення струму холостого ходу визначається за формулою:

$$I_o = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{op}^2}, \quad (3.94)$$

де  $I_{oa}$  – активна складова струму холостого ходу, А:

$$I_{oa} = \frac{P_2}{U_1} = \frac{58,7778}{365} = 0,18 \text{ А}; \quad (3.95)$$

$I_{op}$  – реактивна складова струму холостого ходу, А:

$$I_{op} = \frac{\Sigma F}{K_r \cdot \sqrt{2} \cdot (\omega_1)_4}, \quad (3.96)$$

де  $K_r$  - коефіцієнт, що враховує залежність від індукції та марки сталі:

$$K_r = \frac{1}{1,9 - X_r \cdot B_{ном}}, \quad (3.97)$$

де  $X_r$  - коефіцієнт, що враховує математичну залежність між індукцією і напруженістю при синусоїдальному потоці,  $X_r=0,64$ :

$$K_r = \frac{1}{1,9 - 0,64 \cdot 1,6} = 0,514.$$

Отже:

$$I_{op} = \frac{402}{0,514 \cdot 1,41 \cdot 126} = 4,402 \text{ А.}$$

Визначаємо абсолютне значення струму холостого ходу за формулою (3.93):

$$I_o = \sqrt{4,4^2 + 0,18^2} = 4,404 \text{ А.}$$

Визначаємо значення струму холостого ходу у відповідності від номінального:

$$i_o = \frac{I_o}{I_1} \cdot 100 = \frac{4,404}{36,9} \cdot 100 = 11,9\%, \quad (3.98)$$

що менше 20% допустимих за ГОСТ 297 – 80.

Визначаємо струм холостого ходу на останньому ступені при  $B_{max(4)}=1,6 \text{ Тл}$ :

$$I_{оmax} = \sqrt{I_{оa}^2 + I_{op}^2}, \quad (3.99)$$

де  $I_{oa}$  – активна складова рівна:

$$I_{oa} = \frac{58,7778}{365} = 0,18 \text{ A};$$

$I_{op}$  - реактивна складова рівна:

$$I_{op} = \frac{402}{0,514 \cdot 1,41 \cdot 126} = 4,402 .$$

Коефіцієнт, що залежить від індукції та марки сталі  $K_r=0,514$ .

Сумарна МРС складається за формулою (3.93):

$$\Sigma F = 4,8 \cdot 57,12 + 0,8 \cdot 1,6 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot 10^4 = 402 \text{ A}.$$

Визначаємо струм холостого ходу на останній ступені при  $V_{\max(4)}=1,6 \text{ Тл}$ :

$$I_{o\max} = \sqrt{4,4^2 + 0,18^2} = 4,404 \text{ A}.$$

Опір постійному струму 42 витки котушки №1:

$$r_{o(1)} = \rho \cdot \frac{\lambda_{cp.k1} \cdot \omega_{k1}}{q_{I(1)}}, \quad (3.100)$$

де  $\rho$  - питомий електричний опір матеріалу дроту із таблиці 1.4 (с.37),  $\rho = 0,0175$ .

Звідси:

$$r_{o(1)} = 0,0175 \cdot \frac{0,5166 \cdot 42}{7,4} = 0,0513 \text{ Ом}.$$

Опір постійному струму 84 витки котушки №1:

$$r_{o(1)2} = 0,0175 \cdot \frac{0,8145 \cdot 84}{6,69} = 0,1789 \text{ Ом.}$$

Опір постійному струму диска вторинного витка:

$$r_{od} = \rho \cdot \frac{\lambda_{cp2}}{q_{2(1)}}. \quad (3.101)$$

Звідси:

$$r_{od} = 0,0175 \cdot \frac{0,72267}{900} = 14 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Опір постійному струму первинної обмотки на номінальній ступені:

$$r_o = 2 \cdot \frac{r_{o(1)1} + r_{o(1)2}}{2}. \quad (3.102)$$

Звідси:

$$r_o = 2 \cdot \frac{0,0513 + 0,1789}{2} = 0,192 \text{ Ом;}$$

на первинній ступені:

$$r_o = 2 \cdot r_{o(1)1} + 2 \cdot r_{o(1)2} \quad (3.103)$$

Звідси:

$$r_o = 2 \cdot 0,051 + 2 \cdot 0,1789 = 0,102 + 0,357 = 0,4598 \text{ Ом.}$$

Визначаємо коефіцієнт Фільда для 42 витків котушки №1:

$$\alpha'_{\kappa 1(1)} = 2 \cdot \epsilon_{\kappa 1} \cdot \sqrt{\frac{S \cdot a_{\kappa 1(1)} \cdot \omega'_{\kappa 1}}{\lambda_s \cdot \rho \cdot 10^4}}. \quad (3.104)$$

$$K'F_{\kappa 1} = 1 + \frac{h_a^2 - 0,2}{9} \cdot (\alpha'_{\kappa 1(1)})^4, \quad (3.105)$$

де  $K'F_{\kappa 1}$  - коефіцієнт Фільда, %;

$\alpha'_{\kappa 1(1)}$  - зведений розмір сторони дроту, розміщеного перпендикулярно потоку розсіювання, мм;

$e_{\kappa 1}$  - розмір сторони голого дроту, розміщеного перпендикулярно потоку розсіювання, мм;

$F$  - частота струму, Гц;

$a_{\kappa 1(1)}$  - розмір сторони голого дроту, розміщеного паралельно потоку розсіювання, мм;

$\omega'_{\kappa 1}$  - число витків котушки;

$\lambda_s$  - середня довжина ліній потоку розсіювання, для дискових котушок, мм:

$$\lambda_s = e_o = 80 \text{ мм}. \quad (3.106)$$

$\rho$  - питомий електричний опір матеріалу, мк Ом м.

