

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  
арматурного кільця

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

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Левченко А.В.</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	<u></u>
(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.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

« »

20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Левченку Андрію Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення технологічного процесу виготовлення арматурного кільця

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) Автомат для виготовлення і зварювання кільця 3 аркуші А1; 3) Механізм різання 1 аркуш А1; 4) Пристрій розмотувальний 1 аркуш 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)

Левченко А.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Береженко Б.М.  
\_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота для здобуття освітнього рівня бакалавр на тему: «Вдосконалення технологічного процесу виготовлення арматурного кільця», складається із розрахунково-пояснювальної записки. Об'ємом 73 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 6 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається з таких частин: аналітичний, технологічний, конструкторський, безпека життєдіяльності та основи охорони праці.

Для висвітлення частин, які розглядаються в даній кваліфікаційній роботі, розрахунково-пояснювальна записка містить 9 рисунків , 3 таблиці, додатки. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 18 літературних джерел.

В даній кваліфікаційній роботі проведено аналіз питань, щодо вдосконалення технологічного процесу та устаткування для виготовлення арматурного кільця каркасу залізобетонних стовпів.

Ключові слова: КОНТАКТНЕ СТИКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТРАНСФОРМАТОР, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Опис конструкції зварного виробу	6
1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу	6
1.3 Технічні умови на виготовлення зварного виробу.	7
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу та постановка задач на проектування.	10
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Обґрунтування способу зварювання	12
2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування.	13
2.3 Розрахунок та підбір параметрів режиму зварювання	15
2.4 Вибір методу контролю якості виробу	19
2.5 Опис запропонованого технологічного процесу виготовлення зварного виробу	20
2.6 Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу	22
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	26
3.1 Вибір та розрахунок елементів основного чи додаткового зварювального устаткування	26
3.2 Опис роботи зварювального устаткування	58
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	60
4.1 Заходи, які забезпечують безпечні умови праці на спроектованому обладнанні	60
4.2 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції для спроектованої зварювальної установки (автомата)	62
4.3 Заходи запобігання розповсюдження пожежі в цеху	65
ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70
ДОДАТКИ	72

## ВСТУП

Зварювання є основним із технологічних процесів у машинобудуванні і будівництві. Важко назвати галузь народного господарства, де б не застосовувалося зварювання. Зварювання дало змогу внести докорінні зміни в технології виробництва, створити принципово нові конструкції машин. Наприклад застосування зварних конструкцій замість клепаных у виробництві дозволило зекономити близько 20% металу, знизити на 5 – 30% трудомісткість виготовлення конструкцій.

Істотно розширились умови проведення зварювальних робіт. Поряд із звичайними умовами зварювання виконують в умовах високих температур, радіації, під водою, в глибокому вакуумі, в умовах невагомості. Розширюються можливості дугового та контактного зварювання.

Основним засобом прискорення науково-технічного прогресу та розвитку суспільного виробництва є підвищення продуктивності праці та якості роботи. В галузі зварювального виробництва це завдання вирішується механізацією та автоматизацією зварювальних процесів, тобто переходом від ручної праці зварювальника до механізованої, і комплексною механізацією, що містить механізацію заготівельних, складальних, зварювальних, опоряджувальних, допоміжних і контрольних операцій.

Зварювальне виробництво, на відміну від металообробного охоплює широкий комплекс різних технологічних операцій, що забезпечують виготовлення заготовок і деталей, їхнє складання, термічне оброблення, контроль якості з'єднань, оброблення готових зварних виробів. Комплексна автоматизація зварювального виробництва передбачає одночасне керування багатьма взаємозв'язаними об'єктами, серед яких зварювальний процес є ключовим, що визначає кінцеві властивості та експлуатаційну надійність зварних з'єднань і конструкцій.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис конструкції зварного виробу

Виріб являє собою кільце із арматури діаметром 4 мм та зовнішнім діаметром 300 мм. Даний виріб використовується як елемент каркасу залізобетонного стовпа, в якості опори для лінії живлення тролейбусів і трамваїв.

В процесі виробництва на стадії проектування і виготовлення виробу необхідно забезпечити потрібні геометричні розміри і форму виробу. Це завдання вирішується встановленням наступних вимог:

- розроблення конструкції з врахуванням технологічних особливостей виробництва;
- дотримання вимог, які ставляться до зварних з'єднань, підготовки поверхонь заготовок, що зварюються та допусків на розміри;
- чітке дотримання технології для попередження виникнення напружень і деформацій.

При встановленні даного виробу допускаються відхилення по діаметру не більше  $\pm 1\%$  номінального внутрішнього діаметру, а також незначне відхилення від площинності.

## 1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу

Для виготовлення даного виробу використовують арматуру із сталі марки Сталь 10.

Сталь 10 це маловуглицева якісна конструкційна сталь.

Дана сталь зварюється без обмеження всіма способами. Її поставляють без термічного оброблення. Виготовлені з неї конструкції також не піддаються наступному обробленню.

Сталь не схильна до відпускнуї крихкості та нечутлива до утворення флокенів.

Оскільки для виготовлення виробу використовується мало вуглецева сталь, то в кресленнях необхідно вказувати:

- а) групу та категорію для сталей за ГОСТ 380–70 та ГОСТ 16523–70;
- б) вимоги за степінню розкислення для сталей за ГОСТ 380–70.

Напівфабрикати і деталі необхідно зберігати в закритих приміщеннях на дерев'яних стелажах в бухтах. Наявність дефектів на поверхні сприяють затриманню та накопиченню вологи та забруднень. Це прискорює утворення іржі і знижує стійкість металу проти корозії. З метою підвищення корозійної стійкості металу необхідно домагатись високої чистоти поверхні і повного згладжування дрібних нерівностей

Для захисту від надмірної вологості необхідно використовувати осушуючий засіб – силікогель. При упакуванні напівфабрикатів силікогель поміщають в пакувальну тару разом з металом.

Всі матеріали та напівфабрикати повинні мати сертифікати заводу-постачальника, або супроводжувальні паспорти, при відсутності яких вони не можуть бути допущенні у виробництво без попередніх випробувань з метою встановлення відповідності вимогам стандартів на постачання.

### **1.3 Технічні умови на виготовлення зварного виробу**

Операції по виготовленні даного виробу, тобто утворення кільця і його зварювання здійснюється на автоматичній лінії для оброблення і зварювання дротяних кілець.

Всі операції можуть проводитись автоматично або ручним способом за допомогою оператора.

Утворення стикового з'єднання виконують стиковою контактною машиною.

Основними технічними вимогами при виготовленні виробу є дотримання розміру діаметра кільця в загальному в межах допусків вказаних на кресленнях.



Режими зварювання, які встановлюються для кожного типу зварного з'єднання в залежності від товщини зварних деталей, марки сталі, яка застосовується та зварювальних матеріалів повинні забезпечувати якість зварних з'єднань у відповідності до вимог ГОСТ 232.429-80.

Грунтування, фарбування виробу повинні проводитись тільки після того, як даний виріб буде прийнятий контролером.

Зварним з'єднанням називають ділянку конструкції в якій окремі елементи з'єднані зварюванням. Основні типи і конструктивні елементи швів у зварних з'єднаннях, що виконують контактним стиковим зварюванням опором повинні відповідати умовам стандарту. Конструктивні елементи нестандартних швів встановлюються розробниками конструкторської документації та вказуються на кресленні.

Зварні з'єднання не повинні мати дефектів, які виходять за межі норм, встановлених стандартом.

Зварні з'єднання повинні відповідати наступним вимогам:

- міцність металу шва повинна відповідати міцності основного металу;
- на протязі усього терміну експлуатації, зварні з'єднання повинні зберігати необхідну і достатню міцність, витривалість і стійкість при заданому навантаженні;
- великий вплив на міцність зварного з'єднання мають тріщини, непровари, крихкість металу біля шовної зони та інші дефекти.

Тому при розробленні технологічного процесу, необхідну увагу приділяємо: способу і режиму зварювання, зварювальних пристроїв, при яких ймовірність утворення дефектів є мінімальна.

Складанням називається процес послідовного з'єднання деталей між собою в порядку вказаному в технологічних картах і з кріплення їх між собою.

Складання має забезпечувати точно встановлення зварюваних деталей у відповідності з кресленням, а також найкращі умови для зварювання.

Важливою умовою досягнення високої якості зварних конструкцій – мінімальні зазори між деталями, які з'єднуються, тому що під час контактного

стикового зварювання опором при збільшеному зазорі частина зусилля електродів затрачається на усунення цих зазорів.

При виготовленні арматурного кільця дефекти зварного з'єднання не повинні перевищувати норм встановлених стандартом.

Виправлення дефектів не допускається проводити більше декількох раз одному і тому ж місті. Основні типи та конструктивні елементи шва повинні відповідати стандарту.

При проектуванні зварних конструкцій необхідно проводити дослідження виробу на технологічність, розробниками конструкторської документації разом з технологічною службою.

Необхідна якість зварних з'єднань, виконаних контактним стиковим зварюванням забезпечується при дотриманні усього технологічного процесу зварювання і складання конструкції. Важливим також є стан зварювального.

устаткування та інструментів. Необхідна якість зварного з'єднання і виробу може бути досягнена при виконанні наступних умов:

- виконання роботи тільки відповідними матеріалами: губками (використовуються лише певні встановлені види та з певного матеріалу);
- не допускати щоб після зварювальних робіт залишались не провари;
- суворо стежити за якістю проведення зварювальних робіт;
- контрольні взірці для механічних випробувань повинні бути ідентичні до зварних деталей;
- в процесі складання важливим є контроль геометрії деталей і вузлів;
- найбільш повну уяву про якість зварних з'єднань можна отримати за допомогою методу металографічного дослідження.

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

Даний зварний виріб складається із однієї деталі, яка після зварювання становить один вузол – кільце каркасу залізобетонного стовпа. Для цього вузла існує своє складально-зварювальне обладнання і технологічний процес.

Для виготовлення даного виробу застосовують стикову контактну машину.

Технологічний процес виготовлення кільця для арматурного каркасу залізобетонного стовпа складається із таких операцій:

- заготівельні;
- складальні;
- зварювальні;
- опоряджувальні;
- контрольні.

Раціонально розроблений технологічний проект повинен забезпечити виготовлення виробу при мінімальній трудомісткості операцій мінімальних затратах зварювальних матеріалів і електроенергії і з високою якістю зварних з'єднань при найменших залишкових деформаціях конструкції і при дотриманні заходів з техніки безпеки.

Заготівельні операції складаються з наступних: правлення, різання, зачищення.

Метою складальних операцій є забезпечення правильного взаємного розміщення і закріплення деталей.

Складання повинно забезпечити точне встановлення деталей у відповідності з кресленням, а також найкращі умови для зварювання.

Всі складальні операції забезпечуються вузлами контактної машини для зварювання кілець.

Перед початком зварювання проводять налагоджування контактної машини.

Після встановлення кільця у губки проводимо зварювання.

До опоряджувальних операцій відносяться зачищення бризок, задирів .

При роботі машини можливі зміни навантаження і вібрація, тому періодично потрібно перевіряти і підтягувати різьбові з'єднання вторинного контуру, консолей, тримачів, а також зварювального трансформатора.

Періодична перевірка зварювального обладнання є однією із важливих операцій, тому що від справності машини залежить якість зварювання.

Спочатку якість зварювання перевіряють візуально. Цю операцію потрібно проводити старанно, кваліфіковано з обов'язковою реєстрацією всіх зовнішніх дефектів для їх статистичного аналізу і виявлення причин.

Якщо візуально не виявлено дефектів, то місце стику піддають статичному навантаженню і визначають міцність зони зварювання.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Обґрунтування способу зварювання

Вибір того або іншого способу зварювання визначається товщиною і матеріалом деталей, конструкцією вузла, масштабом і характером виробництва, вимогами до якості з'єднань і продуктивності процесу.

Зварювання кільця можна виконувати різними способами. Найбільш доступний – це ручне дугове зварювання (РДЗ) електродами марки АНО – 4 діаметром 3 мм. При цьому зварювання можна виконувати з розробленням або без розробленням кромки. В результаті зварювання в зоні шва буде значне підсилення. Для забезпечення товарного вигляду необхідно проводити механічне оброблення для зниження підсилення, що практично неможливо виконати цю операцію в автоматичному режимі, так як виріб має форму кільця.

При зварюванні з розробленням кромки перед виготовленням кільця на заготовці з двох боків повинно виконуватись розроблення кромки, після чого проводимо згинання кільця. Після зварювання в зоні з'єднання практично можна досягти мінімального підсилення, що виключає технологічну операцію його зняття.

Проаналізувавши два способи зварювання РДЗ виготовлення кільця, видно, що досягається необхідна якість з'єднання, однак додаткові технологічні операції (зняття підсилення, підготовлення і розроблення кромки) значно ускладнюють технологічний процес і приводять до значного подорожчання процесу виготовлення і виробу. Слід відмітити, що зварювання кільця без оброблення кромки можна проводити за допомогою аргоно - дугового зварювання неплавким електродом. При цьому забезпечується необхідна якість і товарний вигляд кільця.

Забезпечення режиму автоматизації такого процесу практично неможливо, що не дозволяє виготовлення таких кілець в значному об'ємі. З метою забезпечення можливості автоматизації процесу зварювання, підвищення якості зварного з'єднання та швидкості його виконання вибираємо спосіб контактного стикового зварювання.

## **2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування.**

При виборі зварювального обладнання потрібно, щоб обладнання відповідало сучасним вимогам зварювання, а також надійністю експлуатації в процесі роботи обладнання.

Контактна машина повинна забезпечувати стабільну якість з'єднання і необхідну продуктивність при простоті обслуговування і надійній роботі. Надійність залежить від граничного терміну роботи за ГОСТом або ТУ, довговічності, кількості капітальних ремонтів, коефіцієнта технічного використання, регулярності заміни деталей.

Для стикового зварювання опором зварних арматурних кілець діаметром 300 мм використовуємо вузол зварювання, який входить в склад автомата для зварювання кілець.

Вузол складається з корпусу, який кріпиться до передньої стінки станини і рухомої плити, яка здійснює зворотно-поступальний рух по колонках. Осадження проходить під дією пружини, яка регулюється на задане зусилля і пневмоциліндра, а зворотній рух рухомої плити здійснюється за рахунок пневмоциліндра.

З машини МС-501 зняті трансформатор, контактор тиристорний, перемикач ступенів. Зварювальний трансформатор і електроапаратура розміщені в середині станини. Трансформатор з'єднується струмопідводами з вузлом зварювання. Технічна характеристика машини типу МС-501 приведена в таблиці 2.1.

В результаті автоматизації зварювального виробництва різко підвищується продуктивність праці, якість виготовлення зварної конструкції, суттєво поліпшується умови праці, зменшується виробничий цикл і скорочуються площі виробничих цехів. Машини складні за циклом, мають значне число виконавчих механізмів і сучасну пневмо- і гідроапаратуру, електрообладнання машин насичене електрикою.

До допоміжного зварювального обладнання належать:

- складальні пристрої;
- поворотні пристрої;
- пристрої для переміщення виробів або їх елементів.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика машини типу МС-501

[4, с. 283]

Назва параметру	Значення
Напруга живлення, В	380
Потужність при ПВ 12,5%, кВА	11,7
Межі регулювання вторинної напруги, В	1,35-3
Номінальний вторинний струм, кА	5
Максимальний хід подачі електродів, мм	18
Номінальне зусилля стиску, осадки, Н	2000
Максимальне зусилля затискання, Н	5000
Максимальний переріз зварювальних деталей із мало вуглецевої сталі, мм <sup>2</sup>	78

Складальні пристрої призначені для фіксації та закріплення заготовок, зварного виробу або його вузлів та забезпечення регламентної точності і якості зварних виробів.

Конструкція складального пристрою залежить від конфігурації і розмірів зварного виробу, від технології його зварювання, а також від типу і масштабу виробництва.

В залежності від функціонального призначення складальні пристрої поділяються на власне складальні у яких виконуються тільки складальні операції і складально-зварювальні, у яких виконується не лише складальні, але і зварювальні операції.

Обов'язковими елементами усіх складальних пристроїв є несучі конструкції, фіксатори, притискачі, силові приводи притискачів та механізмів повороту та переміщення.

Поворотні пристрої призначені для оперативних поворотів виробу при складанні, або зварюванні.

Пристрої для переміщення виробів об'єднані єдиним типажем, що дало можливість організувати їх серійне виробництво. Більшість моделей таких притискачів укомплектована із уніфікованих типових вузлів і механізмів, які виготовляються у централізованому порядку.

