

РЕФЕРАТ

ПЗ: 137 с., 13 Рисунок , 11 табл., 4 додатки, 29 джерел

РЕАКТОР, ОБМОТКА ТЕМПЕРАТУРА, ТОК, БАК, БАКЕЛИТОВИЙ ЦИЛИНДР, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ЕКРАН, ТРАНСФОРМАТОРНЕ МАСЛО

Актуальність. Електричний струм в електричній мережі викликає нагрівання її елементів. При проектуванні всі елементи електричного кола вибирають так, щоб вони могли як завгодно довго витримувати дію струму в нормальному режимі. Однак, в разі короткого замикання значення сили струму в мережі значно зростає, що може призвести до руйнувань елементів, спалахів і інших серйозних наслідків. Крім того, зі зростанням сили струму збільшуються електродинамічні сили, що впливають на елементи ланцюга, що так само може привести до їх руйнувань. Виготовляти елементи електричних ланцюгів такими, щоб вони могли довго витримувати струми короткого замикання, недоцільно з економічної точки зору. Швидкість, з якою зростає значення електричного струму в пошкодженому ланцюзі, така, що людина не може встигнути зреагувати належним чином і втрутитися. У зв'язку з цим, практично повсюдно для захисту електричних мереж застосовується автоматичний захист від коротких замикань. Однією з основних є струмова відсічка. Робота захисту на ділянці, що захищається, забезпечується тим, що струм в лінії збільшується з мірою наближення місця пошкодження до джерела живлення. Час спрацювання струмової відсічки складається з часу дії струмового і проміжного реле й становить в межах $0,04 \div 0,06$ с. У більшості конструкцій струмообмежуючі реактори не мають феромагнітних осердь. У нормальному режимі на реакторі спостерігається падіння напруги близько на 3-4%, що цілком допустимо. У разі короткого замикання велика частина напруги припадає на реактор. Відповідно, чим вищим буде реактивний опір, тим менше буде значення максимального ударного струму в мережі.

Актуальність магістерської роботи пояснюється тим, що питання регулювання перетоків реактивної потужності та підтримки допустимого рівня напруги особливо загострилися в останні роки в енергосистемах України для підстанцій напругою 35 кВ і вище в зв'язку зі спадом промислових навантажень і зростанням надлишків реактивно потужності. Ці завдання все важче вирішувати раніше встановленим обладнанням, що підтверджується відповідними роботами різних дослідників та розробників цих пристроїв.

Об'єкт дослідження – тепловий режим роботи струмообмежуючих реакторів в електричних мережах та їх електродинамічні характеристики.

Предмет дослідження – є реактор однофазний масляний з параметрами: номінальна напруга 35 кВ, номінальний струм 90 А, індуктивний опір 15 Ом.

Мета роботи – дослідження можливостей підвищення надійності роботи реактора та визначення доцільності використання схем дешунтування струмообмежуючих реакторів у аварійному режимі, що є дуже актуальним і тісно пов'язаним зі спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Також метою даного магістерської роботи є проектування струмообмежувального реактора, призначеного для включення між нульовим проводом трифазної групи трансформаторів (автотрансформаторів) і контуром заземлення для обмеження струмів однофазного КЗ в розподільчому пристрої 330 кВ.

Метод дослідження - моделювання електромагнітного поля з послідовним його розрахунком на ПЕОМ. Реактор спроектований, виходячи з аналізу існуючих конструкцій і вибору обґрунтованих параметрів.

В результаті розрахунку на основі поєднання теоретичних і чисельних методів, реалізованих на ПЕОМ, розроблена зварна конструкція бака реактора однофазного масляного зовнішньої установки з природною циркуляцією масла.