Звідси:

$$\alpha'_{\kappa 1(1)} = 2 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{50 \cdot 0,005 \cdot 42}{8,0 \cdot 0,0175 \cdot 10^4}} = 0,666 \text{ см} = 6,66 \text{ мм},$$

$$K'F_{\kappa 1} = 1 + \frac{1^2 - 0,2}{9} \cdot (0,66613)^4 = 1,003.$$

У відсотках:

$$K'F_{\kappa 1} = (K'F_{\kappa 1} - 1) \cdot 100 = 0,3\%. \quad (3.107)$$

Коефіцієнт Фільда для 84 витків:

$$\alpha''_{\kappa 1(1)} = 2 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{50 \cdot 0,006 \cdot 84}{8,0 \cdot 0,0175 \cdot 10^4}} = 0,7662 \text{ см} = 7,662 \text{ мм};$$

$$K''F_{\kappa 1} = 1 + \frac{1^2 - 0,2}{9} \cdot (0,7662)^4 = 1,0056.$$

У відсотках:

$$KF_{\kappa 1} = (1,0056 - 1) \cdot 100 = 0,56\%.$$

Коефіцієнт Фільда для одного диска вторинного витка:

$$\alpha'_{/2} = 2 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{50 \cdot 6,8}{8,0 \cdot 0,0175 \cdot 10^4}} = 0,937 \text{ см} = 9,37 \text{ мм};$$

$$K'F_{\kappa 1} = 1 + \frac{1^2 - 0,2}{9} \cdot (0,937)^4 = 1,06883.$$

У відсотках:

$$KF_2 = (1,06883 - 1) \cdot 100 = 6,683\%.$$

Визначаємо активний опір 42 витків котушки №1:

$$r_{1(1)} = r_{o(1)} \cdot K'F_1. \quad (3.108)$$

Звідси:

$$r_{1(1)} = 0,0513 \cdot 1,003 = 0,05145 \text{ Ом};$$

Визначаємо активний опір 84 витків котушки №1:

$$r_{1(2)} = 0,1789 \cdot 1,0056 = 0,1799081 \approx 0,179 \text{ Ом}.$$

Активний опір одного диска вторинного витка:



$$r_q = r_{o(q)} \cdot KF_2. \quad (3.109)$$

Звідси:

$$r_q = 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0688 = 14,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Активний опір первинної обмотки при 20°C:

- на номінальному ступені:

$$r_{1(20^\circ)} = \frac{2 \cdot r_{1(1)} + r_{1(2)}}{2}. \quad (3.110)$$

Звідси:

$$r_{1(20^\circ)} = \frac{2 \cdot 0,05145 + 0,179}{2} = 0,193 \text{ Ом;}$$

на першому ступені:

$$r_{(1)} = 2 \cdot 0,05145 + 2 \cdot 0,179 = 0,461 \text{ Ом.}$$

Активний опір вторинного витка при 20°C:

$$r_2 = \frac{1}{h_q} \cdot r_q = \frac{14,9 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{2} = 7,45 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (3.111)$$

Активний опір первинної обмотки на четвертому ступені при  $t_{\text{роб.}} = 100^\circ\text{C}$ :

$$r_1 = r_{1(20^\circ)} \cdot [1 + \alpha \cdot (100 - 20)], \quad (3.112)$$

де  $\alpha$  - температурний коефіцієнт, значення якого для міді приведені в таблиці 1.4 (с.37).

Звідси:

$$r_1 = 0,193 \cdot (1 + 0,00392 \cdot 80) = 0,2535 \text{ Ом.}$$

Активний опір вторинної обмотки при  $t_{\text{роб.}} = 45^\circ\text{C}$ :

$$r_2 = 14,9 \cdot 10^{-6} \mu \cdot (1 + 0,00392 \cdot 25) = 16,36 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Втрати в первинній обмотці на номінальному ступені при номінальному струмі:

$$P_{1\text{ном.}} = I_{1\text{ном.}}^2 \cdot r_1 = 82,87^2 \cdot 0,2535 = 1740,8 \text{ Вт}; \quad (3.113)$$

при розрахунковому струмі:

$$P_1 = I_1^2 \cdot r_1 = 36,9^2 \cdot 0,2535 = 345,168 \text{ Вт.} \quad (3.114)$$

Втрати у вторинному витку:

$$P_{2\text{ном.}} = I_{2\text{ном.}}^2 \cdot r_2 = 13000^2 \cdot 16,36 \cdot 10^{-6} = 1636 \text{ Вт.} \quad (3.115)$$

при розрахунковому струмі:

$$P_2 = I_2^2 \cdot r_2 = 4500^2 \cdot 16,36 \cdot 10^{-6} = 331,29 \text{ Вт.} \quad (3.116)$$

Активний опір обмотки трансформатора, зведений до вторинної обмотки, для першого ступеня:

$$r_{T(1)} = \frac{r_{(1)} \cdot 1,312}{K^2} + r_2, \quad (3.117)$$

де  $K$  – коефіцієнт трансформації,  $K=252$ .