Допоміжним обладнанням при виготовленні даного виробу є:

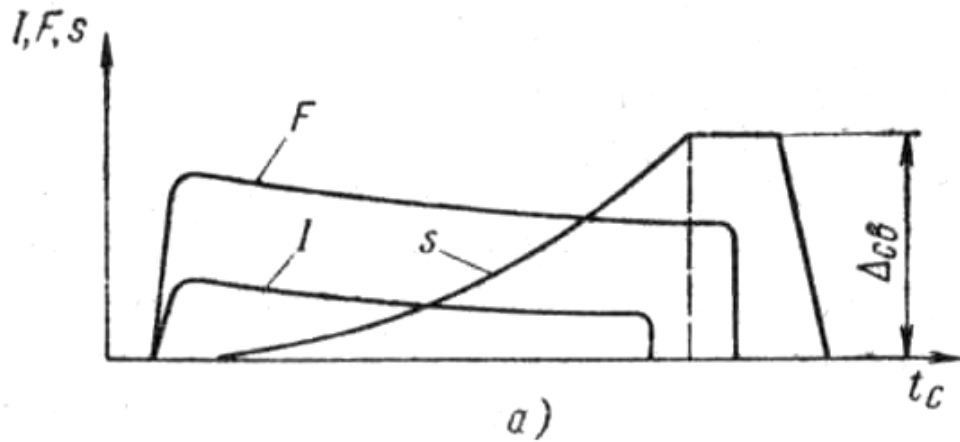
- пристрій розмотувальний;
- пристрій правильний;
- механізм подачі дроту;
- механізм формування кільця;
- механізм відрізання кільця;
- механізм подачі кільця.

### **2.3 Розрахунок та підбір параметрів режиму зварювання**

Зварювання арматурного кільця будемо проводити стиковим зварюванням опором на автоматі виготовлення зварних арматурних дротяних кілець.

Вибираємо необхідну циклограму процесу стикового зварювання опором (рисунок 2.1) [4, с. 237].





$F$  – зусилля осадки;  $I$  – зварювальний струм;  $S$  – переміщення деталі;  $T_{зв}$  – час зварювання.

Рисунок 2.1 – Циклограма процесу стикового зварювання опором

Мінімальну установчу довжину  $2l_0$  при зварюванні опором вибирають в залежності від перерізу деталей  $S$  мм<sup>2</sup>. Прийmemo  $2l_0 = 3+3$  мм [4, с. 238].

Визначаємо площу поперечного перерізу дроту за формулою:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.2)$$

де  $d$  – діаметр дроту, м.

$$F = \frac{3.14 \cdot 0.004^2}{4} = 1.257 \cdot 10^{-5} \quad \text{м}^2.$$

Припуск на осадження однієї деталі прийmemo 0,8 мм.

Зусилля осадження можна визначити за формулою [5, с. 120]:

$$P_{oc} = \rho \cdot F \quad (2.3)$$

де  $\rho$  – питомий тиск, Н/м<sup>2</sup>,

$$\rho = (10 \dots 15) 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

$$P_{oc} = 15 \cdot 10^6 \cdot 1,257 \cdot 10^{-5} = 158,4 \text{ Н.}$$

Визначаємо величину зусилля, яке необхідно для затискання деталі за формулою [4, с. 242]:

$$P_{зат} = K_{зат} \cdot P_{oc}. \quad (2.4)$$

де  $P_{зат}$  – коефіцієнт затискання, [6, с. 171]  $P_{зат} = 1,5 \dots 2,0$ .

$$P_{зат} = 20 \cdot 158,4 = 3168 \text{ Н}$$

Розрахунок величини зварювального струму здійснюємо за формулою [5, с. 141]:

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{(0.8...0.9)T_{пл}}{\frac{\rho_t \cdot R_2 \cdot t_{зв}}{F^2 \cdot \gamma \cdot c} + \frac{m_1 \cdot R_K \cdot \sqrt{t_{зв}}}{F \cdot \sqrt{\pi \cdot \gamma \cdot \lambda}}}} \quad (2.5)$$

де  $I_{зв}$  - величина зварювального струму А;

$T_{пл}$  – температура плавлення металу, °К,  $T_{пл} = 1510$  °С;

$\rho_t$  - середній питомий опір, Ом,  $\rho_t = 16,9 \cdot 10^{-8}$  Ом·м;

$t_{зв}$  - час нагрівання, с,  $t_{зв} = 0,6$  с [4, с. 231];

$c$  – теплоємність, Дж/кг·°К,  $c = 470$ ;

$\gamma$  - питома вага, кг/м<sup>3</sup>,  $\gamma = 7800$  кг/м<sup>3</sup> [4, с. 25];

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

$R_2$  - коефіцієнт витрат,  $R_2 = 0,75$  [5, с. 33];

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\lambda = 80,8$  Вт/м·°С;

$m_1$  – коефіцієнт, що враховує зміну контактного опору в процесі нагрівання стика,  $m_1 = 0,4$ , [6, с. 34];

$R_K$  – контактний опір на початку зварювання, Ом [6, с. 20];

$$R_K = \frac{r_k}{\rho^2}, \quad (2.6)$$

де  $r_k$  – одиничний контактний опір;

$\rho$  – зусилля, яке діє в контакті.

$$R_K = \frac{4 \cdot 0.005}{188.4^{0.55}} = 2.803 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{0,9 \cdot 1510}{\frac{16,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,75 \cdot 0,6}{(1,257 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 7800 \cdot 470} + \frac{0,4 \cdot 2,803 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{0,6}}{1,257 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{3,14 \cdot 7800 \cdot 80,8}}} = 2,156 \cdot 10^3 \text{ А.}$$

Струм шунтування визначаємо за формулою [6, с. 48]:

$$I_{ш} = I_{зв} \cdot \frac{R_{зв}}{Z_{ш}} \quad (2.7)$$

де  $I_{зв}$ - струм зварювання;

$I_{ш}$  - струм шунтування;

$R_{зв}$  - активний опір деталей;

$Z_{ш}$  - повний опір шунта.

$$Z_{ш} = \sqrt{(m \cdot R_{ш})^2 + X_{ш}^2} \quad [6, \text{с. 49}], \quad (2.8)$$

де  $R_{ш}$  - омичний опір шунтуючого кола;

$m$  – коефіцієнт поверхневого ефекту;

$X_{ш}$  - індуктивний опір шунта,  $X_{ш} = 300 \dots 1500$  мкОм [6, с. 49];

$m$  – залежить від діаметру стержня при стиковому зварюванні,  $m = 1$ .

При стиковому зварюванні опір кільця визначається за формулою [6, с. 49]:

$$R_{ш} = \rho_0 \frac{\pi D}{F}, \quad (2.9)$$

де  $D$  – діаметр кільця, мм;

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

$\rho_0$  - питомий опір сталі,  $\rho_0 = 13,5 \cdot 10^{-6}$  Ом·м.

$$R_{ш} = 13,5 \cdot 10^{-6} \frac{3,14 \cdot 0,3}{1,257 \cdot 10^{-5}} = 1,012 \text{ Ом.}$$

Повний опір шунта:

$$Z_{ш} = \sqrt{(m R_{ш})^2 + 1000^2} = 1.215 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Активний опір деталей [4, с. 21]:

$$R_{зв} = 2R_d + R_k + 2R_e, \quad (2.10)$$

де  $R_d$  – контактний опір металу деталі;

$R_k$  - контактний опір деталь-деталь;

$R_e$  - контактний опір електрод деталь.

$$R_{зв} = 2 \cdot 7,8 + 550 + 2 \cdot 275 = 1,116 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

$$I_{ш} = 2,156 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,116 \cdot 10^3}{1,215 \cdot 10^3} = 1,98 \cdot 10^3 \text{ А.}$$

$$I_2 = I_{ш} + I_{зв}; \quad (2.11)$$

$$I_2 = 2,156 \cdot 10^3 + 1,98 \cdot 10^3 = 4,136 \cdot 10^3 \text{ А.}$$

Прийmemo  $I_2 = 4150$  А.

## 2.4 Вибір методу контролю якості виробу

Контроль зварних з'єднань базується на якісній або кількісній оцінці основних ознак, характеризуючи їх роботу.

Для своєчасного виявлення і прийняття технічних та організаційних заходів з метою попередження дефектів необхідний систематичний контроль всіх ланок виробництва зварних вузлів, а саме:

- в стадії проектування виробу;
- під час виконання операцій, які супроводжуються зварюванням;
- самих зварювальних операцій;
- зварювального обладнання.

Якість продукції залежить від того, чи відповідає конструкція вимогам експлуатації.

Задачею контролю є встановлення таких показників, які визначають якість; міцність, відповідність матеріалу нормативам і заданим розмірам, обробленню, а також саме головне – відсутності дефектів.

Правильність виробничого режиму зварювання дроту і якість зварних з'єднань повинні контролюватись наступними методами:

- а) зовнішнім оглядом місць зварювання;
- б) механічним випробуваннями на міцність пробних або контрольних зразків;
- в) замірювання величини осадки  $\Delta_{ос}$ .

Вибраний режим зварювання повинен бути перевірений на зварювані зразків дроту заданих розмірів, які потім піддаються механічним випробуванням на міцність. Найбільш доцільним видом механічного випробування зварних з'єднань для дроту діаметром 4 мм є випробування “на зріз”.

При руйнуючому виді випробування якість зварювання і міцність зварного з'єднання визначають за місцем і характером руйнування, а також по значенню навантаження, при якому воно утворилося, якість зварювання

раहुється високою, а режим зварювання правильно підібраним, якщо при випробуванні зразків руйнування утворилося по основному металу дроту поза зоною зварювання.

При контактному зварюванні зовнішнім оглядом виявляють дефекти геометричної форми (перекуси і зміщення), тріщини, перепал металу в стику, надмірне зминання деталі в місці контакту з електродами, та інші дефекти, які можуть знизити міцність зварних з'єднань.

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

При виконанні заготівельних операцій застосовують такі види оброблення металу:

- очищення поверхні дроту заготовок від бруду, іржі, мастила, окисних плівок та ін.;
- випрямлення дроту;
- різання дроту на задані розміри.

Очищення поверхні зварювального металу проводиться дробоструменевим способом. Після механічного оброблення із поверхні видаляють залишки піску та абразивний пил. Поверхня в місці зварювання повинна мати рівномірний металевий блиск або матовий відтінок.

Дріт вирівнюється проходячи через вузол рихтування, який випрямляє зігнутий в бухтах дріт.

Для рихтування дроту з однієї бухти застосовують десять роликів, встановлених в шаховому порядку. Перших п'ять роликів розташовані у горизонтальній площині інші п'ять роликів розташовані у вертикальній площині, що забезпечує рихтування дроту. що подається з бухти, у двох площинах. Схема механізму рихтування зображена на рисунку 2.1.

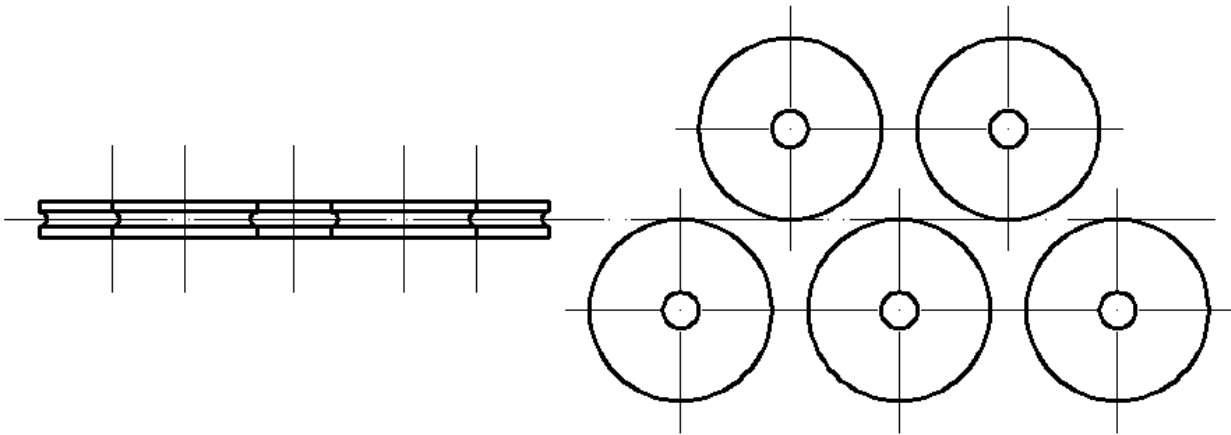


Рисунок 2.2 - Схема механізму правлення

Відрізання заготовок арматурного кільця виконується механізмом різання. Відрізання кільця проходить в момент простоювання подаючих роликів.

Вал на якому кріпиться ніж, через важіль отримує обертання від пневмоциліндра.

Механізм різання можна переміщувати в пазу станини за допомогою кінцевого редуктора відносно положення механізму зварювання.

Складальні операції забезпечують правильне взаємне розташування та закріплення деталей виробу, що зварюється.

Кільце з касети механізмом повздовжньої подачі кільця подається до зварювальних губок. Механізмом встановлення кільця встановлюється в зварювальні губки. Спрацьовує механізм затискання губок і кільце таким чином фіксується. Після цього проводиться зварювання, тобто підведення кінців кільця до замикання.

Після виготовлення зварного виробу, при необхідності проводять знімання ґрату і проводять контроль якості зварювання, упаковують і відправляють на склад.

До допоміжних відносять наступні операції:

- змащування поверхонь тертя: у порожнинах редукторів мастилом ЦИАТИМ – 201; струмоведучі елементи графіто-кастровим мастилом;

- встановлення на механізм розмотування котушок з дротом, при цьому дріт необхідно заправити в направляючий тракт лінії;
- регулювання гальмування котушки з дротом;
- перевірка легкості обертання направляючих роликів механізму розмотування;
- перевірка легкості повороту подаючи важелів контролю дроту механізму розмотування, як при заправленому дроті так і без нього;
- регулювання роликів механізму рихтування і тягнучого пристрою;
- регулювання швидкості переміщення поршнів пневмоциліндрів виконуючих механізмів.

Контрольні роботи містять комплекс контрольних операцій на кожному етапі виготовлення зварного виробу, включаючи контроль вихідних зварюваних і зварювальних матеріалів, контроль якості заготівельних, складальних, зварювальних і опоряджувальних операцій, контроль зварних з'єднань і готової продукції.

Контроль якості зварювання проводиться візуально.

## 2.6 Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу.

Розрахунок ціни реалізації кільця визначаємо за формулою [ 13, с.33 ]:

$$Ц_{\epsilon} = (C_{\epsilon} + 0,8 \cdot Z_{oo}) \cdot 1,1 + 0,15(C_{\epsilon} + 0,8 \cdot Z_{oo}) \cdot 1,1, \quad (2.1)$$

де - 0,8 – коефіцієнт загальнозаводських витрат на виріб;

$C_{\epsilon}$  – цехова собівартість виробу по заводських даних, грн.;

1,1 – коефіцієнт, що враховує поза виробничі видатки;

1,15 – коефіцієнт рентабельності виробництва.

$$Ц_{\epsilon} = (4,45 + 0,8 \cdot 0,290) \cdot 1,1 + 0,15(4,45 + 0,8 \cdot 0,290) \cdot 1,1 = 5,55 \text{ грн}$$

Розрахунок обсягу реалізації продукції визначаємо за формулою [ 13, с.33 ]:

$$B_u = B \cdot C_\epsilon, \quad (2.2)$$

$$B_u = 722857 \cdot 5,55 = 4011856 \text{ грн.}$$

Прибуток від реалізації продукції визначаємо за формулою [ 13, с.33 ]:

$$П = B \cdot C_\epsilon - B(C_u + 0,8 \cdot Z_{oo}) \cdot 1,1, \quad (2.3)$$

по заводу:

$$П = 722857 \cdot 5,55 - 722857 (4,45 + 0,8 \cdot 0,290) \cdot 1,1 = 837068,45 \text{ грн.}$$

по проекту:

$$П = 722857 \cdot 5,55 - 722857 (4,07 + 0,8 \cdot 0,173) \cdot 1,1 = 969784,95$$

грн.