ЗМІСТ

Завдання	2
Реферат	4
Вступ	8
1 Техніко-економічне обґрунтування вибору конструкції струмообмежувального реактора.....	9
1.1 Огляд існуючих конструкцій	10
1.2 Вибір напрямку розробки конструкції проєктованого реактора	15
1.3 Технічне завдання на розробку	16
2 Розрахунок електроізоляції.....	18
2.1 В повітрі	18
2.2 У трансформаторному маслі	19
2.3 По поверхні в повітрі.....	21
3 Попередній розрахунок обмотки реактора.....	24
4 Розрахунок струморозподілення і опору короткого замикання.....	30
5 Розрахунок магнітного поля	36
6 Електродинамічний розрахунок	38
6.1 Міцність, жорсткість і стійкість обмотки при дії радіальних і дотичних сил.....	38
6.2 Міцність, жорсткість і стійкість обмоток при дії осьових сил	48
7 Розрахунок втрат в обмотці і екранах.....	54
8 Тепловий розрахунок.....	57
8.1 Визначення перевищення середньої температури обмотки над температурою навколишнього повітря.....	57
8.2 Визначення перевищення температури найбільш нагрітої точки над температурою навколишнього повітря	60
8.3 Моделювання теплового розрахунку обмоток струмообмежуючих реакторів з використанням електричних схем заміщення.....	62
9 Економічна ефективність виробництва струмообмежувального Реактора. 35 кВ, 90 А.....	70

10 Охорона праці	87
Висновки	105
Перелік посилань.....	106
Додаток А Машинограмма расчета струморозподілення.....	112
Додаток Б Машинограмма расчета магнитного поля.....	117
Додаток В Машинограмма электродинамического расчета.....	127
Додаток Г Машинограмма расчета потерь	131

ВСТУП

Зростання потужностей споживання електроенергії енергоємним обладнанням підприємств електротехнічної, металургійної, хімічної і гірничодобувної промисловості визначає завдання розробки і модернізацію апаратів, надійно захищають таке обладнання при аварійних режимах. Струми короткого замикання (КЗ) викликають електродинамічні зусилля і термічні перегріву, що призводять до серйозних пошкоджень електротехнічного обладнання, і тому цей струм необхідно обмежувати. Часто на підстанціях металургійної промисловості змінного струму з напівпровідниковими випрямлячами в деяких випадках послідовно з випрямною установкою включають струмообмежуючі реактори.

Напівпровідникові вентилі мають малу перевантажувальну здатність і при великих токах швидко виходять з ладу. Тому при використанні їх необхідно вживати спеціальних заходів для обмеження струму короткого замикання і швидкого відключення випрямної установки від джерела живлення до того, як цей струм досягне значення, небезпечного для вентилів. При короткому замиканні в ланцюзі навантаження і пробі вентилів індуктивність реактора обмежує струм короткого замикання (приблизно в 4-5 разів у порівнянні зі струмом без реактора) і уповільнює швидкість його наростання. В результаті цього за період часу, необхідний для спрацювання захисної апаратури, струм короткого замикання не встигає зрости до небезпечного значення. У струмообмежуючих реакторах іноді застосовують додаткову обмотку, що виконує роль вторинної обмотки трансформатора. При виникненні короткого замикання різко зростає струм, що проходить по основній обмотці реактора, і збільшується магнітний потік індукуює в додатковій обмотці імпульс напруги. Цей імпульс служить сигналом для спрацювання пристрою захисту, що відключає випрямну установку.

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ СТРУМООБМЕЖУВАЛЬНОГО РЕАКТОРА. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ НА ДОСЛІДЖЕННЯ

У сучасних системах електропостачання одним з основних заходів обмеження потужності струму короткого замикання є використання струмообмежуючих реакторів. Струмообмежуючий реактор - електричний апарат, призначений для обмеження ударного струму короткого замикання. Вмикається послідовно в коло, струм якого потрібно обмежувати і працює як індуктивний (реактивний) додатковий опір, який зменшує струм і підтримує напругу в мережі при короткому замиканні (к.з.), що збільшує стійкість генераторів і системи в цілому. При короткому замиканні струм в колі значно зростає в порівнянні з струмом нормального режиму.

У високовольтних мережах струми короткого замикання можуть досягати таких величин, що підібрати установки, які змогли б витримати електродинамічні сили, що виникають внаслідок протікання цих струмів, не представляється можливим. Для обмеження струму короткого замикання застосовують струмообмежуючі реактори, які при к.з. також підтримують на збірних шинах досить високу напругу (за рахунок більшого падіння на самому реакторі), що необхідно для нормальної роботи інших навантажень.

Струмообмежуючі реактори поділяються:

- за місцем установки: зовнішнього застосування і внутрішнього;
- за напругою: середнього (3кВ...35 кВ) і високого (110 кВ...500 кВ);
- за конструктивним виконанням на: бетонні, сухі, масляні і броньові;
- за розташуванню фаз: вертикальне, горизонтальне і ступеневу;
- за виконанням обмоток: одинарні і здвоєні;
- за функціональним призначенням: фідерні, фідерні групові та міжсекційні.