Звідси:

$$r_{T(1)} = \frac{0,461 \cdot 1,312}{252^2} + 16,39 \cdot 10^{-6} = 25,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

для номінального ступеня:

$$r_T = \frac{r_1}{K^2} + r_2 = \frac{0,2535}{126^2} + 16,39 \cdot 10^{-6} = 32,3 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (3.118)$$

На першому ступені обмотки  $\omega_{c1} I - II$  секції і обмотки  $\omega_{c2} I - II$  - ої секції включені послідовно. Індуктивний опір трансформатора, приведено до первинної обмотки:

$$X'_{T(1)} = X_{ГрI} \quad (3.119)$$

Котушки №1 – I і №1 – II – однакові.

Можна вважати, що:

$$X'_{T(1)} = X_{ГрI} = 2 \cdot X_{(1)}. \quad (3.120)$$

Індуктивний опір трансформатора:

$$X'_{T(1)} = 2 \cdot X_{(1)} = 2 \frac{19 \cdot f \cdot \lambda_{cp.k1} \cdot K_{RK1} \cdot \omega_{k1}^2}{\epsilon_o} \cdot \left[ \frac{\epsilon_{k1}}{3} + \Delta_1 + \frac{\omega_{k1} \cdot a_q}{3 \cdot (\omega_{k1} + \omega_{k2})} \right] \cdot 10^{-8}, \quad (3.121)$$

де  $\Delta_1$  - зазор між диском і котушкою №1,  $\Delta_1 = 0,037$  мм;

$\epsilon_{k1}$  - ширина голого дроту котушки №1 мм;

$a_q$  - товщина диска, мм;

$K_{RK1}$  - коефіцієнт, що показує відношення ширини вікна  $\epsilon_o$  до довжини силової лінії еквівалентного поля розсіювання (коефіцієнт Роговського):

$$K_{RK1} \approx 1 - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot X_{k1}}, \quad (3.122)$$

де  $X_{к1}$  – для котушки №1:

$$X_{к1} = \frac{e_o}{2 \cdot \Delta_1 \cdot e_{к1} + a_q} \quad (3.123)$$

Звідси:

$$X_{к1} = \frac{8,0}{2 \cdot 0,37 \cdot 0,7 + 1} = 3,278 \text{ см} = 32,78 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт Роговського:

$$K_{RK1} = 1 - \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,278} = 0,9514 ,$$

Підставляючи значення в формулу (3.121), отримаємо:

$$X'_{T(1)} = 2 \frac{19 \cdot 50 \cdot 0,95 \cdot 72,5 \cdot 126^2}{8,0} \cdot \left[ \frac{0,7}{3} + 0,37 + \frac{126 \cdot 1}{3 \cdot (126 + 126)} \right] \cdot 10^{-8} = 1,9 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір трансформатора, зведений до вторинної обмотки для першого ступеня:

$$X_{T(1)} = \frac{X'_{T(1)}}{(\omega_1)_1^2} \quad (3.124)$$

Звідси:

$$X_{T(1)} = \frac{1,9}{252^2} = 29,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

На четвертому ступені 42 – виткові секції котушок №1 – I і № - II з'єднані між собою паралельно, а секції по 82 – витків – послідовно. Розрахунок ведемо за формулою.

$$X'_{T(1)}=X_{грI}=2 \cdot X_{(1)} = 2 \cdot 9,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\lambda_{cp.K1} \cdot K_{RK1} \cdot \omega^2_{K1}}{\epsilon_o} \cdot \left( \frac{\epsilon_{K1}}{3} + \Delta_1 + \frac{a_q}{3} \right). \quad (3.125)$$

Звідси:

$$X'_{T(1)}=X_{грI}=2 \cdot X_{(1)} = 2 \cdot 9,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{72,5 \cdot 0,95 \cdot 126^2}{8,0} \cdot \left( \frac{0,7}{3} + 0,37 + \frac{1}{3} \right) = 2,415 \text{ Ом.}$$

Отже:

$$X'_{T(1)}=X_{грI}= 2,415 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір трансформатора, приведений до вторинної обмотки, на номінальному ступені:

$$X_T = \frac{X'_T}{K^2} = \frac{2,415}{126^2} = 152,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.} \quad (3.126)$$

Повний опір обмоток трансформатора на номінальному ступені:

$$Z_T = \sqrt{X_T^2 + r_T^2}. \quad (3.127)$$

Звідси:

$$Z_T = \sqrt{152,1^2 + 32,3^2} \cdot 10^{-6} = 155,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Напруга короткого замикання:

$$U_{к.з.} = \sqrt{U_a^2 + U_p^2}, \quad (3.128)$$

де  $U_a$  - активна складова:

$$U_a = I_{ном.} \cdot (r'_1 + r_2 \cdot K^2). \quad (3.129)$$

Звідси:

$$U_a = 82,87 \cdot (0,2535 + 16,36 \cdot 10^{-6} \cdot 126^2) = 42,1 \text{ В.}$$