Собівартість реалізації продукції визначаємо за формулою [ 13, с.33 ]:

$$C = B \cdot C_n = B \cdot (C_u + 0,8 \cdot Z_{oo}) \cdot 1,1, \quad (2.4)$$

$$C = 722857 \cdot (4,45 + 0,8 \cdot 0,173) \cdot 1,1 = 3420703,89 \text{ грн.}$$

Фондовіддачу визначаємо за формулою [ 13, с.34 ]:

$$\Phi_\epsilon = \frac{B_u}{\Phi_{oc}}, \quad (2.5)$$

де  $\Phi_{oc}$  – загальна вартість основних виробничих фондів, грн.

$$\Phi_\epsilon = \frac{4011856}{2300030} = 1,74 \text{ грн.}$$

фондомісткість продукції визначаємо за формулою [ 13, с.34 ]:

$$\Phi_m = \frac{\Phi_{oc}}{B}, \quad (2.6)$$

$$\Phi_m = \frac{2300030}{722857} = 3,18 \text{ грн/ шт.}$$

Продуктивність праці визначаємо за формулою [ 13, с.34 ]:

$$A = \frac{B_u}{\chi_{невн}}, \quad (2.7)$$

де,  $\chi_{невн}$  – середньоспискова чисельність промислово-виробничого персоналу, чол.



$$A = \frac{4011856}{3} = 1337285,3 \text{ грн/чол.}$$

Рентабельність виробництва визначаємо за формулою [ 13, с.34 ] :

$$R = \frac{\Pi}{\Phi_{oc} + O_{\delta}} \cdot 100\%, \quad (2.8)$$

де,  $O_{\delta}$  – вартість нормативу оборотних коштів, грн.

$$R = \frac{837068,45}{2300030 + 410000} \cdot 100 \% = 30.8\%.$$

Рівень механізації та автоматизації визначається за формулою [13, с. 12]:

$$Y_M = \frac{T_M}{T_M + T_{\delta}} \cdot 100\%, \quad (2.9)$$

де  $T_M$  – кількість робітників, які виконують роботу механізованим способом, чол;

$T_{\delta}$  - кількість робітників, які виконують роботу вручну, чол.

По заводу:

$$Y_M = \frac{4}{4+2} \cdot 100\% = 66\%.$$

По проекту:

$$Y_M = \frac{3}{3+1} \cdot 100\% = 75\%.$$

Зниження собівартості продукції визначаємо за формулою [13, с.35 ]:

$$\Delta C = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\%, \quad (2.10)$$

де,  $C_1, C_2$  – собівартість одиниці продукції по базовому і проектному варіантах, грн..

$$\Delta C = \frac{4,45 - 4,07}{4,45} \cdot 100\% = 8,5 \%$$

Ріст продуктивності праці визначаємо за формулою [13, с.35 ]:

$$B = \frac{\Delta T_{um} \cdot 100\%}{100 - T_{um}}, \quad (2.11)$$

де,  $\Delta T_{um}$  - процент зниження норми часу на виготовлення одиниці продукції по проектному варіанту.

$$B = \frac{64,3 \cdot 100\%}{100 - 0,014} = 64,3\%.$$

Річний економічний ефект визначається за формулою [13, с.35 ] :

$$E_{\phi} = ((C_{nz} + E_n \cdot \Phi_{mz}) - (C_{nn} + E_n \cdot \Phi_{mn})) \cdot B, \quad (2.12)$$

де  $C_{nz}$  – повна собівартість виробу по заводських даних, грн.;

$C_{nn}$  – повна собівартість виробу по проектних даних, грн.;

$\Phi_{mz}$  – фондомісткість продукції по заводських даних, грн.;

$\Phi_{mn}$  – фондомісткість продукції по проектних даних, грн.;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень,  $E_n=0,16$ .

$$E_{\phi} = ((4,45 + 0,16 \cdot 3,18) - (4,07 + 0,16 \cdot 2,5)) \cdot 722857 = 143703.97 \text{ грн.}$$

Термін окупності додаткових вкладень визначаємо за формулою [18, с.35]:

$$T_{ок} = \frac{\Phi_{ocz} - \Phi_{ocn}}{E_{yp}}, \quad (2.13)$$

де  $\Phi_{ocn}$  - вартість основних виробничих фондів по проектному варіанті, грн.;

$\Phi_{ocz}$  - вартість основних виробничих фондів по заводському варіанті, грн.;

$E_{yp}$  - умовна річна економія, грн..

Умовна річна економія ( грн. ) визначається за формулою [13, с.35 ]:

$$E_{yp} = B \cdot (C_{nz} - C_{nn}), \quad (2.14)$$

$$E_{yp} = 722857 \cdot (4,45 - 4,07) = 274685.66 \text{ грн.}$$

$$T_{ок} = \frac{2300030 - 1811589.21}{274685.66} = 1.7 \text{ років.}$$

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

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

Технічне завдання на розрахунок зварювального трансформатора:

Номинальний зварювальний струм, $I_{2ном}$ , А	4150
Первина напруга, $U_1$ , В	380
Частота струму, $f$ , Гц	50
Вторинна напруга холостого ходу, $U_{20ном}$ , В	6.359
Число ступенів регулювання вторинної напруги, $n$	8
Номинальна ступінь	сьома
Періодичність включення, ПВ, %	12

Трансформатор - броньового типу.

Магнітопровід вирубаний електротехнічної сталі 3414, товщиною 0.5 мм;

Обмотки дискові залиті епоксидним компаундом;

Клас ізоляції обмоток В;

Охолодження:

а) вторинної обмотки – водяне (проточною водою);

б) первинної обмотки – шляхом передачі тепла диском вторинної обмотки;

Приймаємо кількість витків вторинної обмотки  $w_2 = 1$  [10, с.139].

Первинну обмотку секціонуємо на 8 ступенів згідно схеми № 7 [10, с.137].

Кількість витків на номінальній ступені визначаємо за формулою [10, с.130]:

$$; \quad (w_1)_{ном} = \frac{U_1 w_2}{U_{2ном}} \quad (3.1)$$

$$(w_1)_{ном} = \frac{380 \cdot 1}{8,133} = 59.754 \quad \text{витків.}$$

Округляємо витки до цілого числа і отримуємо:

$$(w_1)_{ном} = 60 \quad \text{витків;}$$

Для знаходження числа витків, що визначають коефіцієнт трансформації, а отже і вторинну напругу, на решті ступенів регулювання, задамося схемою з'єднання первинних обмоток (рисунок 3.1)

Число витків:

на останньому ступені регулювання визначаємо за формулою [10, с.137]:

$$(w_1)_N = (w_1)_{ном} - \Delta_b; \quad (3.2)$$

на восьмій ступені регулювання [10, с.392]:

$$(w_1)_8 = (w_1)_{ном} - \Delta_b; \quad (3.3)$$

на сьомій (номінальній) [10, с.392]:

$$(w_1)_7 = (w_1)_{ном}; \quad (3.4)$$

на шостій [10, с.392]:

$$(w_1)_6 = (w_1)_7 + \Delta_b; \quad (3.5)$$

і так далі,

де  $\Delta_b$  - знаменник арифметичної прогресії (різниця між кількістю витків на  $i$ -й і  $(i+1)$ -й ступенях).

Значення  $\Delta_b$  визначають за формулою [10, с.137]:

$$\Delta_b = \frac{(K-1)(w_1)_{ном}}{K+(N-2)}, \quad (3.6)$$

де  $K$  – коефіцієнт, приймаємо [10, с.392]  $K = 2$ ;

$$\Delta_b = \frac{(2-1) \cdot 60}{2+(8-2)} = 7.5.$$

Приймаємо  $\Delta_b = 8$  витків.

Визначаємо кількість витків на кожній ступені регулювання:

на восьмій ступені регулювання:

$$(w_1)_8 = 60 - 8 = 52 \quad \text{витків;}$$

на сьомій (номінальній):

$$(w_1)_7 = 60 \quad \text{витків};$$

на шостій:

$$(w_1)_6 = 60 + 8 = 68 \quad \text{витків};$$

на п'ятій:

$$(w_1)_5 = 68 + 8 = 76 \quad \text{витків};$$

на четвертій:

$$(w_1)_4 = 76 + 8 = 84 \quad \text{витків};$$

на третій:

$$(w_1)_3 = 84 + 8 = 92 \quad \text{витків};$$

на другій:

$$(w_1)_2 = 92 + 8 = 100 \quad \text{витків};$$

на першій:

$$(w_1)_1 = 100 + 8 = 108 \quad \text{витків}.$$

Напруга на вторинній обмотці  $U_{2i}$  при  $i$ -й ступені регулювання визначають числом витків первинної і вторинної обмоток і напругою на первинній обмотці [10, с.137]:

$$U_{2i} = \frac{U_1 w_2}{(w_1)_i}. \quad (3.7)$$

Отже, вторинна напруга на восьмій ступені:

$$U_{28} = \frac{380 \cdot 1}{52} = 7.308 \quad \text{В};$$

на сьомій (номінальній):

$$U_{27} = \frac{380 \cdot 1}{60} = 6.333 \quad \text{В};$$

на шостій:

$$U_{26} = \frac{380 \cdot 1}{68} = 5.588 \quad \text{В};$$

на п'ятій:

$$U_{25} = \frac{380 \cdot 1}{76} = 5 \quad \text{В};$$

на четвертій:

$$U_{24} = \frac{380 \cdot 1}{84} = 4.524 \quad B;$$

на третій:

$$U_{23} = \frac{380 \cdot 1}{92} = 4.13 \quad B;$$

на другій:

$$U_{22} = \frac{380 \cdot 1}{100} = 3.8 \quad B;$$

на першій:

$$U_{21} = \frac{380 \cdot 1}{108} = 3.519 \quad B.$$

Переріз первинної і вторинної обмоток визначають відповідно тривалими (еквівалентними) струмами  $I_{1ном.трив}$  і  $I_{2ном.трив}$ ,  $A$  [10, с.161]:

$$I_{2ном.трив} = I_{2ном} \sqrt{\frac{ПВ}{100}}; \quad (3.8)$$

$$I_{2ном.трив} = 4150 \sqrt{\frac{12\%}{100}} = 1438 \quad A;$$

$$I_{1ном.трив} = K_{x.x} \frac{I_{2ном.трив}}{n_{ном}}, \quad [10, с.159] \quad (3.9)$$

де  $n_{ном}$  - коефіцієнт трансформації на номінальній ступені.

$$n_{ном} = \frac{U_1}{U_{2ном}} = \frac{380}{6.359} = 60, .$$

де  $K_{x.x}$  - коефіцієнт що враховує струм холостого ходу.

Коефіцієнт  $K_{x.x}$  визначаємо за формулою [10, с.159]:

$$K_{x.x} = 1 + 0,005i_0 \sqrt{\frac{ПВ}{100}}, \quad (3.10)$$

де  $i_0$  - струм холостого ходу, у % від номінального тривалого первинного струму, задається ГОСТ 297-73 і складає: 50% - для машин з тривалим вторинним струмом до 2500  $A$ ; 32% - для машин з тривалим вторинним струмом до 5000  $A$ ; 20% - для машин з тривалим вторинним струмом понад 5000  $A$  (окрім підвісних машин з вбудованим трансформатором).

Приймаю  $i_0 = 20\%$ .

$$K_{x.x} = 1 + 0,005 \cdot 20\% \cdot \sqrt{\frac{12\%}{100}} = 1.035;$$

Тоді

$$I_{\text{ном.трус}} = 1.035 \frac{1438}{60} = 24.79 \quad A.$$

Первинний струм для  $i$ -тої ступені знаходимо із співвідношення [10, с.160]:

$$I_{1(i)} = I_{\text{ном.трус}} \cdot \left[ \frac{(w_1)_{\text{ном}}}{(w_1)_i} \right]^2; \quad (3.11)$$

Розрахунковий струм для кожної ступені:

$$I_{1(8)} = 24.79 \left( \frac{60}{52} \right)^2 = 33.004 \quad A;$$

$$I_{1(7)} = 24.79 \left( \frac{60}{60} \right)^2 = 24.79 \quad A;$$

$$I_{1(6)} = 24.79 \left( \frac{60}{68} \right)^2 = 19.3 \quad A;$$

$$I_{1(5)} = 24.79 \left( \frac{60}{76} \right)^2 = 15.451 \quad A;$$

$$I_{1(4)} = 24.79 \left( \frac{60}{84} \right)^2 = 12.648 \quad A;$$

$$I_{1(3)} = 24.79 \left( \frac{60}{92} \right)^2 = 10.544 \quad A;$$

$$I_{1(2)} = 24.79 \left( \frac{60}{100} \right)^2 = 8.924 \quad A;$$

$$I_{1(1)} = 24.79 \left( \frac{60}{108} \right)^2 = 7.651 \quad A.$$

Числа витків по секціях:

а) для першої секції розраховуємо за формулою [10, с.138]:

$$w_{c1} = \frac{U_1}{7 \cdot (U_{20})_8} \quad (3.12)$$

$$w_{c1} = \frac{380}{7 \cdot 7.308} = 7.4 \text{ витків. Приймаємо } w_{c1} = 7 \text{ витків;}$$

б) для другої секції розраховуємо за формулою [10, с.139]:

$$w_{c2} = 2 \cdot w_{c1} \quad (3.23)$$

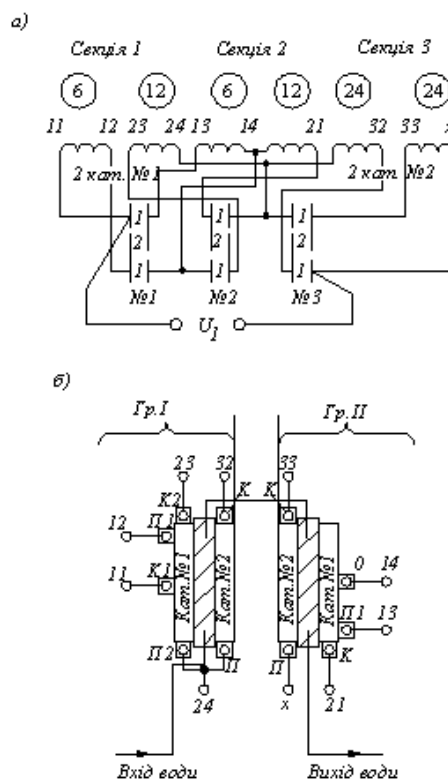
$$w_{c2} = 2 \cdot 7 = 14 \text{ витків};$$

в) для третьої секції розраховуємо за формулою [10, с.139]:

$$w_{c3} = 2 \cdot w_{c2} \quad (3.14)$$

$$w_{c3} = 2 \cdot w_{c2} = 2 \cdot 14 = 29.7 \text{ витків.}$$

Складаємо електричну схему первинної обмотки (рисунок 3.1). У таблиці ступенів заповнюємо три графи: номер ступеня,  $w_1$  і  $U_{20}$ . Перемикач ступенів зображаємо умовно. Конкретний перемикач вибираємо після уточнення струмів первинної обмотки.



а) електрична схема обмоток;

б) розміщення і під'єднання котушок

Рисунок 3.1 – Схематичне зображення первинної обмотки

З таблиці ступенів на рисунку 3.1 для номінальної (сьомої) ступені маємо  $(w_1)_{\text{н}} = 60$ ;  $(U_{20})_{\text{н}} = 6.333 \text{ В}$

Потужність розраховуємо за формулою [10, с.392]:

$$P_{2\text{ном}} = I_{2\text{ном}} \cdot U_{20\text{ном}} \quad (3.15)$$

$$P_{2\text{н}} = 4150 \cdot 6.333 = 26280 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$



Таблиця 3.1 - Таблиця ступенів

Ступінь	Положення ножів перемикача			$w_1$	$U_{20}, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$q, \text{мм}^2$
	№1	№2	№3				
1	2	2	2	108	3.51	7.65	3.7
2	1			100	3.8	8.92	
3	2	1		92	4.1	10.54	
4	1			84	4.5	12.64	
5	2	2	1	76	5	15.45	5.6
6	1			68	5.5	19.3	
7	2	1		60	6.3	33.004	9.7
8	1		52	7.3			

Коефіцієнт трансформації розраховуємо за формулою [10, с.392]:

$$K = \frac{(w_1)_{ном}}{w_2} \quad (3.16)$$

$$K = \frac{60}{1} = 60.$$

Розрахункові значення струмів на всіх ступенях вписуємо в таблицю 3.1.

Визначаємо найбільші струми для кожної секції:

а) секція 1 розраховується на струм 33.004 А; б) секція 2 - на 19.3 А; в) секція 3 - на 12.648 А. Розрахункові струми для кожної секції вписуємо в таблицю 3.1.

По таблиці 4.1 [10, с.162] (виконання 1 для ізоляції класу В) для всіх секцій задаємося густиною струму  $J_1 = 3,4 \text{ А/мм}^2$ .