1.1 Огляд існуючих конструкцій струмообмежувальних реакторів

Струмообмежувальний реактор служить для обмеження струмів КЗ в потужних електроустановках, а так само дозволяє підтримувати на шинах підстанції певний рівень напруги при пошкодженнях за реактором. Реактор являє собою індуктивну котушку без сердечника і його індуктивний опір не залежить від струму, що протікає. Допустима втрата напруги в реакторі зазвичай не повинна перевищувати 2%. Реактори мають лінійну ВАХ в широкому межі зміни струму від номінального струму до струму КЗ. Обмотки реактора виконують з багатожильного мідного або алюмінієвого дроту. Конструкції реакторів можна поділити на два види: сухі і масляні.

До теперішнього часу найбільш поширеними були сухі бетонні реактори. Така конструкція являє собою котушку, намотану з багатожильного дроти за допомогою шаблонів. Окремі витки котушки скріплені між собою вертикальними бетонними колонами. Торці колон мають шпильки, за допомогою яких зміцнюються ізолятори.

Для отримання необхідної міцності електричної ізоляції поле затвердіння бетону реактор піддають інтенсивної сушінні під вакуумом. Потім реактор двічі просочується вологостійким ізоляційним лаком.

Між окремими витками в ряду і між рядами витримується значний зазор. Така конструкція покращує охолодження окремих витків реактора і підвищує електричну міцність ізоляції. Як конструктивний ізоляційний матеріал для кріплення обмотки в сухих реакторах використовується бетон, дерево, фарфор різні види сучасних синтетичних матеріалів (поліефірні матеріали епоксидної смоли і ін.) [1].

Характер виконання обмоток сухих реакторів може бути різний, але найбільше застосування знаходять кабельні та дискові обмотки. Кабельні обмотки здійснюються з гнучкого багатожильного оголеного або ізольованого проводу, зазвичай безперервним намотуванням, називаються горизонтальними рядами, ряд за рядом, при цьому з проміжками між проводами як по вертикалі,

так і по горизонталі (з метою кращого охолодження). Для більш високих напруг (20 кВ ... 35 кВ), щоб уникнути розряду між крайніми витками схил обмотки розсувають на великі відстані, тобто виконують рядами. Обмотка з декількох паралельних гілок здійснюється відповідним числом кінців кабелю. Дискові обмотки здійснюються з одного або декількох дисків, розташованих на одній осі і мають вигляд плоских спіралей, виконаних з міді [2].

Сухі реактори використовуються в закритих розподільних пристроях напругою до 35 кВ. Перевагами таких реакторів є простота виготовлення і порівняно невелика вартість. Гідність реакторів типу CLS / CLR є просочення з епоксидної гуми, висока механічна міцність, практично нульова радіальна складова поля і однорідний розподіл аксіальної складової електричного поля між висновками також використовуються алюмінієві зварні конструкції. Недоліками їх є громіздкість, значна маса, а також застосування намоточного кабелю з порівняно великим поперечним перерізом, що призводить до збільшеного витраті намоточного матеріалу. Ескіз сухого бетонного реактора представлений на рисунку 1.1.

При нарузі 35 кВ і вище, а також при установці реакторів на відкритій частині підстанцій застосовують масляні реактори. [1]. Масляний реактор являє собою обмотку, намотану на спеціальний каркас з ізоляційного матеріалу типу гетинакса або бакеліту. Ця обмотка занурена в сталевий бак з трансформаторним маслом. Застосування масла дозволяє зменшити відстань між обмоткою і заземленими частинами і поліпшити охолодження обмотки за рахунок конвекції масла. Все це дає можливість зменшити масу і габаритні розміри. Виводи обмотки реактора приєднуються до клем прохідних ізоляторів (вводів). Ескіз масляного реактора представлений на рисунку 1.2.