$U_p$  – реактивна складова:

$$U_p = I_{\text{ном}} \cdot X'_T \cdot \quad (3.130)$$

Звідси:

$$U_p = 82,87 \cdot 2,415 = 200,13 \text{ В.}$$

Підставивши значення  $U_a$  і  $U_p$  в формулу (3.128), отримаємо:

$$U_{\text{к.з.}} = \sqrt{42,1^2 + 200,13^2} = 204,5 \text{ В.}$$

Напруга короткого замикання у відсотках від первинної напруги:

$$U_{\text{к.з.\%}} = \frac{U_{\text{кз}}}{U_1} \cdot 100 \cdot \quad (3.131)$$

Звідси:

$$U_{\text{к.з.\%}} = \frac{204,5}{365} \cdot 100 = 56\%$$

Визначаємо коефіцієнт корисної дії трансформатора ККД:

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{U_1 \cdot I_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_1}, \quad (3.132)$$

де  $\Sigma P$  - сумарні втрати, що відповідають номінальному ступеню, Вт.

Отже:

$$\Sigma P = P_o + P_{1\text{ном.}} + P_{2\text{ном.}} \quad (3.133)$$

Звідси:

$$\Sigma P = 58,77 + 1740,8 + 1636 = 3435,57 \text{ Вт};$$

$\cos \varphi_1 = 0,4 - 0,7$  – для контактних машин.

Підставивши значення  $\Sigma P$  та інші в формулу (3.132), отримаємо:

$$\eta = 1 - \frac{3435,57}{356 \cdot 82,87 \cdot 0,7} = 0,838.$$

Електрична схема з'єднання котушок первинної обмотки на номінальному ступені і розташування струмів по паралельним віткам для теплового розрахунку обмоток трансформатора показана на рисунку 3.8.

Втрати в котушці №1, які відповідають розрахованим значенням струму:

$$P_{(1)} = P_{(1)1} + P_{(1)2} = 92 + 80,01 = 172,01 \text{ Вт}, \quad (3.134)$$

де  $P_{(1)1}$  - втрати в 42 вітці секції:

$$P_{(1)1} = I_{(1)}^2 \cdot r_{(1)}. \quad (3.135)$$

Звідси:

$$P_{(1)1} = 36,9^2 \cdot 0,05145 \cdot 1,312 = 92 \text{ Вт};$$

$P_{(1)2}$  – втрати в 84 вітці секції:

$$P_{(1)2} = 18,45^2 \cdot 0,179 \cdot 1,312 = 80,01 \text{ Вт},$$

де 1,312 – коефіцієнт приведення активного опору первинної обмотки до робочої температури.

Втрати в одному диску вторинного витка:

$$P_q = \frac{I_2^2 \cdot r_q}{h_q^2}. \quad (3.136)$$

Звідси:

$$P_q \cdot 4500^2 \cdot 14,9 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,095 \cdot 1}{1^2} = 330,4 \text{ Вт},$$

де 1,095 - коефіцієнт приведення активного опору первинної і вторинної обмотки до робочої температури.

Поверхня доторкання котушок первинної обмотки з дисками вторинного витка для котушки №1:

$$F_{\kappa 1} = \lambda_{\text{сп.}\kappa 1} \cdot A_{\kappa 1} = 725 \cdot 78 = 56550 \text{ мм}^2. \quad (3.137)$$

Питомий тепловий потік від дроту котушки №1 до диска вторинної обмотки для котушки №1:

$$\frac{P_{(1)}}{F_{\kappa 1}} = \frac{172,01}{56550} = 0,00304 \text{ Вт/мм}^2. \quad (3.138)$$

Отже, найбільший перепад температури від дроту котушки до диска буде в котушках №1–II тому визначаємо температуру нагрівання котушок №1. При розрахунку допускаємо, що потік охолоджуючої води напрямлений від котушки №1-I до котушки №1-II.

Середнє підвищення температури охолоджуючої води при проходженні її по котушці №1-I:

$$\Delta t_g = \frac{P_{\text{сп.}I}}{C_v \cdot Q \cdot 10^3} = \frac{P_{(1)} + P_q}{C_v \cdot Q \cdot 10^3}, \quad (3.139)$$

де Q – витрати охолодженої води приймаємо рівними  $Q = 60 \text{ л/год} = 0,017 \text{ л/с}$ ;

$C_v$  – теплоємність води об'ємна,  $C_v = 4,18 \frac{\text{КДж}}{\text{л} \cdot ^\circ \text{К}}$ .

Звідси:

$$\Delta t_g = \frac{172,01 + 330,4}{4,18 \cdot 0,017 \cdot 10^3} = 7,07 \text{ } ^\circ \text{С}.$$



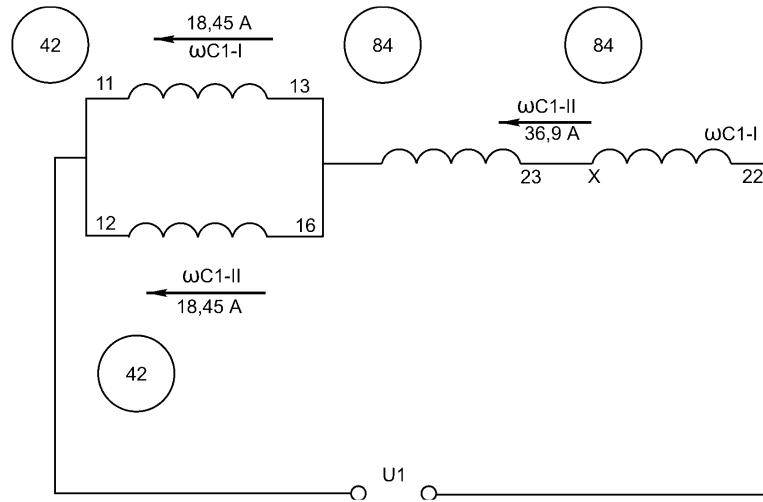


Рисунок 3.8 – Електрична схема з'єднання котушок первинної обмотки

Перепад температури від внутрішньої поверхні трубки до води:

$$\Delta t_{q.в.} = \frac{P_{zp.I}}{\alpha \cdot F_T},$$

(3.140)