Необхідні перерізи мідного дроту розраховуємо за формулою [10, с.165]:

Всі дані по секціях вписуємо в таблицю 3.2.

$$q_{1(i)} = \frac{I_{1(i)}}{J_1} \quad (3.17)$$

Таблиця 3.2 – Таблиця секцій

Секція 1	Секція 2	Секція 3
$w_{1(1)} = 7 + 7 = 14$	$w_{1(1)} = 14 + 14 = 28$	$w_{1(3)} = 28 + 28 = 56$
$I_{1(1)} = 33.004 \text{ А}$	$I_{1(2)} = 19.3 \text{ А}$	$I_{1(3)} = 12.648 \text{ А}$
При $J = 3.4 \text{ А/мм}^2$		
$q_{1(1)} = 9.7 \text{ мм}^2$	$q_{1(2)} = 5.6 \text{ мм}^2$	$q_{1(3)} = 3.7 \text{ мм}^2$
$\sum q_{1(1)} = 135.8 \text{ мм}^2$	$\sum q_{1(2)} = 156.8 \text{ мм}^2$	$\sum q_{1(3)} = 207.2 \text{ мм}^2$
Обмоткові дані		
Дві котушки №1		Дві котушки №2
$w'_{1k} = 7$	$w'_{1k} = 14$	$w'_{1k} = 28$
Провід ПСД 2.5×3	Провід ПСД 1,5×3	Провід ПСД 1,5×2
$q_{1(1)} = 7.5 \text{ мм}^2$	$q_{1(2)} = 4.5 \text{ мм}^2$	$q_{1(3)} = 3 \text{ мм}^2$
$J_{1(1)} = 4.4 \text{ А/мм}^2$	$J_{1(2)} = 4.28 \text{ А/мм}^2$	$J_{1(3)} = 4.21 \text{ А/мм}^2$
Радіальні розміри котушок, мм		
$A_{k1} = 7 \cdot (2.5 + 2 \cdot 0,12) + 14 \cdot (1,5 + 2 \cdot 0,12) + 3 = 46.5$		$\dot{A}_{k2} = 28 \cdot (1,5 + 0,12) + 3 = 51.7$
Осьові розміри котушок, мм		
$a_{k1} = 3 + (1,5 \dots 2) \approx 5$		$a_{k1} = 1.5 + 2 = 2.5$

для секції 1

$$q_{1(1)} = \frac{33.004}{3,4} = 9.707 \text{ мм}^2;$$

для секції 2

$$q_{1(2)} = \frac{19.3}{3,4} = 5.677 \text{ мм}^2;$$

для секції 3

$$q_{1(3)} = \frac{12.648}{3,4} = 3.72 \text{ мм}^2.$$

Сумарний перетин дроту первинної обмотки розраховуємо за формулою [10, с.394]:

$$q_1 = \sum q_{1(1)} + \sum q_{1(2)} + \sum q_{1(3)} = w_{1(1)} \cdot q_{1(1)} + w_{1(2)} \cdot q_{1(2)} + w_{1(3)} \cdot q_{1(3)}. \quad (3.18)$$

$$q_1 = (7 + 7) \cdot 9.707 + (14 + 14) \cdot 5.677 + (28 + 28) \cdot 3.72 = 503.16 \text{ мм}^2.$$

Розрахунковий струм вторинної обмотки на номінальній ступені розраховуємо за формулою [10, с.159]:

$$I_2 = I_{2ном} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}} \quad (3.19)$$

$$I_2 = 4150 \cdot \sqrt{\frac{12}{100}} = 1437 \text{ А}.$$

За завданням вторинний виток - мідний з водяним охолодженням (конструктивне виконання згідно рисунку 2.20, а). З таблиці 4.1 [10, с.162], п. 1 беремо  $J_2 = 4,75 \text{ А/мм}^2$ .

Перетин вторинного витка розраховуємо за формулою [10, с.161]:

$$q_2 = \frac{I_2}{J_2} \quad (3.20)$$

$$q_2 = \frac{1438}{4,75} = 302.6 \text{ мм}^2.$$

Сумарний перетин обмоток розраховуємо за формулою [10, с.165]:

$$q = q_1 + q_2 \quad (3.21)$$

$$q = 503.16 + 302.6 = 805.8 \text{ мм}^2.$$

Згідно таблиці 4.3 [10, с.168] для розміщення обмоток площею 805.8 мм<sup>2</sup> буде потрібно площа вікна близько 3200 мм<sup>2</sup>. Найбільш відповідними пластинами для магнітопровода даного трансформатора будуть пластини П-подібної форми з таблиці 2.5 [10, с.89] другого габариту. Розміри вікна 80×80 мм і  $S_0 = 6400 \text{ мм}^2$ . Всі розміри вибраних пластин показані на рисунку 3.2.

Розподіляємо обмотку по котушках таким чином: а) 7 витків першої секції і 14 витків другої секції укладаємо в одну котушку, отримуємо дві котушки № 1 з числом витків  $w'_k = 7$  і  $w''_k = 14$ ; б) витки третьої секції укладаємо

в дві котушки № 2 по 28 витків в кожній. Таким чином, всю первинну обмотку укладаємо в чотири котушки.

За завданням блок обмоток повинен бути залитий епоксидним компаундом. У відповідності з п. 2.13, підпункту 8 і 9 і рисунок 2.23 перш за все визначаємо площу вікна магнітопровода, на якій повинні розміститися обмотки, з урахуванням товщини компаунда (по 7 мм по всьому

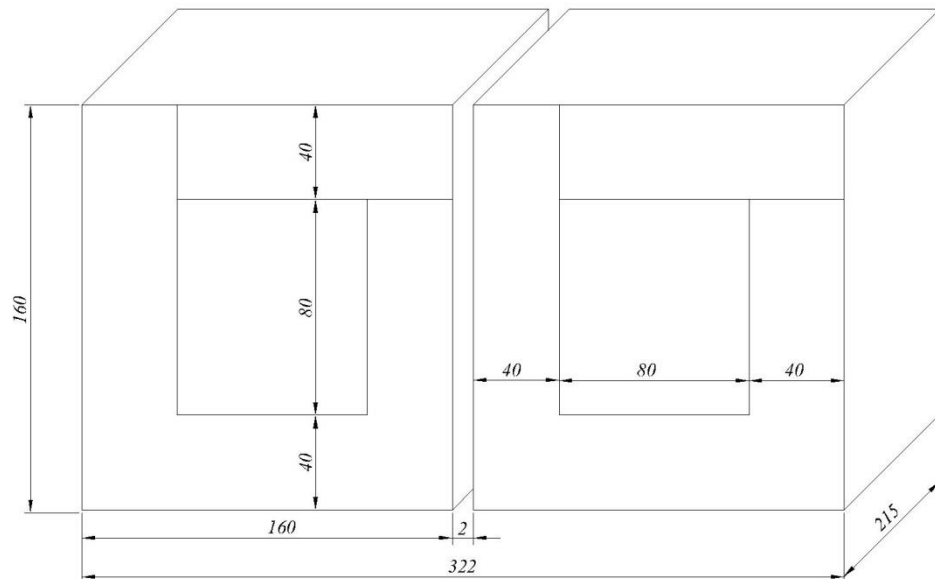


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення форми магнітопровода і розмірів пластин [10, с.408]

периметру обмоток) і вільного розміщення залитого блоку у вікні (по 1 мм на кожну сторону). Для обмоток залишається площа розміром  $b'_0 \times h'_0 = 80 \times 80$  мм, як показано на рисунку 3.3.

Вибираємо розміри обмотувального дроту для кожної секції. У зв'язку із заливкою формула-43 (4.11) (товщина ізолюваного дроту  $a_u$ ) матиме наступний вигляд [10, с.394]:

$$a_u = \frac{(b'_0 - w_k \cdot \delta_{np} - 3)}{w_k} \quad (3.22)$$

де  $b'_0$  розраховуємо за формулою [8, с.165]:

$$b'_0 = b_0 - 2\Delta_s - 2\Delta_0 \quad (3.23)$$

$$b'_0 = 80 - 2 \cdot 7 - 2 \cdot 1 = 64 \text{ мм};$$

$\delta_{np} = 0,12 \text{ мм}$  - ізоляція (ЛІСЕ) між шарами

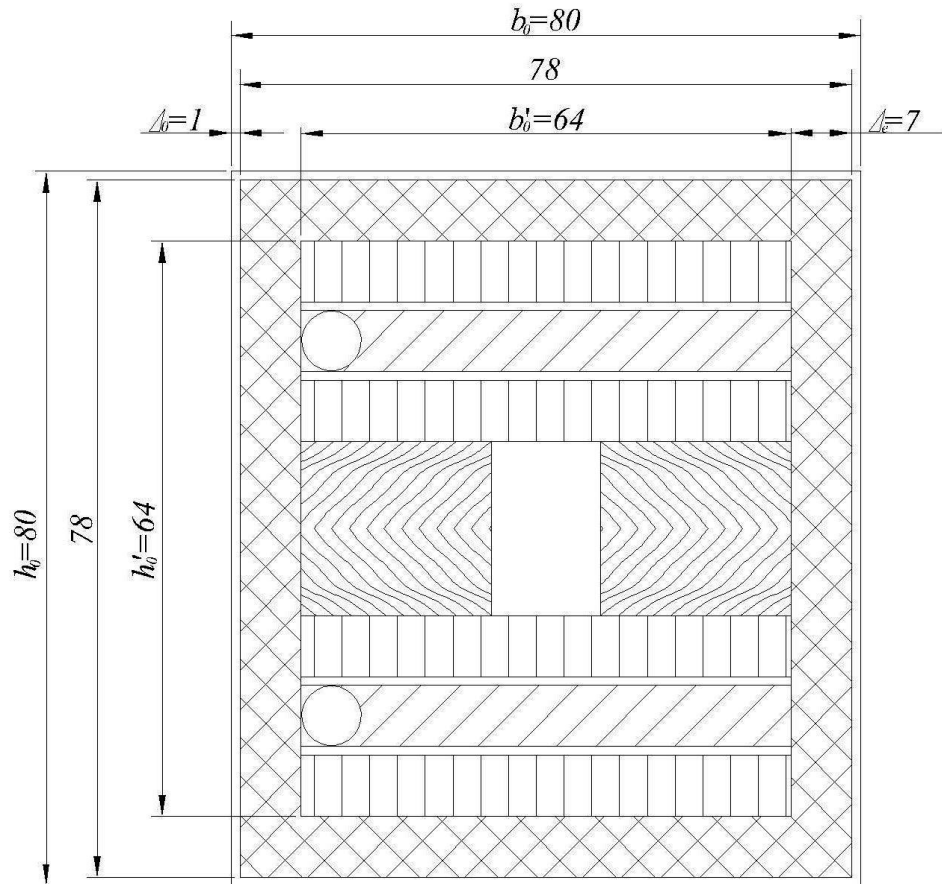


Рисунок 3.3 – Схематичне зображення витків котушок трансформатора у вікні магнітопровода [10, с.395]

[10, с.101] для ізоляції класу В при заливці; 3 мм - збільшення радіального розміру котушки після зняття її з облямовування.

Оскільки 6 і 12 витків (першої і другої секцій) будуть укладено в одну котушку, то при виборі розмістивши дроти необхідно стежити за тим, щоб розмір  $b$  був однаковий, і різні перерізи підбирати за рахунок розміру  $a$ . Конструктивно дві дані котушки повинні бути виконані так, щоб нитки кожної секції були розташовані однаково в кожній котушці, тобто 6 витків - внизу, а 12 витків - вгорі. Отримуємо:

$$a_u = \frac{80 - [(7 + 14) \cdot 0,12 - 3]}{7 + 14} = 2,76 \text{ мм.}$$

Приблизну ширину дроту розраховуємо за формулою [10, с.395]:

$$b = \frac{q_{1(1)}}{a_u} \quad (3.24)$$

$$b = \frac{9.707}{2.76} = 3.517 \text{ мм.}$$

Оскільки ширина проводів обмоток першої і другої секцій повинна бути однаковою, то середній розмір товщини дроту ( $a_u = 2.76 \text{ мм}$ ) розподілиться приблизно пропорційно потрібним перерізам, а саме: для першої секції  $a_u = 2.5 \text{ мм}$  і для другої секції  $a_u = 1.5 \text{ мм}$ .

З таблиці 2.6 [10, с.98] двохстороння товщина ізоляції  $a_u - a = 2.28 \text{ мм}$  і  $b_u - b = 3.117 \text{ мм}$ . Тоді товщина голого дроту для першої секції  $a_{(1)} = a_u - 0,46 = 2.28 - 0,46 = 1.82 \text{ мм}$  і для другої секції  $a_{(2)} = 3.117 - 0,46 = 2.6 \text{ мм}$ .

Ширина голого дроту для обох секцій розраховуємо за формулою [10, с.395]:

$$b_{(1,2)} = \frac{q_{1(1)}}{a_{(1)}} = \frac{q_{1(2)}}{a_{(2)}} \quad (3.25)$$

$$b_{(1,2)} = \frac{9.7}{2.5} \approx \frac{5.6}{1.5} \approx 3 \text{ мм.}$$

З додатку 2 або по ГОСТ 7262-82 і ГОСТ 434-78 вибираємо дроти наступних розмірів: для першої секції  $a \times b = 2.5 \times 3$ ;  $q_{1(1)} = 7.5 \text{ мм}^2$  і для другої секції  $a \times b = 1.5 \times 3$ ;  $q_{1(2)} = 4.5 \text{ мм}^2$ .

Щільність струму для обмоток першої і другої секцій котушки № 1:

$$J_{1(1)} = \frac{33.004}{7.5} = 4.401 \text{ А/мм}^2; \quad J_{1(2)} = \frac{19.3}{4.5} = 4.289 \text{ А/мм}^2.$$

У відповідності з п. 2.11.5 і з урахуванням рисунок 2.23 розраховуємо наступні розміри котушок № 1 (під заливку).

Радіальний розмір розраховуємо за формулою [10, с.396]:

$$A_{k1} = w'_{k1}(a + \delta_{np}) + w''_{k1}(a + \delta_{np}) + 3; \quad (3.26)$$

$$A_{k1} = 7 \cdot (2.5 + 0,12) + 14 \cdot (2,5 + 0,12) + 3 \approx 46.54 \text{ мм.}$$

Тут 3 мм - те ж, що і в п. 21.

Осьовий розмір розраховуємо за формулою [8, с.396]:

$$a_{k1} = b_u + (1,5...2); \quad (3.27)$$

$$a_{k1} = 3 + (1,5...2) \approx 5 \text{ мм.}$$

В даній формулі 1,5...2 мм - збільшення осьового розміру котушки за рахунок нерівності при намотуванні.

Внутрішній розмір по ширині (див. рисунок 3.3) розраховуємо за формулою

[10, с.396]:

$$B_{k1} = b_c + 2\Delta_0 + 2\Delta_{\text{э}}; \quad (3.28)$$

$$B_{k1} = 40 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 7 = 56 \text{ мм.}$$

Внутрішній розмір по довжині (див. рисунок 2.23) вибирається після розрахунку магнітопровода розраховуємо за формулою [10, с.396]:

$$B_{k1} = h_{\text{накета}} + (h'_{\text{обм}} + h_{\text{накета}}) + 2\Delta_{\text{э}};$$

(3.29)

$$B_{k1} = 215 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 7 = 231 \text{ мм.}$$

Радіус заокруглення кутів котушки  $R = 5$  мм. Число котушок № 1 рівне двом.

Всі ці дані вписуємо в таблицю (див. рисунок 3.1) для першої і другої секцій. Решту розмірів котушок і розмірів виводів виберемо пізніше.

Вибір дроту для двох котушок № 2 проводимо так само розраховуємо за формулою [10, с.396]:

$$a_u = \frac{b'_0 - (w_{k2} \cdot \delta_{np}) - 3}{w_{k2}}; \quad (3.30)$$

$$a_u = \frac{64 - 28 \cdot 0,12 - 3}{28} = 2,059 \text{ мм.}$$

Попередня ширина розраховуємо за формулою [10, с.396]:

$$b_u = \frac{q_{1(3)}}{a_u}; \quad (3.31)$$

$$b_u = \frac{3,72}{2,059} = 1,807 \text{ мм.}$$

З таблиці 2.6 [10, с.98]  $a_u - a = 0,42$  мм і  $b_u - b = 0,27$  мм. За ГОСТ 7268-82 і ГОСТ 434-78 вибираємо дроти наступних розмірів:  $a \times b = 1,5 \times 2$ ;  $a_u \times b_u = 1,92 \times 2,27$ ;  $q_{1(3)} = 3$  мм<sup>2</sup>. Густина струму  $J_{1(1)} = \frac{12,648}{3} = 4,216$  А/мм<sup>2</sup>.