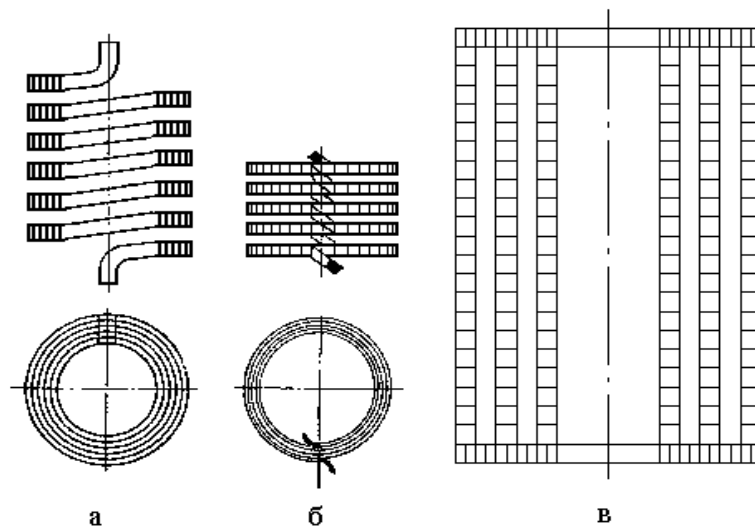
Рисунок 1.1 - Ескіз сухого бетонного реактора



Рисунок 1.2 - Ескіз масляного реактора

Але, така компоновка реактора нашоувхується на великі труднощі. Змінний магнітний потік реактора замикається по баку, що призводить до його нагрівання до неприпустимих температур. Для того щоб уникнути нагріву бака, всередині нього встановлюється короткозамкнута обмотка магнітною - алюмінієвий екран. Короткозамкнений виток збільшує магнітний опір ланцюга і, отже, зменшує магнітний потік, що замикається через бак [1]. Основним елементом конструкції масляного реактора є обмотка. Всі обмотки масляних реакторів за характером намотування можна поділити на такі типи: циліндричні, гвинтові і катушкові.

Ескізи обмоток масляних реакторів наведені на рисунку 1.3. Циліндрична обмотка являє собою обмотку, перетин витка якої складається з одного або декількох паралельних проводів, а витки і всі їхні паралельні дроти розташовані в один ряд без інтервалів на циліндричній поверхні в осьовому напрямку. Застосування такої обмотки в реакторах обмежена через те, що задля забезпечення необхідної індуктивності реактора іноді потрібно обмотка неприпустимо великої висоти. У таких випадках обмотка намотується в кілька шарів, з'єднаних між собою послідовно і ізольованих один від одного масляним каналом, який забезпечується установкою між шарами рейок з електроізоляційного картону.



а - гвинтова обмотка; б - котушкова безперервна обмотка;
в - циліндрична шарова обмотка.

Рисунок 1.3 - Ескізи обмоток масляних реакторів

Гвинтові обмотка являє собою обмотку, витки якої йдуть один за іншим в осьовому напрямку по гвинтовій лінії, а перетин кожного витка утворено перетинами декількох паралельних проводів прямокутного перетину, розташованими в один ряд в радіальному напрямку обмотки [3].

Обмотка, що складається з ряду послідовно з'єднаних котушок, намотаних у вигляді плоских спіралей з одного або більше проводів прямокутного перетину і розташованих в осьовому напрямку обмотки, з радіальними

каналами між всіма або частиною котушок називається катушечной. Якщо катушечна обмотка намотується безперервним або декількома безперервними проводами, вона називається безперервною катушечною обмоткою [4]. Основні властивості і нормальні межі застосування різних типів обмоток приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні властивості і нормальні межі застосування різних типів обмоток

Тип обмотки	Переваги	Недоліки	Межі застосування		
			по струму I, А	по напрузі U, кВ	по пере- тину витка S,мм
Циліндрична багатопшарова	Проста технологія виготовлення, порівняно невелика вартість	Невелика охолоджувальна поверхня в порівнянні з обмотками мають радикальні канали	Від 15 до 1200	10 і 35	Від 5,04 до 400
Гвинтова	Висока механічна міцність, надійна ізоляція, гарне охолодження	Більш висока вартість у порівнянні з циліндричною обмоткою	Від 300 і вище	Від 35	Від 75 й більше
Неперервна катушечна	Висока механічна і електрична міцність, гарне охолодження	Необхідність перекладки котушок під час намотування	Від 15 і вище	Від 3 до 220	Від 5,04 і вище

1.2 Вибір напрямку розробки конструкції проектного реактора

На підставі проведеного огляду існуючих конструкцій реакторів, їх переваг і недоліків, відповідно до завдання на магістерську роботу, а також аналізу тенденцій, що намітилися в електроапаратобудуванні, можна зробити ряд висновків, що стосуються вибору напрямку розробки конструкції реактора.