де  $\alpha$  - коефіцієнт теплопередачі, рівний:

$$\alpha = 1,16 \cdot 10^{-4} \cdot \nu \cdot \nu^{0,87} \cdot \alpha^{-0,13}, \quad (3.141)$$

де  $\nu$  - коефіцієнт, який вибирається із таблиці 4.8 (с.194) в залежності від середньої температури  $t_{cp.}$ :

$$t_{cp.} = t_{охл.в} + 0,1 \cdot (2 \cdot t_{охл.в} + \Delta t_g + \Delta t'_{q.в.}), \quad (3.142)$$

де  $t_{охл.в}$  - температура охолодженої води на вході в трансформатор,  $t_{охл.в} = 15^\circ\text{C}$ ;  
 $t'_{q.в.} = 5^\circ\text{C}$  – передбачений перепад температури між поверхнею трубки і водою.

Середня температура:

$$t_{cp.} = 15 + 0,1 \cdot (2 \cdot 15 + 7,07 + 5) = 19,207 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Із таблиці 4,8 (с.194) вибираємо для температури  $t_{cp.}=19,207\text{ }^{\circ}\text{C}$  відноситься  $\nu=2280$ .

$F_T$  – площа внутрішньої поверхні трубки одного диска,  $\text{мм}^2$ :

$$F_T = \pi \cdot d_{TP} \cdot \lambda_{TP} \cdot 10^4, \quad (3.143)$$

де  $d_{TP}$  - внутрішній діаметр трубки, м;

$\lambda_{TP}$  - довжина трубки одного диска, м.

Звідси:

$$F_T = 3,14 \cdot 0,007 \cdot 0,9 = 0,0198 \text{ м}^2.$$

Швидкість стікання води в трубці:

$$\nu = \frac{Q \cdot 10^{-3}}{S_{TP}}, \quad (3.144)$$

де  $S_{TP}$  - площа отвору трубки,  $\text{м}^2$ .

Отже:

$$S_{TP} = \frac{\pi \cdot d_{TP}^2}{4}, \quad (3.145)$$

де  $d_{TP}$  - внутрішній діаметр трубки,  $d_{TP}=0,007$  м.

Звідси:

$$S_{TP} = \frac{3,14 \cdot 0,007^2}{4} = 38,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Тоді:

$$\nu = \frac{0,017 \cdot 10^{-3}}{38,4 \cdot 10^{-6}} = 0,44 \text{ м/с.}$$

Із таблиці 4.9 (с.194) вибираємо  $\nu^{0,87} = 0,44^{0,87} = 0,44$  і  $d^{-0,13} = 0,007^{-0,13} = 1,97$ .

Підставивши всі значення в формулу (3.140), отримуємо:

$$\Delta t_{q.g.} = \frac{172,01 + 330,4}{0,229 \cdot 198} 11,08 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $\alpha$  - за формулою (3.141), рівний:

$$\alpha = 1,16 \cdot 10^{-4} \cdot 2280 \cdot 0,44 \cdot 1,97 = 0,229.$$

Отриманий  $\Delta t_{q.g.}$  не більший від передбаченого  $\Delta t'_{q.g.} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ , тому уточненого розрахунку не потрібно.

Перепад температури між диском і котушкою №1-II:

$$\Delta t_1 = \frac{P_{(1)} \cdot \Delta_1}{\Delta \cdot F_{K1}}, \quad (3.146)$$

де  $\Delta_1$  - сумарна товщина ізоляції між диском і котушкою, з врахуванням повітряних зазорів, м;

$F_{K1}$  - поверхня доторкання котушок первинної обмотки з дисками вторинного витка для котушки №1, м<sup>2</sup>;

$P_{(1)}$  - витрати в котушці №1, Вт;

$\Delta$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/см · °К.

По таблиці 4.10 (с.195) для класу ізоляції В,  $\Delta = 0,0012 - 0,0016$  Вт/см · °К.

Звідси:

$$\Delta t_1 = \frac{172,01 \cdot 0,37}{0,0016 \cdot 565,5} = 60,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначаємо температуру нагрівання дроту котушки №1:

$$t_1 = \Delta t_1 + t_{q.e} + \Delta t_a + t_{охл.в.} \quad (3.147)$$

Звідси:

$$t_1 = 60,4 + 11,08 + 7,07 + 15 = 93 \text{ } ^\circ\text{C},$$

що не перевищує значень, які приведені в таблиці 2.7 (с.100-101).

По розрахованим даним трансформатора виконуємо його креслення на форматі А1, яке показано на ДП 177.02.00.000 СБ.