Радіальний розмір розраховуємо за формулою [10, с.396]:

$$A_{k2} = w'_{k2}(a_u + \delta_{np}) + 3; \quad (3.32)$$

$$A_{k2} = 28 \cdot (1,5 + 0,12) + 3 \approx 51,72 \text{ мм};$$

$a_{k2} = b_u + (1,5 \dots 2) = 2 + 2 \approx 3,6$  мм. Число котушок № 2 рівне двом. Отримані дані вписуємо в таблицю (див. рисунок 3.1) для котушок третьої секції. Внутрішні розміри котушок повинні бути такі ж, як і для котушок № 1, т. е.  $B = 56$  мм;  $B = 231$  мм і  $R = 5$  мм.

Оскільки котушок первинної обмотки чотири, то число дисків повинне бути два. Орієнтовний переріз кожного диска

$$q_{2(1)} = \frac{q_2}{n_{\dot{A}}} = \frac{302,6}{2} = 151,3 \text{ мм}^2.$$

Всі внутрішні розміри диска і його конфігурація повинні бути однакові з котушками первинної обмотки. Тоді радіальна ширина диска  $K + d_{mp} = A_k = 46,54$ , мм.

Орієнтовну товщину диска розраховуємо за формулою [10, с.396]:

$$a_D = \frac{q_{2(1)}}{K + d_{mp}}; \quad (3.33)$$

$$a_D = \frac{151,3}{46,54} = 3,252 \text{ мм}.$$

Вибираємо товщину диска  $a_D = 5$  мм.

Зовнішній діаметр трубки  $d_{mp} = 4$  мм з товщиною стінок 1 мм.

Радіальна ширина диска  $K = 46,54 - 4 = 42,54$  мм.

Переріз вторинного витка  $q_2 = 2 \cdot 3,252 \cdot 42,54 = 425,4$  мм<sup>2</sup>.

Уточнена густина струму  $J_2 = \frac{1438}{425,4} = 3,379$  А/мм<sup>2</sup>.

Розміщуємо котушки первинної обмотки у вікні і складаємо схему їх з'єднання. Перевіряємо, чи увійде вся обмотка у вікно по висоті (64 мм) і чи



буде достатній зазор між котушковими групами. Ізоляційна шайба між котушками і диском - електроліт товщиною 1 мм, по дві штуки. Число парних шайб - чотири (рівне числу котушок).

У вікні буде тільки один зазор між котушковими групами для розміщення виводів від котушок розраховуємо за формулою [10, с.397]:

$$\delta_3 = h_0 - (\sum a_k + \sum a_d + \sum a_{ш}) \quad (3.34)$$

$$\delta_3 = 64 - (2 \cdot 5 + 2 \cdot 3.6 + 2 \cdot 5 + 4 \cdot 1 \cdot 2) = 28.8 \text{ мм.}$$

Відповідно до рисунок 2.23 [10, с.120] визначаємо конструктивні розміри блоку обмоток, залитих епоксидним компаундом:

радіальний розмір блоку розраховуємо за формулою [10, с.397]:

$$b_{обм} = A_k + 2\Delta_3 \quad (3.35)$$

$$b_{обм} = 46.54 + 2 \cdot 7 = 60.54 \text{ мм;}$$

осьовий розмір блоку розраховуємо за формулою [10, с.397]:

$$h_{обм} = \sum a_k + \sum a_d + \sum a_{ш} + 2\Delta_3 + \delta_3 \quad (3.36)$$

$$h_{обм} = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 3.6 + 2 \cdot 5 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 7 + 28.8 = 78 \text{ мм;}$$

внутрішній розмір блоку по ширині розраховуємо за формулою [10, с.397]:

$$b'_{обм} = B - 2\Delta_3 \quad (3.37)$$

$$b'_{обм} = 56 - 2 \cdot 7 = 42 \text{ мм;}$$

внутрішній розмір блоку по довжині розраховуємо за формулою [10, с.397]:

$$h'_{обм} = B - 2\Delta_3 \quad (3.38)$$

$$h'_{обм} = 231 - 2 \cdot 7 = 217 \text{ мм.}$$

Вибираємо тип перемикача ступенів, струмоведучої частини якого повинні бути розраховані на струм 33,004 А. Переключення ступенів при такому струмі можна проводити пакетним перемикачем, а можна і штепсельним серійним типу ПШ-100-8. Складаємо схему з'єднання котушок. Маємо: дві котушки № 1 з осьовими розмірами по 5 мм, з яких котушка № 1-1 має чотири виводи (Н1-К1; Н2-К2) і котушка № 1-11 - три виводи [Н1-(К1+Н2)-К2]=Н1-0-К2 (в цій котушці К1 і Н2 з'єднуються в середині і на перемикач йде

одне відведення); дві котушки № 2 з осьовими розмірами по 3,6 мм, кожна з них має по два виводи Н і К.

Розташовуємо дві котушки № 1 по краях. Згідно електричної схеми перша секція котушки № 1-1 з'єднується з першою секцією котушки № 1-11 через перемикач ступенів. Друга секція котушки № 1-1 з'єднується послідовно з третьою секцією, укладеною в котушку № 2. Для того, щоб було зручніше виконати це з'єднання, розміщуємо одну котушку № 2 в котушкову групу з котушкою № 1-1, а другу котушку № 2 - з котушкою № 1-11, як показано на рисунку 1. Там же дано і конструктивне розташування виводів від котушок.

Вибираємо розміри виводів. Для котушок № 1 розміри виводів для першої і другої секцій беремо онакові, розраховані на більший струм, тобто на 33,004 А. З таблиці 4.1 [10, с.162] задаємося густиною струму  $J_B = 4 \text{ А/мм}^2$ .

Переріз виведення розраховуємо за формулою [10, с.397]:

$$q_{B.K1} = \frac{I_{1(1)}}{J_B} \quad (3.39)$$

$$q_{B.K1} = \frac{33.004}{4} = 8.251 \text{ мм}^2.$$

Від котушки № 1-1 потрібно зробити чотири виводи, від котушки № 1-11 - три виводи. Якщо розташувати виводи в один ряд, то вивід буде дуже вузький. Тому вивід від котушки № 2 розмістимо з торця котушки, як показано на рисунку 3.4. Тоді ширину виводу розраховуємо за формулою [10, с.397]:

$$b_{B.U} = \frac{B - [2R + \delta_B \cdot (n - 1)]}{3} \quad (3.40)$$

$$b_{B.U} = \frac{56 - [2 \cdot 5 + 15 \cdot (3 - 1)]}{3} = 5,333 \text{ мм.}$$

Двостороння товщина ізоляції виводу рівна 3 мм, і ширина голого виводу  $b_{B.K1} = 5,33 - 3 = 2,33 \text{ мм}$ . Товщину голого виводу розраховуємо за формулою [10, с.397]:

$$a_{B.K1} = \frac{q_{B.K1}}{b_{B.K1}} \quad (3.41)$$

$$a_{B.K1} = \frac{8.251}{2.33} = 3.536 \text{ мм.}$$

Уточнюємо розміри виводу по ГОСТ434-78. Беремо дріт ПММ  $a_{B,K1} \times b_{B,K1} = 3 \times 3 = 9 \text{ мм}^2$ . Уточнена густина струму  $J_B = 3,667 \text{ А/мм}^2$ .

Для котушок № 2 беремо цей же вивід, тобто  $a_{B,K2} \times b_{B,K2} = 3 \times 3$ .

Перевіряємо, чи достатній буде зазор між котушковими групами [10, с.398]:

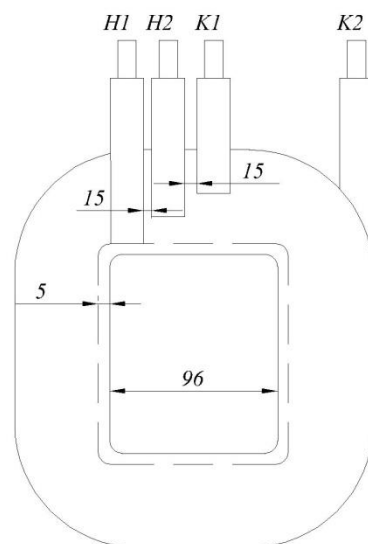


Рисунок 3.4 – Схематичне зображення виводів від котушок первинної обмотки

$$\delta_1 = a_{B,K2} + \delta_u + \delta_0 \quad (3.42)$$

$$\delta_1 = 3 + 3 + 3 = 9 \text{ мм.}$$

При розрахунку  $\delta_1$  необхідно врахувати, що виводи сусідніх котушок № 2 розташовані в шаховому порядку.

Відповідно до таблиці 2.8 вибираємо перетини відведень, що сполучають котушки первинної обмотки з перемикачем ступенів. Вибрані розміри наступні:

Номер відведення (див. рис. 1)	11	12	13	14	21	23	32	33	x
Розрахунковий струм, А	33.004			19.3	12.64		8.92		
Перетин відведень з дроту ПГВ-500, мм <sup>2</sup>				9		9			

Згідно рекомендації п. 2.10.3 як матеріал магнітопровода беремо електротехнічну сталь листову або рулонну марки 3413 завтовшки  $\delta_{ст} = 0,35 \text{ мм}$

[10, с.83] з ізоляційним покриттям, характеристики якої приведені в табл. 2.3 [10, с.83].

З таблиці 4.2 [10, с.166] для трансформатора, що працює з ПВ=12% (що менше ПВ = 50 %), для максимальної (восьмої) ступені беремо індукцію магнітопровода  $B_{\max(8)} = 1,5 + 0,5 = 2$  Тл, що відповідає  $B_{ном} = 1.8$  Тл (на сьомому ступені).

Активний переріз магнітопровода розраховуємо за формулою [10, с.398]:

$$S = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot w_{1(7)} \cdot B_{ном}} \quad (3.43)$$

$$S = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 2} = 0,016 \text{ м}^2.$$

З таблиці 2.4 [10, с.86] коефіцієнт заповнення  $K_c = 0,962$ .

Повний переріз магнітопровода розраховуємо за формулою [10, с.167]:

$$S_{\text{жс}} = \frac{S}{K_c} \quad (3.44)$$

$$S_{\text{жс}} = \frac{0,016}{0,926} = 0,017 \text{ м}^2.$$

Трансформатор - броньового типу. Розмір перетину відноситься до середнього стрижня:  $b_c = 40$  мм.

Товщину набору розраховуємо за формулою [10, с.398]:

$$h = \frac{S_{\text{жс}}}{b_c} \quad (3.45)$$

$$h = \frac{0,017}{2 \cdot 0,04} = 0,214 \text{ м}.$$

Округляємо величину  $h$  до цілого числа і беремо  $h = 215$  мм. Цей розмір наноситься на рисунок 3.2.

Уточнений активний переріз магнітопровода і індукція на сьомому ступені розраховуємо за формулою [10, с.167]:

$$S = 2 \cdot b_c \cdot h \cdot K_c \quad (3.46)$$

$$S = 2 \cdot 0,040 \cdot 0,215 \cdot 0,926 = 0,016 \text{ м}^2;$$

$$B_{iii} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 0,016} = 1.808 \text{ Тл.}$$

Максимальна індукція (на восьмому ступені):

$$B_{\max} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 52 \cdot 0,016} = 2.08 \text{ Тл.}$$

Число пластин двох пакетів магнітопровода розраховуємо за формулою [10, с.167]:

$$n = 2 \cdot \frac{h \cdot K_c}{\delta_{\alpha}} \quad (3.47)$$

$$n = 2 \cdot \frac{215 \cdot 0,926}{0,5} = 796,296 \text{ пластин.}$$

де  $\delta_{\alpha}$  - товщина однієї пластини,  $\delta_{\alpha} = 0,5 \text{ мм}$ . [10, с.166].

Маса магнітопровода (рисунок 3.2) розраховуємо за формулою [10, с.399]:

$$G_{\alpha} = v \cdot \sum V_{\alpha} \quad (3.48)$$

$$G_{\alpha} = 7,8 \cdot 2 \cdot 215 \cdot 0,926 \cdot (160 \cdot 322 - 80 \cdot 80) \cdot 10^{-3} = 140,1 \text{ кг.}$$

Середня довжина витка котушок № 1 (рисунок 3.5, а): 7 витків першої секції, укладених знизу розраховуємо за формулою [10, с.399]:

$$l'_{cp.k1} = 2 \cdot (B + B - 4 \cdot R) + 2 \cdot \pi \cdot \left( R + \frac{a_{1(l)} \cdot \omega_{1(l)}}{4} \right); \quad (3.49)$$

$$l'_{cp.k1} = 2 \cdot (96 + 96 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot 3,14 \cdot \left( 5 + \frac{2,5 \cdot 7}{2} \right) = 1,414 \text{ м;}$$

14 витків другої секції, укладених зверху

$$l''_{cp.k1} = 2 \cdot (96 + 96 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot 3,14 \cdot \left( 5 + 2,5 \cdot 7 + \frac{1,5 \cdot 14}{2} \right) = 2,733 \text{ м;}$$

цілої котушки № 1

$$l_{cp.k1} = 2 \cdot (96 + 96 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot 3,14 \cdot \left( 5 + \frac{2,5 \cdot 7 + 1,5 \cdot 14}{2} \right) = 1,886 \text{ м.}$$

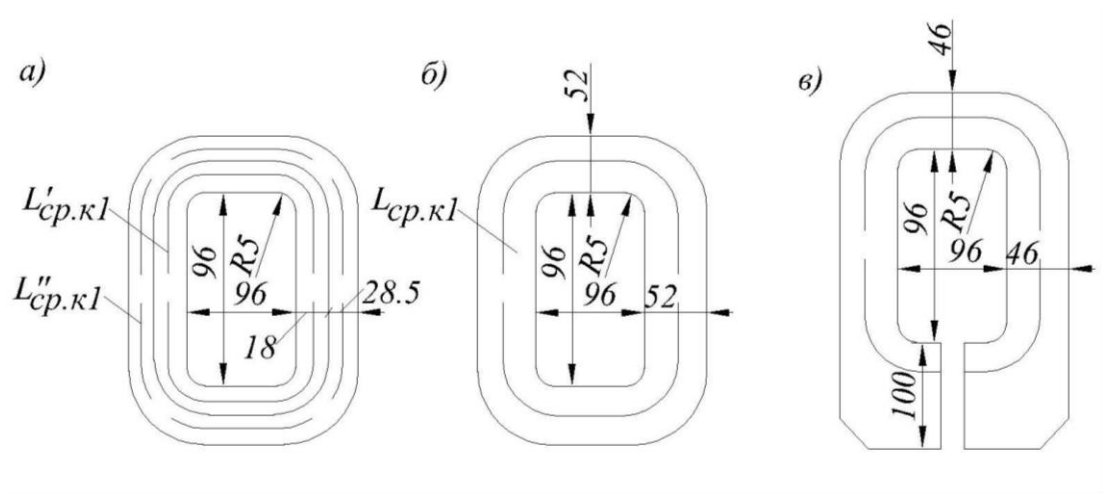
Середня довжина витка котушок № 2 (рисунок 3.5, б)

$$l_{cp.k2} = 2 \cdot (96 + 96 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot 3,14 \cdot \left( 5 + \frac{1,5 \cdot 28}{2} \right) = 0,998 \text{ м.}$$

Масу котушки № 1 розраховуємо за формулою [10, с.399]:

$$G_{k1} = \gamma \cdot K_y \cdot 10^{-3} \cdot (w'_{k1} \cdot q_{1(1)} \cdot l'_{cp.k1} + w''_{k1} \cdot q_{1(2)} \cdot l''_{cp.k1}) \quad (3.50)$$

$$G_{k1} = 8,9 \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} \cdot (7 \cdot 7,5 \cdot 1,885 + 14 \cdot 4,5 \cdot 1,885) = 2,093 \text{ кг.}$$



а) котушка первинна №1; б) котушка первинна №2; в) диск вторинного витка;

Рисунок 3.5 – Схематичне зображення середніх довжин витків котушок первинної обмотки і диска вторинного витка

Маса котушки № 2

$$G_{k2} = 8,9 \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 3 \cdot 998,965 = 0,807 \text{ кг.}$$

Масу первинної обмотки розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$G_1 = 2 \cdot G_{k1} + 2 \cdot G_{k2}; \quad (3.51)$$

$$G_1 = 2 \cdot 2,093 + 2 \cdot 0,807 = 5,798 \text{ кг.}$$

Відповідно розміри диска будуть наступні: внутрішні по ширині і по довжині відповідно [10, с.400]:

$$L = B_k; \quad (3.52)$$

$$P = B_k; \quad (3.53)$$

$$\dot{E} = 56 \text{ мм;}$$

$$P = 231 \text{ мм.}$$

Радіус заокруглення кутів по внутрішньому периметру  $R = 5 \text{ мм}$ , по зовнішньому  $R_1 = 45 \text{ мм}$ .