Так, на даний час для обмеження струмів при несиметричних КЗ в розподільних пристроях АЕС використовують однофазні масляні реактори з природною циркуляцією масла та повітря. У таких реакторах застосування масла дозволяє поліпшити охолодження обмотки за рахунок конвекції масла, а також зменшити ізоляційну відстань між обмоткою і заземленими частинами, що забезпечує зменшення габаритних розмірів реактора.

У струмообмежувальному масляному реакторі найбільш доцільно застосувати котушкову безперервну обмотку. Вибір даного типу обмотки обумовлений високою механічною міцністю, легкістю розподілу витків, відсутністю пайок між котушками, що дозволяє порівняно легко забезпечити заданий індуктивний опір. Обмотки даного типу мають найменшу кількість втрат активної потужності, які викликають нагрівання обмотки. Це дозволяє застосувати провід суцільного прямокутного перерізу, який є найбільш дешевшим, і простим у виготовленні [3]. Через це в роботі для проектування пропонується однофазний масляний реактор з природною циркуляцією масла та повітря, в якому для забезпечення надійності, зручності в експлуатації і зниження матеріаломісткості використовується ряд нових технічних рішень:

- установка циліндричного і горизонтальних алюмінієвих екранів дозволяє зменшити електромагнітні навантаження, підвищити надійність, знизити витрати матеріалів;

- за допомогою алюмінієвого електромагнітного екрану у вигляді циліндра, розташованого на стінці бака без зазорів, осьова складова поля розсіювання обмотки сформована таким чином, що в обмотці виникають

мінімальні напруження розтягу, а зростання зусилля самого екрану передається на сталевий бак;

- за допомогою горизонтальних алюмінієвих екранів у вигляді кіл, розташованих зверху і знизу обмотки, радіальна складова поля розсіювання обмотки сформована таким чином, що в обмотці виникають мінімальні осьові напруги;

- осьова пресування обмотки реактора здійснюється за допомогою нажимної плити і гвинтів, виведених на кришку бака і закритих ковпаками, що дозволяє виробляти осьову подпресовку обмотки за 2-3 години без підйому кришки і при незначному (10-15 л) зливі масла, т. Е . спрощує обслуговування реактора при монтажі і всіх видах ремонту.

1.3 Технічне завдання на розробку та дослідження реактора

Метою розробки та дослідження струмообмежувального реактора, призначеного для включення між нульовим проводом трифазної групи трансформаторів (автотрансформаторів) і контуром заземлення для обмеження струму при несиметричному КЗ в розподільчому пристрої 330 кВ.

Реактор однофазний масляний з природною циркуляцією масла та повітря виконання У категорії 1 по ГОСТ15150-69 [22]. Номінальні параметри даного реактора приведені в таблиці 1.2.

Технічні вимоги до реактора є такими:

- номінальні значення кліматичних факторів за ГОСТ15543-70;
- вимоги до надійності по ГОСТ11677-85 [24];
- коефіцієнт використання матеріалів повинен бути:
- прокат чорних металів - не менше 0.768 ;
- обмотувальний провід - не менше 0.99;
- алюмінієвий прокат - не менше 0.907.

Таблиця 1.2 - Номінальні параметри реактора.

Параметр	Значення
1. Номінальний ток, А	90
2. Найбільший ударний струм КЗ, А	4000
3. Найбільша тривалість КЗ, с	2
4. Індуктивний опір, Ом	15±1,5
5. Випробувальна напруга: повний грозовий імпульс, максимальне значення, кВ	200
6. Клас ізоляції, кВ	35
7. Номінальна частота, Гц	50
8. Вид системи охолодження	М

Коефіцієнт повернення кольорових металів має бути, не менше ніж 0.9.

У конструкції реактора повинен бути передбачений розширювач з плоским скляним мастиловказівника, а також воздухоосушитель, арматура для заливки, відбору проби і зливу масла, пристосування для підйому зібраного реактора.

На реакторі повинні бути встановлені вводи 35 кВ і 10 кВ. Ввід 35 кВ повинен мати наконечник для підключення проводу АС-500.

Бак реактора має бути виготовлений із сталі. Дно повинно мати опорні балки для установки і прикріплення реактора на фундаменті.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

Розрахунковою довжиною ізоляційного проміжку (тобто прийнятої в конструкції апарату) буде більшою зі значень, отриманих при вирахуванні її при напрузі промислової частоти, по грозовим та комутаційним імпульсам. При цьому слід пам'ятати, що при довжині повітряного проміжку більше 300 см його електрична міцність буде залежати не тільки від довжини проміжку, але й від конструкції екранів.