### 3.2 Розрахунок зварних з'єднань на міцність

Розрахунок проводимо для кутових швів з катетом 5мм.

Розрахунок проводимо на зріз [17]:

$$\tau = \frac{P}{F} \leq [\tau]; \quad (3.148)$$

де  $P$  – навантаження зрізу, Н;

$[\tau]$  – допустиме дотичне напруження, МПа;

$F$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>

Знаходимо площу поперечного перерізу [17]:

$$F = h_p \cdot l, \quad (3.149)$$

де  $h_p$  – товщина шва, м

$l$  – довжина шва, м.

$$h_p = k \cdot \beta, \quad (3.150)$$

де  $k$  – катет шва,  $k = 5$ мм

$b$  – коефіцієнт, для напівавтоматичного зварювання  $b = 0.8$

$$h_p = 5 \cdot 0.8 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$F = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 0.32 = 1.28 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Знаходимо допустиме дотичне напруження :

$$[\tau^{\wedge}] = 0,5 \dots 0,6 \cdot [\sigma^{\wedge}], \quad (3.151)$$

де  $[\sigma^{\wedge}]$  – нормальне допустиме напруження

$$[\sigma^{\wedge}] = 370 \text{ МПа.}$$

$$[\tau^{\wedge}] = 0,6 \cdot 370 = 222 \text{ МПа.}$$

Відповідно з (3.1):

$$P = F \cdot [\tau^{\wedge}],$$

$$P = 1,28 \cdot 10^{-3} \cdot 222 \cdot 10^6 = 0,284 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

## **4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Оцінка шкідливих факторів, які діють в зварювальному цеху (дільниці). Заходи для зменшення їх впливу**

Виконання заготівельних та зварювальних робіт на машинобудівному підприємстві при неправильній організації підприємства та праці приводить до появи небезпечних та шкідливих факторів виробництва, які при несприятливому збігу обставин можуть викликати нещасні випадки, отруєння та професійні захворювання.

При зварюванні та різанні металів повітряне середовище виробничих приміщень може забруднюватись зварювальним аерозолем, що містить пил, шкідливі гази та випаровування, наприклад, газоподібні фтористі сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту, азот та інші.

Наявність шкідливих речовин в робочій зоні може привести до виникнення у зварювальників професійних захворювань: інтоксикації та пневмоконіозу. Негативно впливають на здоров'я теплове випромінювання нагрівальних пристроїв, нагрітих великогабаритних виробів та переохолодження організму в холодний період року. Робота устаткування може супроводжуватись шумом та вібраціями, шкідливими для здоров'я. Неправильна експлуатація електричного устаткування може створити небезпеку ураження електричним струмом.

Потужне ультрафіолетове чи світлове випромінювання зварювальної дуги при дії на очі працюючого може викликати електроофтальмію, а при тривалій дії інфрачервоного випромінювання може розвинути помутніння кришталика - катаракта.

При проектуванні та експлуатації підприємств із зварювальним виробництвом мають бути проведені заходи профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань, в першу чергу усунення шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Санітарно-гігієнічні умови та обов'язкові заходи з охорони праці в зварювальному виробництві регламентуються системою стандартів безпеки праці, СНиП, правилами техніки безпеки та виробничої санітарії при виконанні окремих видів робіт, правилами будови і безпечної експлуатації окремих видів устаткування, єдиними вимогами безпеки до конструкції устаткування, нормами технічного проектування, різноманітними інструкціями, вказівками, правилами та іншими документами.

В складально-зварювальних цехах системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря мають забезпечувати певні метеорологічні умови (мікроклімат), тобто допустиму температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря та його чистоту.

Найбільш ефективним заходом боротьби з шумом є зменшення шуму в його джерелі.

Однак в складально-зварювальних цехах часто прагнуть зменшити шум на шляху його розповсюдження, застосовуючи для цього звукопоглинання та звукоізоляцію.

Боротьбу із вібраціями рекомендується проводити в джерелі їх виникнення при конструюванні та виготовленні машин і проектуванню технологічних процесів. Зниження рівня вібрації може бути досягнуте за допомогою віброгасіння, яке частіше реалізується шляхом встановлення віброуючих агрегатів на самостійні віброгасячі основи (фундаменти). Віброізоляцію застосовують для захисту конкретних об'єктів від передавання їм вібрацій, що створюються джерелом коливань. Вібрація зводиться до заміни в коливаючій системі деяких жорстких зв'язків пружними зв'язками, які є віброізоляторами.

При роботі ручними механізованими електричними чи пневматичними інструментами слід застосовувати індивідуальні засоби захисту у вигляді віброізолюючих рукавиць та пальчат, віброзахисних рукояток інструментів або прокладок. Загальні технічні вимоги до такого захисту визначені ГОСТІ2.4.002-

75. Для працюючих з вібруючим устаткуванням рекомендується організувати 10 - 15 хвилинні перерви після кожної години роботи.

Все електроустаткування зварювальних та складально-зварювальних цехів та ділянок має відповідати правилам будови електроустановок та ГОСТ12.2.007.0-75, ГОСТ 12.2.007.8-75, а його експлуатація - "Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей". Крім того, слід виконувати вказівки по експлуатації та безпосередньому обслуговуванні електроустановок, які є в інструкціях заводів-виробників.