Радіальні розміри диска [10, с.400]:

$$K = 42,54 \text{ мм;}$$

$$C = A_k + n \cdot \delta_B; \quad (3.54)$$

$$C = 51.72 + 3 \cdot 2 = 57.72 \text{ мм};$$

$$\Pi = A_k + (20); \quad (3.55)$$

$$\dot{I} = 71.72 \text{ мм}.$$

Середня довжина витка диска (рисунок 3.5, в) розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$l_{cp2} = 2 \cdot (\Pi - 2 \cdot R) + 2 \cdot (P - 2 \cdot R) + 2 \cdot \pi \cdot \left( R + \frac{2 \cdot K + \Pi + C}{8} \right); \quad (3.56)$$

$$l_{cp2} = 2 \cdot (56 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot (71.72 - 2 \cdot 5) + 2 \cdot 3.14 \cdot \left( 5 + \frac{2 \cdot 42.54 + 71.72 + 51.72}{8} \right) = 733.9$$

Масу двох дисків розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$G_2 = 2 \cdot (\gamma \cdot l_{cp2} \cdot q_{2(1)}) \cdot 10^{-3}; \quad (3.57)$$

$$G_2 = 2 \cdot (8,9 \cdot 733.9 \cdot 151.327) \cdot 10^{-3} = 1.977 \text{ кг}.$$

Розміри і маса дисків уточнюються після конструктивного оформлення вторинного витка. Тоді ж підраховується і маса контактних плит.

Втрати холостого ходу трансформатора:

на номінальному ступені при  $B_{ном} = 2 \text{ Тл}$  розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$P_0 = K_0 \cdot p \cdot G_{жс}; \quad (3.58)$$

$$P_0 = 1,2 \cdot 1,55 \cdot 140.123 = 260.268 \text{ Вт}.$$

на останній (восьмій) ступені при  $B_{max(8)} = 2,086 \text{ Тл}$ ;

$$P_0 = 1,2 \cdot 2,18 \cdot 140.123 = 399.561 \text{ Вт}.$$

Середня довжина магнітної лінії:

$$l_\mu = 2(80 + 80) + 2 \cdot 3.14 \cdot \frac{82}{2} = 577.611 \text{ мм}.$$

Сумарна магніторушійна сила (МРС), необхідна для створення магнітного потоку в сталі магнітопровода і повітряних зазорах, для номінальної ступені розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$\sum F = F_{жс} + F_\delta = F' \cdot l_\mu + 0,8 \cdot B_{ном} \cdot \delta_s \cdot 10^4; \quad (3.59)$$

$$\sum F = 4,4 \cdot 577.611 + 0,8 \cdot 1,8 \cdot 0,01 \cdot 10^4 = 398.149 \text{ A.}$$

Абсолютне значення струму холостого ходу розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2}; \quad (3.60)$$

$$I_0 = \sqrt{0.686^2 + 3.51^2} = 3.576 \text{ A,}$$

де  $I_{0a}$  розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$I_{0a} = \frac{P_0}{U_1}; \quad (3.61)$$

$$I_{0p} = \frac{\sum F}{K_r \cdot \sqrt{2} \cdot w_{1(7)}}; \quad (3.62)$$

$$I_{0a} = \frac{260.628}{380} = 0.686 \text{ A;}$$

$$I_{0p} = \frac{398.149}{1,337 \cdot 1,41 \cdot 60} = 3.51 \text{ A.}$$

Тут  $K_r$  - розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$K_r = \frac{1}{1,9 - x_r \cdot B_{ном}}; \quad (3.63)$$

$$K_{\bar{A}} = \frac{1}{1,9 - 0,64 \cdot 2,08} = 1.769.$$

Значення струму холостого ходу (XX) у відсотках від номінального розрахункового розраховуємо за формулою [10, с.400]:

$$i_0 = \frac{I_0}{I_1} \cdot 100; \quad (3.64)$$

$$i_0 = \frac{3.576}{33.004} \cdot 100 = 10.83 \%,$$

що значно менше 20 % допустимих по ГОСТ 297-80.

Струм холостого ходу на останній ступені при  $B_{\max(8)} = 2,086 \text{ Тл}$ :

$$I_{0\max} = \sqrt{0.965^2 + 4.478^2} \text{ A;}$$

$$\text{Тут } I_{0a} = \frac{366.561}{380} = 0.965 \text{ A.}$$

Сумарне МРС:

$$\sum F = 7,2 \cdot 57.7 + 0,8 \cdot 2 \cdot 0,01 \cdot 10^4 = 582.7 \text{ A.}$$



Реактивна складова струму ХХ;

$$I_{0p} = \frac{532.736}{1.796 \cdot 1,41 \cdot 52} = 4.478 \text{ А.}$$

Опір постійному струму 7 витків котушки № 1 розраховуємо за формулою [10, с.401]:

$$r_{0(1)1} = \rho \cdot \frac{l'_{cp.k1} \cdot w'_k}{q_{1(1)}}; \quad (3.65)$$

$$r_{0(1)1} = 0,0175 \cdot \frac{1.885 \cdot 7}{7.5} = 0.031 \text{ Ом.}$$

Опір постійному струму 14 витків котушки № 1:

$$r_{0(1)2} = 0,0175 \cdot \frac{1.885 \cdot 14}{4.5} = 0.103 \text{ Ом.}$$

Опір постійному струму котушки № 2:

$$r_{0(2)} = 0,0175 \cdot \frac{1,885 \cdot 28}{3} = 0,163 \text{ Ом.}$$

Опір постійному струму диска вторинного витка розраховуємо за формулою [10, с.401]:

$$r_{0,д} = \rho \cdot \frac{l'_{cp2}}{q_{2(1)}}; \quad (3.66)$$

$$r_{0,д} = 0,0175 \cdot \frac{733,9}{425,4} = 3,019 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Опір постійному струму первинної обмотки на номінальній (сьомій) ступені розраховуємо за формулою [10, с.401]:

$$r_0 = 2 \cdot r_{0(1)1} + \frac{r_{0(1)2}}{2} + \frac{r_{0(2)}}{2}; \quad (3.67)$$

$$r_0 = 2 \cdot 0,031 + \frac{0,103}{2} + \frac{3,019 \cdot 10^{-5}}{2} = 0,113 \text{ Ом.}$$

То ж і на першій ступені розраховуємо за формулою [10, с.401]:

$$r_0 = 2 \cdot r_{0(1)1} + 2 \cdot r_{0(1)2} + 2 \cdot r_{0(2)}; \quad (3.68)$$

$$r_0 = 2 \cdot 0.031 + 2 \cdot 0.103 + 2 \cdot 3.019 \cdot 10^{-5} = 0.267 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт Фільда для 7 витків котушки № 1 розраховуємо за формулою [10, с.401]:

$$K'_{Fk1} = 1 + \frac{n_a^2 - 0,2}{9} \cdot (a'_{k1(1)}); \quad (3.69)$$

Тут  $a'_{k1(1)}$  розраховуємо за формулою [10, с.401]:

$$a'_{k1(1)} = 2 \cdot b_{k1} \cdot \sqrt{\frac{f \cdot a_{k1(1)} \cdot w'_{k1}}{l_s \cdot \rho \cdot 10^4}}; \quad (3.70)$$

$$a'_{k1(1)} = 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{50 \cdot 0,25 \cdot 7}{8,0 \cdot 175}} = 0,15 \text{ см};$$

Тоді:

$$K'_{Fk1} = 1 + \frac{1^2 - 0,2}{9} \cdot (0,15)^4 = 1.$$

У відсотках розраховуємо за формулою [10, с.401]:

$$K'_{Fk1} = (K_{Fk1} - 1) \cdot 100; \quad (3.71)$$

$$K'_{Fk1} = (K_{Fk1} - 1) \cdot 100 = 4,5 \cdot 10^{-3} \%.$$

То ж і для 14 витків:

$$a''_{k1(2)} = 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{50 \cdot 1,5 \cdot 14}{8,0 \cdot 0,0175 \cdot 10^4}} = 0,164 \text{ см};$$

$$K''_{Fk2} = 1 + \frac{1^2 - 0,2}{9} \cdot 0,164 = 1.$$

У відсотках  $K''_{Fk2} = 18,432 \%$ .

Коефіцієнт Фільда для котушки № 2 розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$a_{k2} = 2 \cdot a_D \cdot \sqrt{\frac{f \cdot a_{k2} \cdot w_{k2}}{l_s \cdot \rho \cdot 10^4}}; \quad (3.72)$$

$$a_{k2} = 2 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{50 \cdot 0,24 \cdot 28}{8,0 \cdot 0,0175 \cdot 10^4}} = 1,2 \text{ см};$$

$$K_{Fk2} = 1,184.$$

У відсотках  $K_{Fk2} = 18,4 \%$ .

То ж для одного диска вторинного витка розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$a'_2 = 2 \cdot a_D \cdot \sqrt{\frac{f \cdot K}{l_s \cdot \rho \cdot 10^4}}; \quad (3.73)$$

$$a'_2 = 2 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{50 \cdot 42.54}{8.0 \cdot 0.0175 \cdot 10^4}} = 0.156 \text{ см};$$

$$K_{F2} = 1 + 0.089 \cdot (0.156)^4 = 1.$$

У відсотках  $K_{F2} = 5.25 \cdot 10^{-3} \%$ .

Активний опір 7 витків котушки № 1 розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$r_{1(1)} = r_{0(1)1} \cdot K'_{FK1}; \quad (3.74)$$

$$r_{1(1)} = 0.031 \cdot 1 = 0.031 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

То ж 14 витків розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$r_{1(2)} = r_{0(1)2} \cdot K''_{FK1}; \quad (3.75)$$

$$r_{1(2)} = 0.103 \cdot 1 = 0.103 \text{ Ом.}$$

Активний опір котушки № 2:

$$r_{(2)} = 0.163 \cdot 10^{-5} \cdot 1.184 = 0.193 \text{ Ом.}$$

Активний опір одного диска вторинного витка розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$r_{\bar{d}} = r_{0\bar{d}} \cdot K_{F2}; \quad (3.76)$$

$$r_{\bar{d}} = 3.019 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 3.019 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Активний опір первинної обмотки:

номінальної (сьомої) ступені при 20°C

$$r_{1(20^{\circ})} = 2 \cdot 0.031 + \frac{0.103}{2} + \frac{0.193}{2} = 0.21 \text{ Ом};$$

на першому ступені:

$$r_1 = 2 \cdot 0.031 + 2 \cdot 0.103 + 2 \cdot 0.193 = 0.653 \text{ Ом.}$$

Активний опір вторинного витка розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$r_{2(20^{\circ})} = \frac{1}{n_{\bar{d}}} \cdot r_{\bar{d}}; \quad (3.77)$$

$$r_{2(20^{\circ})} = \frac{1}{2} = 1.51 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Активний опір первинної обмотки на сьомому ступені при  $t_{раб} = 100^\circ\text{C}$  [10, с.402] розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$r_1 = r_{1(20^\circ)} \cdot (1 + \alpha \cdot (100 - 20)); \quad (3.78)$$

$$r_1 = 0.21 \cdot (1 + 0,0039 \cdot 80) = 0.275 \text{ Ом.}$$

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

$$r_2 = 3.019 \cdot 10^{-5} \cdot (1 + 0,0039 \cdot 20) = 3.315 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Втрати в первинній обмотці на номінальному ступені при номінальному струмі розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$P_{1ном} = I_{1ном}^2 \cdot r_1; \quad (3.79)$$

$$P_{1iii} = I_{1iii}^2 \cdot r_1 = 24.79^2 \cdot 0.275 = 169.129 \text{ Вт.}$$

То ж при розрахунковому струмі розраховуємо за формулою [10, с.402]:

$$P_1 = I_1^2 \cdot r_1; \quad (3.80)$$

$$P_1 = 33.004^2 \cdot 0.275 = 299.7 \text{ Вт.}$$

Втрати у вторинному витку розраховуємо за формулами [10, с.403]:

$$P_{2ном} = I_{2ном}^2 \cdot r_2; \quad (3.81)$$

$$P_{2iii} = 4150^2 \cdot 3.019 \cdot 10^{-5} = 519.9 \cdot 10^4 \text{ Вт.}$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot r_2; \quad (3.82)$$

$$P_2 = 3597^2 \cdot 3.019 \cdot 10^{-5} = 390.5 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Активний опір обмоток трансформатора, приведений до вторинної обмотки, для першої ступені розраховуємо за формулою [10, с.403]:

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

(3.83)

$$r_{T(1)} = \frac{0.653 \cdot 1,312}{108^2} + 3.315 \cdot 10^{-5} = 1.066 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

То ж для номінального ступеня розраховуємо за формулою [10, с.403]:

$$r_T = \frac{r_{(1)}}{K^2} + r_2;$$

(3.84)

$$r_T = \frac{0.275}{60^2} + 3.315 \cdot 10^{-5} = 1.096 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

На першому ступені котушкової групи I і II (рисунок 1) включені послідовно і індуктивний опір трансформатора, приведене до первинної обмотки розраховуємо за формулою [10, с.403]:

$$x'_{T(1)} = x_{\text{спI}} + x_{\text{спII}}; \quad (3.85)$$

На першій ступені котушки в групах I і II сполучені між собою послідовно і група I ідентична групі II; отже, можна вважати, що

$$x'_{T(1)} = 2 \cdot x_{\text{спI}} = 2 \cdot (x_{(1)} + x_{(2)}); \quad (3.86)$$

Користуючись формулою (3.66) для розрахунку  $x_{(1)}$  і формулою (3.67) для розрахунку  $x_{(2)}$ , визначаємо індуктивний опір трансформатора:

$$x'_{T(1)} = 2 \cdot x_{\text{спI}} = 2 \cdot (x_{(1)} + x_{(2)}) = 2 \cdot 9,5 \cdot 10^{-6} \cdot \left\{ \frac{0.969 \cdot 188.5 \cdot (7+14)^2}{8} \cdot \left[ \frac{0.3}{3} + 0,37 + \frac{(7+14) \cdot 0.5}{3 \cdot (7+14+28)} \right] + \frac{99,8 \cdot 0.971 \cdot 28^2}{8} \cdot \left[ \frac{0.2}{3} + 0,37 + \frac{28 \cdot 0.5}{3 \cdot (28+7+14)} \right] \right\} = 0.012 \text{ Ом}$$

Тут  $l_{\text{сп.k1}} = 188.5 \text{ см}$ ;  $l_{\text{сп.k2}} = 99.8 \text{ см}$ ;  $w_{k1} = (7+14) = 21$ ;  $w_{k2} = 28$ ;  $b_0 = 8 \text{ см}$ ;  $b_{k1} = 0.3 \text{ см}$ ;  $b_{k2} = 0.2 \text{ см}$ . Товщина ізоляції між будь-якою котушкою і диском  $\Delta_1 = \Delta_2 = 0,37 \text{ см}$  і складається з наступних доданків:

а) односторонній товщини ізоляції дроту по стороні а, рівною  $\frac{0,048}{2} = 0,024 \text{ см}$ ;

б) товщина шайб ізоляційних з електроліту  $2 \times 0,1 = 0,2 \text{ см}$ ;

в) повітряних зазорів між проводами котушки і шайбою, величини розбухання від просочення і виробничих відхилень - приблизно 0,15 см.