При підвищеному тиску розрядна напруга проміжку $U_{роз}$ в повітрі сильно залежить від характеру поля між електродами. В однорідному полі $U_{роз}$ значно більше, ніж в неоднорідному полі. Напруга $U_{роз}$ в стислому повітрі між двома голками або між голкою і площиною при змінній напрузі, а також при позитивній полярності голки (постійна напруга) завжди нижче, ніж при негативній, і своєрідно залежить від тиску.

2.1 Розрахунок електричної ізоляції в повітрі

При атмосферному тиску розрахунок ізоляційних проміжків в повітрі виконується за прийнятими розрахунковими розрядних напруг [9]

$$U_{роз} = (1.05/1.1) U_{сух}, \quad (2.1)$$

де $U_{сух}$ - випробувальна напруга в сухому стані для $U_{ном}$, дорівнює 10 кВ, згідно з ГОСТ 1516.1-76 [21],

$$U_{роз} = 1.1 * 47 = 51.7 \text{ кВ.}$$

Перевіряємо довжину ізоляційного проміжка (рисунок 2.1) по відповідному значенню $U_{роз}$ згідно з формулою:

$$l_{расч} = 0.285 * U_{роз.} - 2.85, \quad (2.2)$$

$$l_{расч} = 0.285 * 51.72.5 = 11.8 \text{ см.}$$

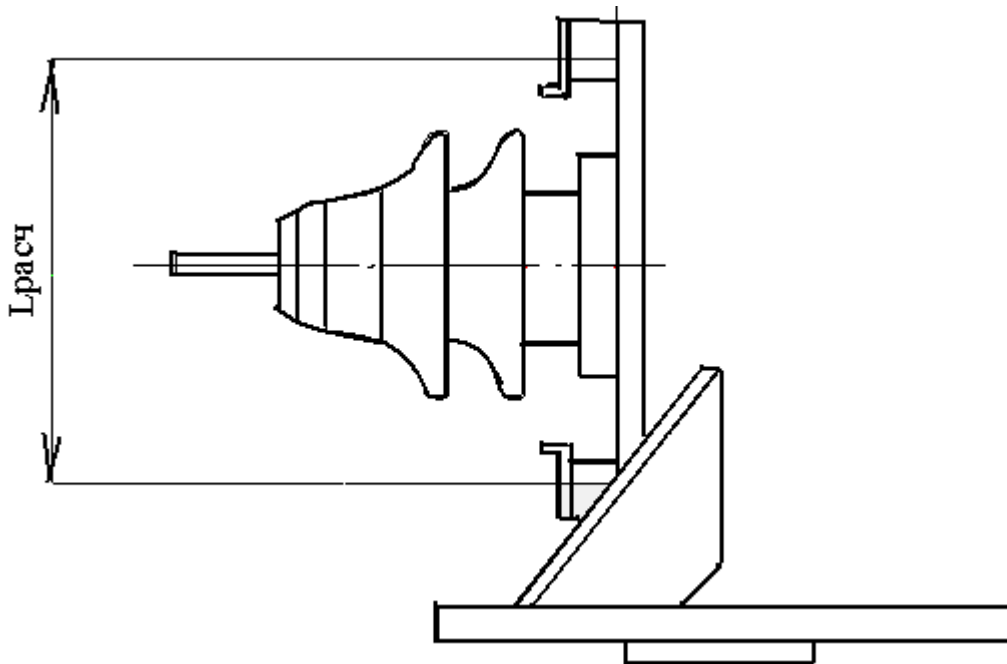


Рисунок 2.1 – Шпилька вывода

Виконується умова $l_{расч} < 330 \text{ мм}$. Отже, конструктивне виконання вибрано правильно.

2.2 Розрахунок електричної ізоляції в трансформаторному маслі

Розрахунок конструктивних ізоляційних проміжків в маслі полягає у визначенні довжини проміжку l по заданій розрахунковій напрузі (2.1), або у визначенні розрахункової напруги для даного проміжку довжиною l . Наведені нижче дані відносяться до технічно чистого масла, розрядна напруга якого в стандартному розряднику становить 35кВ...50 кВ згідно з ГОСТ 6433.1-71 [23]. Міцність масла, певна в стандартному розряднику, сильно впливає на розрядну напругу масла в однорідному полі і слабо - в неоднорідному (голка-площина).