Для захисту тіла робітника від теплових, механічних та інших впливів застосовують спеціальний одяг (штани, куртки, комбінезони, рукавиці) та спеціальне взуття, які повинні відповідати характеру виконуваної роботи та метеорологічним умовам на робочому місці. Захист органів дихання здійснюється шляхом застосування респіраторів та протигазів, інколи застосовують зварювальні маски з подаванням в них чистого повітря [16, с.558]. Для захисту обличчя та очей від дії променевої енергії електричної дуги, а також від іскор та бризок розплавленого металу зварювальники повинні забезпечуватись щитками або масками, а допоміжні робітники - окулярами.

Зварювання в CO<sub>2</sub> проводиться відкритою дугою, тому при виконанні зварювальних робіт необхідно забезпечити захист зварювальника від ураження електричним струмом, випромінювання і теплової дії дуги, опіків бризками рідкого металу і отруєння шкідливими газами і парами, що виділяються при зварюванні. Крім цього слід дотримуватись правил експлуатації посудин, що містять газ, який знаходиться під тиском [20, с.77].

#### **4.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою для зварювального цеху (дільниці)**

Захисне заземлення – передбачене з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть випадково бути під напругою. Воно є ефективною мірою захисту при живленні електроустаткування від



електричних мереж напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю і напругою більше 1000 В з любим режимом нейтралі.

У відповідності ПУЕ захисне заземлення потрібно виконувати при паузі напруги змінного струму 380 В і більше і напруги постійного струму 440В і більше у всіх електроустановках; при номінальній напрузі змінного струму більше 42 В і напрузі постійного струму більше 110 В - тільки в електроустановках, які розміщені в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також у зовнішніх установках; при любій напрузі змінного і постійних струмів, у вибухонебезпечних установках.

Метою розрахунку є визначення кількості і розмірів заземлювачів і складання плану розміщення заземлювачів.

Розрахунок захисного заземлюючого пристрою проводимо за [18,с.96–106].

Завдання: розрахувати захисне заземлення ділянки з виробничими установками, які живляться від мережі напругою 380В з ізольованою нейтраллю. В якості електродів – заземлювачів приймаємо сталеві трубки (кутники) довжиною  $l$  і діаметром  $d$ , які з'єднані між собою сталеву стрічкою шириною  $b = 0,04$  м. Коефіцієнти використання заземлювачів  $\eta_z$  і з'єднувальної стрічки  $\eta_c$ . Крок між заземлювачами рівний  $d$ . Заглиблення верхнього кінця трубки і з'єднувальної стрічки  $H = 0,7$  м. Питомий опір ґрунту  $\rho$ .

Дано:  $\rho = 150$  Ом м;  $l = 3$  м;  $a = 0,045$  м;  $d = 6$  м;  $\eta_z = 0,74$ ;  $\eta_c = 0,75$ .

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту  $\rho_p$  в якому має бути розміщений заземлювач за формулою:

$$\rho_p = \rho \cdot \psi, \quad (4.1)$$

де  $\psi$  - кліматичний коефіцієнт, який вибирається в залежності від вологості ґрунту,  $\psi = 1,32$ .

Звідси:

$$\rho_p = 150 \cdot 1.32 = 198 \text{ Ом} \times \text{м}.$$

Визначаємо опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (труби), заглибленого нижче рівня землі на  $H = 0,7\text{ м}$  за формулою:

$$R_3 = \frac{\rho}{2 \times \pi \times l} \times \left( 1_n \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} 1_n \frac{4t+1}{4t-1} \right), \quad (4.2)$$

де,  $t = H + 0,5 \times l$  - відстань від поверхні ґрунту до середини труби;

$$t = 0,7 + 0,5 \times 3 = 2,2 \text{ м}$$

Звідси:

$$R_3 = \frac{150}{2 \times 3,14 \times 3} \times \left( 1_n \frac{2 \cdot 3}{0,045} + \frac{1}{2} 1_n \frac{4 \cdot 2,2 + 1}{4 \cdot 2,2 - 1} \right) = 41,7 \text{ Ом.}$$

Визначаємо необхідну кількість заземлювачів за формулою:

$$n = \frac{R_3}{R_n \times \eta_3}, \quad (4.3)$$

де  $R_n$  – нормований опір заземлюючого пристрою (ПУЕ).

Звідси:

$$n = \frac{41,7}{4 \times 0,74} = 14.$$

Визначаємо опір розтікання струму з'єднувальної смуги за формулою:

$$R_c = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L_c} \times 1_n \frac{2 \times L_c}{\hat{a} \times H}, \quad (4.4)$$

Звідси:

$$R_c = \frac{150}{2 \times 3,14 \times 81,9} \times 1_n \frac{2 \times (81,9)^2}{0,04 \times 0,7} = 3,81 \text{ Ом.}$$

Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки, якщо електроди розміщені в ряд:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot (n-1). \quad (4.5)$$

Якщо, стрічки розміщені по контуру, то:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot n = 1,05 \cdot 6 \cdot 14 = 88,2 \text{ м;}$$

$$L_c = 1,05 \cdot 6 \cdot (14-1) = 81,9 \text{ м.}$$

Визначаємо загальну величину опору розтікання струму заземлюючого пристрою за формулою:

$$R_{зп} = \frac{R_з \times R_c}{R_з \times \eta_{п} + R_c \times \eta_з \times n}, \quad (4.6)$$
$$R_{зп} = \frac{41,7 \cdot 3,81}{41,7 \cdot 0,46 + 3,81 \cdot 0,74 \cdot 14} = 2,708 \text{ Ом.}$$

Величина опору штучних заземлювачів задовольняє вимогу  $R_{зп} \leq 4 \text{ Ом}$ .