Коефіцієнт Роговського для котушки № 1 розраховуємо за формулою [10, с.403]:

$$K_{Rk1} = 1 - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \chi_{k1}}; \quad (3.87)$$

$$K_{Rk1} = 1 - \frac{1}{6,28 \cdot 5.195} = 0.969,$$

де  $\chi_{k1}$  розраховуємо за формулою [10, с.403]:

$$\chi_{k1} = \frac{b_0}{2 \cdot \Delta_1 + b_{k1} + a_{д}}; \quad (3.88)$$

$$\chi_{k1} = \frac{8.0}{2 \cdot 0,37 + 3 + 5} = 5.195 \text{ см.}$$

То ж для котушки № 2 розраховуємо за формулою [10, с.403]:

$$K_{Rk2} = 1 - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \chi_{k2}}; \quad (3.89)$$

$$K_{Rk2} = 1 - \frac{1}{6,28 \cdot 5.556} = 0.971,$$

де  $\chi_{k2}$  розраховуємо за формулою [10, с.403]:

$$\chi_{k2} = \frac{b_0}{2 \cdot \Delta_1 + b_{k2} + a_{д}}; \quad (3.90)$$

$$\chi_{k2} = \frac{8.0}{2 \cdot 0,37 + 2 + 5} = 5.556 \text{ см.}$$

Індуктивний опір трансформатора, приведений до вторинної обмотки, для першої ступені розраховуємо за формулою [10, с.403]:

$$x_{T(1)} = \frac{x'_{T(1)}}{(w_1)_1^2}; \quad (3.91)$$

$$x_{T(1)} = \frac{0.012}{108^2} = 1.065 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

На сьомому ступені 7-віткові секції котушок № 1-I і № 1-II сполучені між собою послідовно, а секції по 14 витків паралельно. Котушки № 2 сполучені між собою також паралельно. В котушкових групах I і II розподіл струмів, МРС і потоків розсіяння будуть однакові. Розрахунок ведемо за формулою (3.86):

$$x_{зпI} = x_{зпII} = \frac{9,5 \cdot 10^{-6} \cdot 188.5}{8} \cdot \{0,969 \cdot \left(\frac{7}{2} + 14\right)^2 \cdot \left[\frac{0.3}{3} + 0,37 + \frac{0.5 \cdot (7/2 + 14)}{3 \cdot (7/2 + 14 + 28/2)}\right] + 0.971 \cdot \left(\frac{28}{2}\right)^2 \times \\ \times \left[\frac{0.2}{3} + 0,37 + \frac{28/2 \cdot 0.5}{3 \cdot (28/2 + 7 + 14/2)}\right]\} = 4.525 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Котушкові групи I і II включені послідовно, і, отже,

$$x'_{T(1)} = x_{\bar{a}I} + x_{\bar{a}II} = 2 \cdot 4.525 \cdot 10^{-3} = 9.05 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір трансформатора, приведений до вторинної обмотки, на номінальному ступені розраховуємо за формулою [10, с.404]:

$$x_T = \frac{x'_T}{K^2}; \quad (3.92)$$

$$x_T = \frac{9.05 \cdot 10^{-3}}{60^2} = 2.514 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Повний опір обмоток трансформатора на номінальному ступені розраховуємо за формулою [10, с.404]:

$$Z_T = \sqrt{x_T^2 + r_T^2}; \quad (3.93)$$

$$Z_T = 10^{-6} \cdot \sqrt{(2.514 \cdot 10^{-6})^2 + (1.096 \cdot 10^{-4})^2} = 1.096 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Напряга короткого замикання розраховуємо за формулою [10, с.404]:

$$U_a = I_{ном} \cdot (r_1' + r_2 \cdot K^2); \quad (3.94)$$

$$U_a = 24.79 \cdot (0.275 + 3.315 \cdot 10^{-5} \cdot 60^2) = 9.781 \text{ В;}$$

$$U_p = I_{ном} \cdot x_T'; \quad (3.95)$$

$$U_p = 24.79 \cdot 9.05 \cdot 10^{-3} = 0.224 \text{ В;}$$

$$U_{k.з} = I_{ном} \cdot Z_T' = I_{ном} \cdot \sqrt{(r_1' + r_2 \cdot K^2)^2 + x_T'^2}; \quad (3.96)$$

$$U_{k.з} = 24.79 \sqrt{(0.275 + 3.315 \cdot 10^{-5} \cdot 60^2)^2 + (9.05 \cdot 10^{-3})^2} = 9.784 \text{ В;}$$

$$u_{k.з} = \frac{U_{k.з} \cdot 100}{U_1}; \quad (3.97)$$

$$u_{k.з} = \frac{9.784 \cdot 100}{380} = 2.575 \text{ \%}.$$

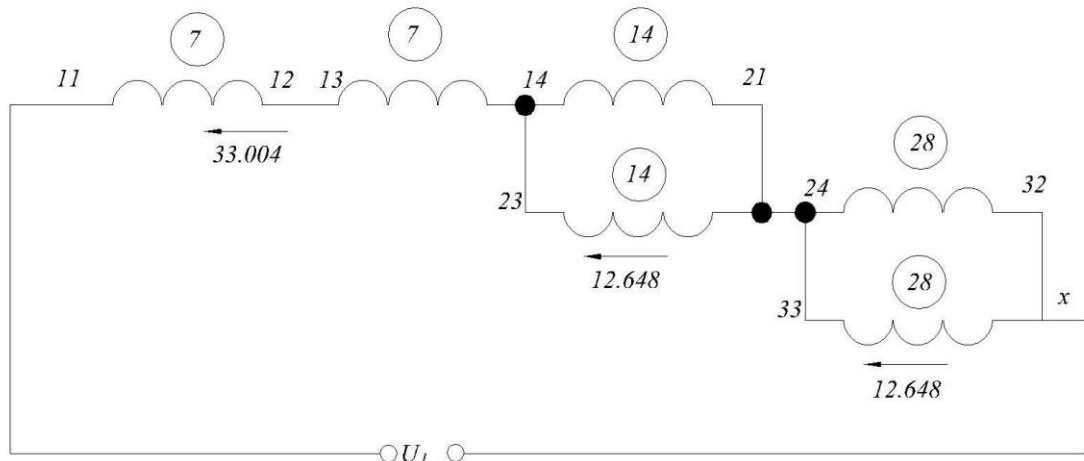


Рисунок 3.6 – Схема теплового розрахунку

ККД трансформатора розраховуємо за формулою [10, с.405]:

$$\eta = 1 - \frac{\sum P}{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}; \quad (3.98)$$

$$\eta = 1 - \frac{949.749}{380 \cdot 24.79 \cdot 0,86} = 0,883.$$

Тут сумарні втрати, відповідні номінальній ступені розраховуємо за формулою [10, с.405]:

$$\sum P = P_0 + P_{1ном} + P_{2ном}; \quad (3.99)$$

$$\sum P = 260.628 + 169.129 + 519.991 = 949.749 \text{ Вт},$$

і орієнтовно приймаємо  $\cos \varphi_1 = 0,86$ .

Всі результати розрахунку зводяться в розрахункову записку. Для теплового розрахунку обмоток трансформатора на рисунку 6 дана електрична схема з'єднання котушок первинної обмотки на номінальному ступені і розподілення струму по паралельних вітках.

Втрати в котушці №1, відповідні розрахунковим значенням струмів розраховуємо за формулою [10, с.405]:

$$P_{(1)} = P_{(1)1} + P_{(1)2}; \quad (3.100)$$

$$P_{(1)} = 44.001 + 50.156 = 94.157 \text{ Вт}.$$

Тут в 7-віткової секції:

$$P_{1(1)} = 33.004^2 \cdot 0.031 \cdot 1,312 = 44.001 \text{ Вт};$$

і в 14-віткової секції:

$$P_{1(2)} = 19.3^2 \cdot 0.103 \cdot 1,312 = 50.156 \text{ Вт}.$$

В котушці № 2:

$$P_{(2)} = 12.648^2 \cdot 0.193 \cdot 1,312 = 40.557 \text{ Вт}.$$

В одному диску вторинного витка розраховуємо за формулою [10, с.405]:

$$P_d = I_2^2 \cdot r_d; \quad (3.101)$$

$$P_A = 4150 \cdot 3.019 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1,095 \cdot 1}{2^2} = 142.348 \text{ Вт}.$$

Тут 1,312 і 1,095 - коефіцієнти приведення активного опору первинної і вторинної обмоток до робочої температури.

Поверхня зіткнення котушок первинної обмотки з дисками вторинного витка для котушки № 1 розраховуємо за формулою [10, с.405]:



$$F_{k1} = l_{cp.k1} A_{k1} \% \quad (3.102)$$

де  $A_{k1}$  - радіальний розмір цілої котушки № 1, см;  $A_{k1} = 7,1$ .

$$F_{k1} = 188.5 \cdot 4.654 = 877.225 \text{ см}^2.$$

То ж для котушки № 2:

$$F_{k2} = 99.895 \cdot 5.172 = 516.66 \text{ см}^2.$$

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

$$\frac{P_{(1)}}{F_{k1}} = \frac{94.157}{877.225} = 0.107 \text{ Вт/см}^2.$$

То ж для котушки № 2:

$$\frac{P_{(2)}}{F_{k2}} = \frac{40.557}{516.66} = 0.078 \text{ Вт/см}^2.$$

З цих розрахунків виходить, що найбільший перепад температури від дроту котушки до диска буде в котушках № 2, що мають найбільший питомий тепловий потік; тому визначаємо температуру нагріву котушок № 2. При розрахунку приймаємо, що потік води, що охолоджує, направлений від котушкової групи I до групи II і котушки, що розраховуються № 2 розташовані в котушкових групах I і II.

Середнє перевищення температури води, що охолоджує, при проходженні її по котушковій групі I розраховуємо за формулою [10, с.405]:

$$\Delta t_B = \frac{P_{zpl}}{C \cdot v \cdot Q \cdot 10^3} = \frac{P_{(1)} + P_{(2)} + P_D}{C \cdot v \cdot Q \cdot 10^3}; \quad (3.103)$$

$$\Delta t_B = \frac{94.157 + 40.577 + 142.348}{4,18 \cdot 0,028 \cdot 10^3} = 2.34 \text{ }^\circ\text{C}.$$

вихід води, що охолоджує, приймаємо рівним  $Q=250$  л/год = 0,067 л/с.

Перепад температури від внутрішньої поверхні трубки до води розраховуємо за формулою [10, с.406]:

$$\Delta t_{Д.В} = \frac{P_{zpl}}{\alpha F_T}; \quad (3.104)$$

$$\Delta t_{\dot{A}.\dot{A}} = \frac{94.157 + 40.557 + 142.3487}{0.781 \cdot 28.217} = 12.157 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі розраховуємо за формулою [10, с.406]:

$$a = 1,16 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \nu^{0,87} \cdot d^{-0,13}; \quad (3.105)$$

$$a = 1,16 \cdot 10^{-4} \cdot 2277 \cdot 2,21 \cdot 4 = 0,781.$$

Тут коефіцієнт  $b$  узятий з таблиці 4.8 [10, с.194] залежно від так званого середнього значення температури  $t_{cp}$ , для розрахунку якої приймаємо:

$t_{охол.в} = 20^\circ\text{C}$  - температура води, що охолоджує, на вході в трансформатор;

$\Delta t_{д.в} = 10^\circ\text{C}$  - передбачуваний перепад температури між поверхнею трубки і водою.

Середню температуру розраховуємо за формулою [10, с.406]:

$$t_{cp} = t_{охол.в} + 0,1 \cdot (2t_{охол.в} + \Delta t_{д.в} + t'_{д.в}); \quad (3.106)$$

$$t_{cp} = 20 + 0,1 \cdot (2 \cdot 20 + 2,386 + 10) = 25,239^\circ\text{C}.$$

З таблиці 4.8 [10, с.194] виходить, що температура  $t_{cp} = 25,239^\circ\text{C}$  відповідає  $b = 2572$ . Швидкість закінчення води в трубці розраховуємо за формулою [10, с.406]:

$$\nu = \frac{Q \cdot 10^{-3}}{S_{TP}}; \quad (3.107)$$

де  $S_{TP}$  - Площа поперечного перерізу труби,  $\text{мм}^2$

Площу поперечного перерізу труби розраховуємо за формулою [10, с.406]:

$$S_{TP} = \frac{\pi \cdot d_{TP}^2}{4}; \quad (3.108)$$

де внутрішній діаметр трубки  $d_{TP} = 0,004$  м;  $\nu^{0,87} = 1,74^{0,87} = 1,86$  і  $d^{-0,13} = 0,008^{-0,13} = 1,97$ .

$$S_{TP} = \frac{3,14 \cdot 0,004^2}{4} = 12,566 \text{ мм}^2.$$

Тоді:

$$\nu = \frac{0,0067 \cdot 10^{-3}}{12,566} = 2,21 \text{ м/с}.$$

Площа внутрішньої поверхні трубки одного диска, що охолоджує розраховуємо за формулою [10, с.406]:

$$F_{TP} = \pi \cdot d_{TP} \cdot l_{TP} \cdot 10^4; \quad (3.109)$$

$$F_{TP} = 3,14 \cdot 0,004 \cdot 0,898 \cdot 10^4 = 28,217 \text{ см}^2.$$

де  $l_{TP}$  - довжина трубки, м.

Довжину труби одного диска (визначаємо з креслення)  $l_{TP} = 0,898$  м.

Оскільки отриманий перепад температури від поверхні трубки до води  $\Delta t_{д.в}$  не більш передбачуваного  $\Delta t'_{д.в}$ , то уточненого перерахунку  $t_{ср}$ ,  $b$  і  $a$  робити не треба.

Перепад температури між диском і котушкою № 2 групи II розраховуємо за формулою [10, с.406]:

$$\Delta t_1 = \frac{P_{(2)} \cdot \Delta_1}{\lambda \cdot F_{k2}}; \quad (3.110)$$

$$\Delta t_1 = \frac{40,557 \cdot 0,37}{0,0014 \cdot 516,66} = 20,746 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тут  $\Delta_1$  - див. п. 84;  $\lambda$  - див. [10, с.195] для ізоляції класу В.

Температура нагріву дроту котушки № 2 розраховуємо за формулою [10, с.406]:

$$t_1 = \Delta t_1 + \Delta t_{д.в} + \Delta t_B + t_{охол.в}; \quad (3.111)$$

$$t_1 = 20,746 + 13,419 + 2,386 + 20 = 56,551 \text{ } ^\circ\text{C},$$

що не перевищує значень, вказаних в таблиці 2.7 [10, с.101].

### 3.2 Опис роботи зварювального устаткування

Під час вибору конструктивних схем пристосувань необхідно забезпечити можливість механізації транспортних операцій, швидкість і надійність базування, закріплення деталей в пристосуванні, зручність виконання складальних операцій, а також зварювальних.

В даний період часу на виробництві широко використовуються складально-зварювальне обладнання, що дозволяє суттєво зменшити

трудомісткість складально-зварювальних робіт, забезпечити необхідну якість продукції, полегшити і покращити умови праці працівників.

Автомат для виготовлення кілець за механічними можливостями являється спеціальним.

Процес навивання здійснюється наступним чином: дріт з розмотувального пристрою за допомогою подаючих роликів протягується через правильний пристрій і подається до згинальних роликів, де формується в кільце навиваючись захватами маніпулятора.

Після закінчення навивання відрізання кільця здійснюється автоматично – ножем механізму різання. Відрізане кільце переноситься маніпулятором на електроди вузла зварювання і зварюється. Готове кільце опускається в тару.

## 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Заходи, які забезпечують безпечні умови праці на спроектованому обладнанні

При налагоджуванні і роботі машини існують наступні небезпеки:

- а) електричний струм;
- б) механічний вплив;
- в) тепловий вплив;

- при налагоджуванні і роботі застосовують тільки справний інструмент. Перед запуском машини потрібно візуально впевнитися у відсутності будь-яких механічних пошкоджень і по сторонніх предметів в робочій зоні;

- огляд, ремонт, регулювання, чищення і змащування машин проводити при повному вимкненні від джерела живлення;

- у разі припинення подачі напруги, застосовують заходи які б забезпечили безпеку при її раптовій появі.

Забороняється:

- допускати до роботи сторонніх осіб;
- працювати з знятими кожухами та відкритими дверима;
- доторкатися до електрообладнання і струмоведучих елементів при роботі машини;
- вводити руки в робочу зону працюючої машини і натискати робочі органи машини по сторонніми предметами;
- працювати при наявності несправностей в будь-якому із механізмів, органів управління і засобів захисту;
- працювати без необхідних захисних ізоляційних засобів і спец одягу;
- працювати при відсутності місцевої вентиляції;
- концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони повинна перевищувати встановленої граничнодопустимої за ГОСТ 12.01.008 – 76;

- при монтажі і роботі гідравлічних приводів слід виконувати правила техніки безпеки згідно ГОСТ 16028 – 70;
- після закінчення роботи машини привести в порядок робоче місце.

Під час виконання контактної зварювання металів необхідно передбачати максимально можливу механізацію та автоматизацію процесу зварювання та його окремих елементів.

Зварювальні роботи можна проводити за наявності на контактних машинах екранів, що захищають операторів від іскор та бризок розплавленого металу, а також від впливу електромагнітних полів; систем блокування, що забезпечують відключення первинної напруги електрообладнання під час відкривання дверцят шаф і пультів, що мають всередині електроапаратуру з відкритими струмоведучими частинами під напругою вищою за 42 В. Якщо під час нормальної роботи не потрібно відкривати дверці машини і шаф, то допускається замість блокувань застосовувати запори зі спеціальними ключами. На дверцятах у такому випадку повинен бути застерігаючий напис: «Під напругою», «Небезпечно для життя». Зачищення електродів на контактній машині слід проводити тільки за відсутності напруги.