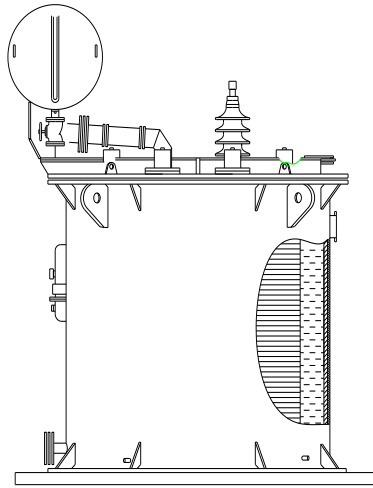


Рисунок 2.2 – Ескіз реактора

При розрахунковому напрузі частоти 50Гц $U_{роз}$ (діюче значення) довжина ізоляційного проміжку l (в сантиметрах) або ж розрахункове напруження при довжині проміжку l визначаються за формулою для проміжку між двома коаксіальними циліндрами:

$$U_{роз} = 7.1(r + 11.7\sqrt{r}) \ln(R/r), \quad (2.3)$$

де r і R – відповідно радіуси внутрішнього та зовнішнього циліндрів, см (рисунок 1.4)

$$U_{роз} = 7.1(57 + 11.7\sqrt{57}) \ln(70/57),$$

$$U_{роз} = 205.179.$$

Отримане значення $U_{роз}$ (205.179) для проміжку 13 см в трансформаторному маслі набагато більше $U_{ном}$ (35кВ), тобто розряд відбуватися не буде і конструктивне виконання задовольняє вимогам електричної міцності.

2.3 Розрахунок електричної ізоляції по поверхні в повітрі

Електричний розрахунок ізолятора проводиться для визначення його активної висоти, числа і розмірів ребер. Активна висота ізолятора визначається нормованим випробувальним напругою зовнішньої ізоляції в сухому стані $U_{\text{сух}}$ і випробувальними напругами грозових $U_{\text{гр}}$ і комутаційних $U_{\text{ном}}$ імпульсів, а активна висота ізоляторів зовнішньої установки, крім того, визначається випробувальним напругою зовнішньої ізоляції під дощем $U_{\text{дож}}$ [9].

При визначенні активної висоти ізолятора $h_{\text{акт}}$ розрахункові розрядні напруги $U_{\text{роз}}$ визначається за формулою (2.1). $U_{\text{сух}} = 110$ кВ, згідно ГОСТ 1516.1-76 [21]

$$U_{\text{роз}} = (1.05/1.1) * 110 = 121 \text{ кВ.}$$

Розрахункова розрядна напруга зовнішньої ізоляції під дощем - за формулою

$$U_{\text{роз.дож}} = K_{\text{зап}} * U_{\text{дож}}, \quad (2.4)$$

де $K_{\text{зап}} = 1.05 - 1.2$;

$$U_{\text{дож}} = 85 \text{ кВ [9]},$$

$$U_{\text{роз.дож}} = 1.2 * 85 = 102 \text{ кВ.}$$

Активна висота ізолятора зовнішньої установки на номінальну напругу 35 кВ включно визначається (в сантиметрах) за формулою:

$$h_{\text{акт}} = 115 - \sqrt{13225 - 50 U_{\text{расч}}} \quad (2.5)$$

$$h_{\text{акт}} = 115 - \sqrt{13225 - 50 * 121}$$

$$h_{\text{акт}} = 30.3 \text{ см.}$$

З метою забезпечення роботи ізолятора під дощем і в умовах підвищеної вологості необхідно спроектувати ребра.

Число ребер для роботи ізолятора в нормальних умовах визначають за формулою

$$N=1.5+0.065U_{ном,35кВ}, \quad (2.6)$$

$$n=3.775 ,$$

Приймається число ребер, що дорівнює 4.

Приймається зовнішній діаметр ізолятора $D = 100\text{мм}$, внутрішній діаметр $d = 40\text{мм}$. Знаходимо допустиме механічне напруження для площі перетину S [9]

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}, \quad (2.7)$$

$$S = 0.0021 \text{ м}^2.$$

Максимальна допустима механічна напруга в перетині $\sigma_{изг}=7.5 \text{ МПа}$.