### 4.3 Пожежна профілактика в зварювальному цеху (дільниці)

Дільниця вважається правильно спроектованою в тому випадку, коли разом з вирішенням функціональних, санітарних та інших технічних і економічних вимог забезпечені умови пожежної безпеки.

Всі будівельні матеріали по займанню поділяються на три групи: - незгоряючі, які під дією вогню або високих температур не займаються і не обвуглюються (до них відносять більшість металів та матеріали мінерального походження);

\* важкозгоряючі, які можуть займатися і продовжувати горіти тільки при постійній дії стороннього джерела займання (наприклад, конструкції з дерева, які просочені або покриті вогнезахисними сумішами);

\* згоряючі, які можуть самостійно горіти після видалення джерела займання (до них відносять більшість пластичних матеріалів, в тому числі які застосовуються в будівництві).

Протипожежні стіни повинні бути виконані з незгоряючих матеріалів, мати межу вогнестійкості не менше 2,5 годин і опиратися на фундаменти. Протипожежні стіни розраховують на стійкість з врахуванням можливості однобічного завалення перекриття та інших конструкцій при пожежі.

Видалення газів та диму із приміщення, в якому виникла пожежа, проводиться через віконні прорізи, аераційні ліхтарі, а також за допомогою

спеціальних димових люків, конструкцій, що легко скидаються. Димові люки призначені для видалення продуктів згоряння, забезпечення незадимлених суміжних приміщень та керування процесами горіння на пожежах (для того, щоб надати полум'ю бажаного напрямку). Димові люки встановлюються у підвальних приміщеннях, в перекриттях складських та безліхтарних виробничих будівлях.

## ВИСНОВКИ

При виконанні даної кваліфікаційної роботи за базовий варіант взято технологічний процес виготовлення рами контейнера.

При вдосконаленні існуючого технологічного процесу:

- замінили напівавтоматичне зварювання у вуглекислому газі на напівавтоматичне зварювання в суміші газів  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ;
- провели модернізацію складально-зварювальних пристосувань: заміна механічних притискачів на пневматичні;
- вибрали більш раціональне і прогресивне зварювальне устаткування.

Впровадження даних розробок дозволило:

- підвищити продуктивність процесу на 40%;
- степінь механізації і автоматизації зросли на 80%;
- трудомісткість виготовлення даного виробу знизилась на 50%.

В результаті впровадження запропонованих інженерно-технічних рішень досягається річний економічний ефект 599800,1 грн. Термін окупності 0,83 року.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Думов С. И. Технология электрической сварки плавением. – М.: Машиностроение, 1987. – 461с.
2. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: В. 4-х т. Т4 / Под ред. М. И. Клецкина. – М.: Машиностроение, 1969. – 536с.
3. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавением. – М.: Машиностроение, 1977. – 432с.
4. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640с.
5. Теория сварочных процессов / Под ред. В. В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559с.
6. Технология и оборудование сварки плавением / Г. Д. Никифоров, Г. В. Бобров, В. М. Никитин и др.; Под ред. Г. Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1986. – 320с.
7. Александров О. Г., Заруба І. І. Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням. – К.: Техніка, 1998. – 176с.
8. Волченко В. Н. Контроль качества сварных конструкций. – М.: Машиностроение, 1986. – 152с.
9. Куркин С. А., Николаев Г. А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве. – М.: Высшая школа, 1991. – 398с.
10. Гитлевич А. Д., Этингоф Л. А. Механизация и автоматизация сварочного производства. – М.: машиностроение, 1972. – 280с.
11. Сварка в машиностроении: В 4-х т. Т3 / Под ред. В. А. Винокурова. – М.: Машиностроение, 1979. – 567с.
12. Техніко–економічне обґрунтування інженерних рішень: методичні вказівки до виконання організаційно–економічної частини дипломних проектів / Р.І. Шпак.– Тернопіль, 2006.–29с.

13. Охрана труда в машиностроении / Е. Я. Юдин, С. В. Белов, С. К. Баланцев и др.; Под ред. Е. Я. Юдина, С. В. Белова. – М.: Машиностроение, 1983. – 432с.
14. Охорона праці. Лабораторний практикум / М. П. Купчик, М. П. Гандзюк, І. Ф. Степанець. – К.: Основа, 1998. – 224с.
15. Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольт, К.В. Багрянский ; Под. ред. А.Н. Серенко. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.
16. Купчик, М.П. Охорона праці. Лабораторний практикум [Текст] / М.П. Купчик, М.П. Гандзюк, І.Ф. Степанець. – К.: Основа, 1998. – 224 с.
17. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: Учеб. для вузов / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров; Под ред. Г.А. Николаева. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с. – ISBN 5-06-001555-6.
18. Охрана труда в машиностроении [Текст] / Е.Я. Юдин, С.В. Белов, С.К. Баланцев и др. ; Под ред. Е.Я. Юдин - М.: Машиностроение,1983. – 432 с.

## **ДОДАТКИ**