Захисні пристрої (переносні екрани, фільтровентиляційні агрегати), які переміщують вручну, повинні бути легко знімними, мати масу не більше 6 кг, а під час відкривання переміщення повинно виконуватись зусиллям не більше 40 Н. Розташування цих пристроїв не повинно обмежувати технологічні можливості обладнання під час його експлуатації.

Зварювання кольорових металів, спеціальних легованих сталей і чорних металів з покриттям, що містять токсичні речовини, можливе лише за умови наявності вмонтованих в контактні машини місцевих витяжних пристроїв та працюючої загальнообмінної вентиляції.

За наявності однієї загальнообмінної вентиляції допускається виконання робіт з контактної зварювання металів з чистою поверхнею. При цьому повітрообмін повинен становити не менше 600 м<sup>3</sup>/год повітря на кожні 50 кВА установки. Під час стикового зварювання оплавленням об'єм видаленого

повітря з місцевого витяжного пристрою (укриття) повинен компенсуватися зі швидкістю підсмоктування не менше 1 м/с.

Щоб уникнути розбризкування розплавленого металу під час контактного зварювання, необхідно забезпечувати щільне взаємне прилягання зварюваних елементів з установленням допустимих зазорів.

Електричне обладнання, що застосовується для зварювання, і його експлуатація повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.32-01 та ДНАОП 0.00-1.21-98. [15, с. 179]

Корпус електрозварювальної установки необхідно заземлювати. Захисне заземлення і занулення виконується згідно ГОСТ 12.1.030-81. Послідовне включення в заземлюючий провідник декількох апаратів забороняється. [15, с. 179]

Окремі елементи зварювального кола, а також відрізки зварювальних кабелів при нарощуванні довжини повинні бути з'єднанні роз'ємними з'єднувальними муфтами. Забороняється з'єднувати зварювальні кола зкрутками з оголеним кабелем. Струмopідвідні кабелі зварювального кола повинні бути по всій довжині ізолювані та захищені від механічних ушкоджень.

#### **4.2 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції для спроектованої зварювальної установки (автомата)**

Контактне зварювання супроводжується іскроутворенням і викидом бризок. При цьому способі зварювання добре очищених сталевих деталей в навколишнє середовище виділяється незначна кількість зварювальних аерозолів та газів. Однак при наявності іржі, масла, емульсій, антикорозійних та інших покриттів, при зварюванні деталей з кольорових металів утворюється значна кількість аерозолу, що містить шкідливі речовини. Причому вміст у повітрі аерозолу збільшується з підвищенням потужності контактної машини

Місцева витяжна вентиляція застосовується для вловлювання шкідливих речовин безпосередньо у місцях виділення. Пристрої місцевої витяжної

вентиляції (місцеві відсмоктувачі) умовно можна поділити на відсмоктувачі відкритого та закритого типів.

Конструкція місцевих відсмоктувачів повинна забезпечувати максимальне вловлювання шкідливих виділень при мінімальній кількості вилученого повітря. Крім того, вона не повинна бути громіздкою та заважати обслуговуючому персоналу працювати і наглядати за технологічним процесом.

Основними чинниками при виборі типу місцевого відсмоктувача є характеристики шкідливих виділень (температура, густина парів, токсичність), положення робітника при виконанні робіт, особливості технологічного процесу та устаткування.

У випадку контактного стикового зварювання арматурного кільця найбільш технологічним способом вентиляції є застосування відсмоктувальної панелі яка відноситься до місцевих відсмоктувачів відкритого типу.

Розрахунок механічної вентиляції проводять у наступному порядку: Визначення найбільш раціонального способу вилучення або попередження утворення токсичних, пожежо- чи вибухонебезпечних концентрацій пароповітряних сумішей; визначення необхідної кількості повітря для обмінної вентиляції, виходячи із відомої кратності повітрообміну в приміщенні, кількості шкідливих речовин, які вилучаються з приміщення або надлишкового тепла, яке необхідно асимілювати до санітарно-допустимих норм; визначення кількості повітря, яке вилучається місцевими відсмоктувачами.

В даному випадку необхідно розрахувати об'єм повітря, що вилучається відсмоктувальною панеллю від автомату для зварювання кілець із шириною  $B = 0,43$  м, і довжиною  $A = 1,83$  м. від передньої сторони автомату панель знаходиться на відстані  $l = 1,4$  м, а середина її знаходиться на висоті  $H = 0,7$  м від верхньої площини автомату. Кількість тепла, яке виділяється від автомату,  $Q = 5100$  ккал/год.

Об'єм повітря, що вилучається панеллю, визначасмо за формулою:

$$L_n = c Q^{1/3} (H + B)^{5/3} \quad (m^3/год), [13, с. 98] \quad (4.1)$$



де  $c$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції панелі та її розташування відносно джерела виділення тепла;

$Q$  – кількість тепла, яке виділяється джерелом, ккал/год;

$H$  – відстань від верхньої площини джерела до центру всмоктування панелі, м;

$B$  – ширина джерела, м.

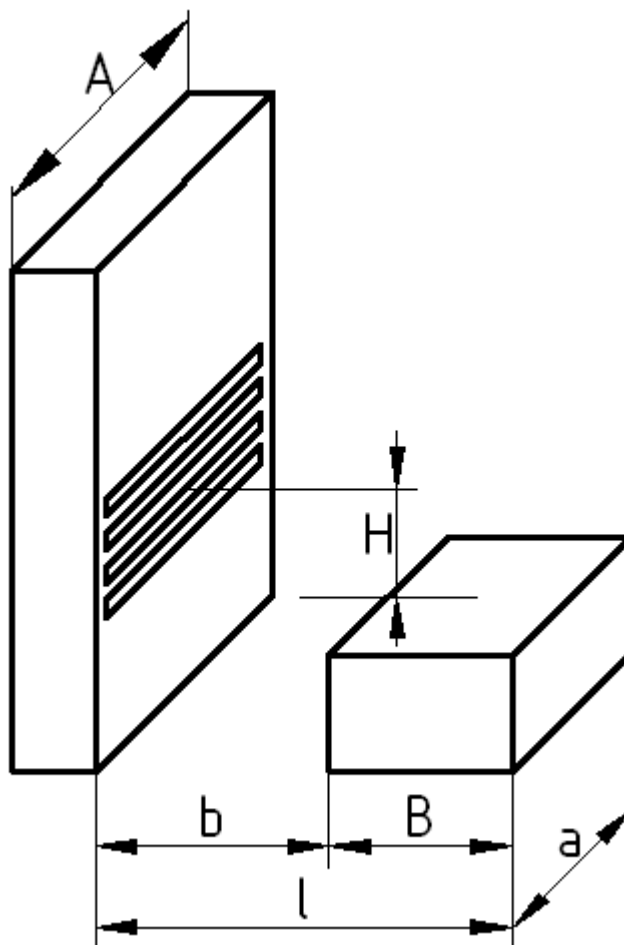


Рисунок 4.1 – Схема всмоктувальної панелі (одностороння)

Коефіцієнт  $c$  для панелі без екрана [13, с. 99]:

$$c = 240 \left( \frac{l}{H+B} \right)^{2/3}; \quad (4.2)$$

$$c = 240 \left( \frac{1,4}{0,7 + 0,43} \right)^{2/3} = 276.$$

Об'єм повітря, що вилучається панеллю:

$$L_n = 276\,5100^{1/3} (0,7 + 0,43)^{5/3} = 5824 \text{ (м}^3\text{/год)}$$

#### 4.3 Заходи запобігання розповсюдження пожежі в цеху

На розвиток пожежі у будівлях та спорудах значно впливає здатність окремих будівельних елементів чинити опір впливу теплоти, тобто їх вогнестійкість. [18, с. 317]

Вогнестійкість - здатність будівельних елементів та конструкцій зберігати свою несучу здатність, а також чинити опір нагріванню до критичної температури, утворенню наскрізних тріщин та поширенню вогню. Вогнестійкість конструкцій та елементів будівель характеризується межею вогнестійкості.

*Межа вогнестійкості* - це час (у годинах) від початку вогневого стандартного випробування зразків до виникнення одного з граничних станів елементів та конструкцій (втрата несучої та теплоізолюючої здатності, щільності). Межі вогнестійкості та максимальні межі розповсюдження вогню визначаються шляхом дослідження у спеціальних печах під відповідним навантаженням.

*Межа розповсюдження вогню* - максимальний розмір пошкоджень, см, яким вважається обвуглення або вигорання матеріалу, що визначається візуально, а також оплавленням термопластичних матеріалів.

**Противопожежні перешкоди.** При проектуванні і будівництві промислових підприємств передбачаються заходи, які запобігають поширенню вогню шляхом:

- поділу будівлі протипожежними перекриттями на пожежні відсіки;
- поділу будівлі протипожежними перегородками на секції;

- влаштування протипожежних перешкод для обмеження поширення вогню по конструкціях, по горючих матеріалах (гребені, бортики, козирки, пояси);
- влаштування протипожежних дверей і воріт;
- влаштування протипожежних розривів між будівлями.

*Протипожежна перешкода* - конструкція у вигляді стіни, перегородки, перекриття або об'ємний елемент будівлі, призначені для запобігання поширенню пожежі у прилеглих до них приміщеннях протягом нормованого часу. До протипожежних перешкод ставиться ряд вимог. Протипожежні стіни мають спиратися на фундаменти, фундаментні балки, встановлюватися на всю висоту будинку, перетинати всі поверхи і конструкції. Вони мають бути вище даху не менше як на 60 см, якщо хоч один з елементів горища виконаний з горючих матеріалів і на 30 см — якщо елементи горища виготовлені з важкогорючих матеріалів (крім даху). Протипожежні стіни можуть не підніматися над дахом, якщо всі елементи горища, за винятком даху, виконані з негорючих матеріалів. У протипожежних стінах дозволяється прокладати вентиляційні і димові канали так, щоб у місцях їх розміщення межа вогнестійкості протипожежної стіни з кожного боку каналу була не менше 2,5 год.

Для розподілу будівлі на пожежні відсіки замість протипожежних стін допускаються протипожежні зони, які виконуються у вигляді вставки по всій ширині і висоті будинку. *Вставка* — це частина об'єму будівлі, яка утворюється протипожежними стінами (мінімальна межа вогнестійкості - 0,75 год). Ширина зони - не менше 12 м. У межах зони не дозволяється зберігати горючі речовини. На межах зони з пожежними відсіками передбачаються вертикальні діафрагми і дренчерні водяні завіси відповідно до СНиП 2.04.09-84. У межах зони ставлять пожежні сходи на дах, а в зовнішніх стінах зони - двері або ворота.

Отвори у протипожежних стінах, перегородках та перекриттях повинні бути обладнані захисними пристроями (протипожежні двері, вогнезахисні двері, вогнезахисні клапани, водяні завіси) проти поширення вогню та продуктів горіння. Не допускається встановлювати будь-які пристрої, які перешкоджають нормальному закриванню протипожежних та протидимових дверей, а також знімати пристрої для їх самозакривання. У разі перетинання протипожежних перешкод (стін, перегородок, перекриттів, загороджувальних конструкцій) різними комунікаціями зазори (отвори), що утворилися між цими конструкціями та комунікаціями, повинні бути наглухо зашпаровані негорючим матеріалом, який забезпечує межу вогнестійкості та димо-газонепроникнення, що вимагається будівельними нормами для цих перешкод.

При складанні генеральних планів підприємств з точки зору пожежної безпеки важливо забезпечувати відповідні відстані від меж підприємств до інших підприємств і будівель. Протипожежні відстані між будівлями мають виключати загорання сусідньої будівлі протягом часу, який необхідний для приведення у дію засобів пожежогасіння. Ці відстані залежать від ступеня вогнестійкості будівель і споруд, а також пожежної небезпеки виробництва, які в них розташовані.

Для захисту конструкцій із металу, дерева, полімерів застосовують відповідні речовини (штукатурка, спеціальні фарби, лаки, обмазки). Зниження горючості полімерних матеріалів досягається введенням в них наповнювачів, антипіренів, нанесенням вогнезахисних покриттів. Як наповнювачі застосовуються крейда, каолін, графіт, вермикуліт, перліт, керамзит. Антипірени захищають деревину і полімери. При нагріванні вони виділяють негорючі речовини, перешкоджають розкладу деревини і виділенню горючих газів.

Змішуючись з полімерами, вони утворюють однорідну суміш. Після просочування антипіренами дерев'яних конструкцій, тканин та інших горючих матеріалів повинен бути складений акт про проведення роботи підрядною організацією. Після закінчення термінів дії просочування та у разі втрати або

погіршення вогнезахисних властивостей обробку (просочування) треба повторити. Перевірку стану вогнезахисної обробки слід проводити не менше одного разу на рік зі складанням акту перевірки. [18, с. 320]

## ВИСНОВКИ

Основним завданням кваліфікаційної роботи було розроблення ефективного технологічного процесу і вибір раціонального зварювального устаткування для виготовлення і зварювання арматурного кільця, що й було зроблено і описано в основних розділах кваліфікаційної роботи. Зважаючи на значні недоліки існуючого технологічного процесу, а саме використання стикової контактної машини із ручним приводом осадження, та невисоку продуктивність даного способу зварювання, необхідно вибрати більш продуктивний спосіб, який забезпечив би кращі механічні властивості зони з'єднання та технологічність конструкції виробу.

Для виготовлення зварних дротяних кілець вибираємо автомат для виготовлення і зварювання арматурних кілець. Вибраний спосіб дозволяє усунути ряд недоліків, зменшити основний та додатковий час на виготовлення виробу, підвищити продуктивність процесу, зменшити трудомісткість виконання робіт. Впровадження нового технологічного процесу є вигідним з економічної точки зору, адже, при цьому зростає рентабельність та рівень механізації виробництва.

Формування і зварювання кільця відбувається автоматично на автоматі для виготовлення і зварювання кільця, що значно зменшує трудомісткість і цикл зварювання. На автоматі використовують пневматичні затискачі, які мають просту конструкцію, недорогі, забезпечують необхідні зусилля притискання, надійні у роботі.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи був розроблений новий технологічний процес який підвищив продуктивність праці дав можливість зменшити затрати часу на виготовлення виробу та дав достатній економічний ефект.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г.Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989 – 640 с.
- 2 Теория сварочных процессов / Под ред. В.В.Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.
- 3 Кабанов Н.С. Технология стыковой контактной сварки / Кабанов Н.С., Слепак Э.Ш., М.: Машиностроение, 1970 – 246 с.
- 4 Технология и оборудование контактной сварки / Под ред. Б.Д. Орлова – М.: Машиностроение, 1975 – 537 с.
- 5 Кочергин К.А. Контактная сварка / Кочергин К.А. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние. 1987 – 240 с.
- 6 Гельман А.С. Технология контактной электросварки – М.: Машиностроение, 1952 – 324 с.
- 7 Чулошников П.В. Контактная сварка / Чулошников П.В. – М.: Машиностроение, 1987 – 176 с.
- 8 Николаев Г. А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций. / Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. – М.: Высшая школа, 1982 – 272 с.
- 9 Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві .- К.: Арістей, 2005. – 268 с.
- 10 Риськова З. А. Трансформаторы для электрической контактной сварки. – Л.: Энергоатомиздат, 1990 – 424 с.
- 11 Серенко А.Н Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи / Серенко А.Н., Крумбольт М.Н., Багрянський К.В. – К.: Высшая школа, 1977 – 336 с.
- 12 Николаев Г. А. Сварные конструкции. Технология изготовления.

- Автоматизация производства и проектирование сварных конструкций / Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. – М.: Высшая школа, 1977 – 336 с.
- 13 Шпак Р. І. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень: методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломних проектів / Р. І. Шпак. – Тернопіль, 2006 – 29 с.
- 14 Охорона праці в Україні: Організація управління. Нормативно-правове забезпечення. Дозвільна система. Небезпечні фактори і умови праці. Страхування. Відповідальність / Упоряд. А. В. Довбня. – К.: Юрінком Інтер, 2000. – 400 с.
- 15 Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. В. Ц. Жидецький. – Львів, Афіша, 2000 – 352 с.
- 16 Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: навчальний посібник для студентів зварювальних спеціальностей. – К.: Основа, 2010. – 240 с.
- 17 Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е.Я.Юдин, С.В.Белов. - М.: Машиностроение, 1983. - 432 с.
- 18 Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: Підручник / В. Ц. Жидецький, В. С.Джигирей, Мельников О. В. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.



# ДОДАТКИ