Визначається момент опору згинанню

$$W = \frac{2 * J}{D}, \quad (2.8)$$

де J - момент інерції, м^4 .

$$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}, \quad (2.9)$$

$$J = 4.8 * 10^{-6} \text{ м}^4 ,$$

$$W = 96 * 10^{-6} \text{ м}^3 .$$

Визначається допустимий складаний момент :

$$(2.10)$$

$$M_{\text{изг}} = \sigma_{\text{изг}} * W ,$$

(2.11)

$$M_{\text{изг}} = 720 \frac{\text{Н}}{\text{М}} .$$

За результатами результатів визначається максимальна допустима сумарна сила:

$$P_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{изг}}}{l_{\text{изол}}} ,$$

де $l_{\text{изол}}$ - висота ізоляції, мм

$$P_{\text{изг}} = 2181 \text{ Н} .$$

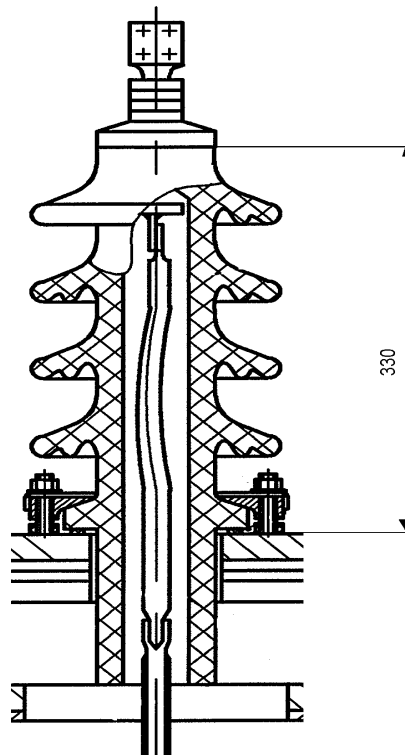


Рисунок 2.3 – Ізолятор

3 ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ОБМОТКИ РЕАКТОРА

Завданням даного розрахунку є вибір геометричних параметрів обмотки таким чином, щоб вона забезпечувала задану індуктивність, а також відповідала всім електричним параметрам, наведеним в таблиці 1.2.

Згідно із заданим індуктивним опором знайдемо індуктивність, яку повинна мати обмотка

$$L_3 = \frac{Z}{2\pi f}, \quad (3.1)$$

де Z - заданий індуктивний опір обмотки, Ом;

f - частота, Гц.

$$L_3 = \frac{15}{2 \cdot 3.14 \cdot 50},$$

$$L_3 = 44.7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Перетин дроту обмотки орієнтовно визначається, виходячи з прийнятої щільності струму при номінальному режимі [5]

$$S = \frac{I}{J}, \quad (3.2)$$

де I - номінальний струм реактора, А;

J - прийнята щільність струму, А/мм².

$$S = \frac{90}{1.1},$$

$$S = 81.8 \text{ мм}^2.$$

Виходячи з отриманого перерізу, а також з огляду на рекомендації [3] вибираємо провід марки ПБ $\frac{5.6 \times 16}{0.96}$, який має перетин 88.47 мм².

Виходячи з прийнятої (котушечной безперервної) форми обмотки, попередньо задаються наступні параметри: внутрішній діаметр, кількість котушок, число витків в кожній котушці й у всій обмотці.

З огляду на рекомендації [2] вибираємо для вищевказаних параметрів числові значення, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Числові значення попередніх параметрів

Параметр	Позначення	Значення
Внутрішній діаметр, мм	$D_{\text{вн}}$	933
Кількість котушок	$n_{\text{к}}$	36
Число витків в котушці Б	$W_{\text{кБ}}$	$9 \frac{30}{32}$
Число витків в котушці В	$W_{\text{кВ}}$	$8 \frac{30}{32}$
Число витків в обмотці	W	356

Також попередньо вибираючи розміри міжкотушкових охолоджувальних каналів, отримуємо попередню схему осьової будови обмотки, яка представлена на рисунку 3.1.

Висота обмотки визначається за формулою

$$h_{\text{эл}} = h_{\text{к}} + h_{\text{охл}}, \quad (3.3)$$

де $h_{\text{к}}$ - сумарна висота всіх котушок, мм;

$h_{\text{охл}}$ - сумарна висота всіх охолоджуючих каналів, мм.

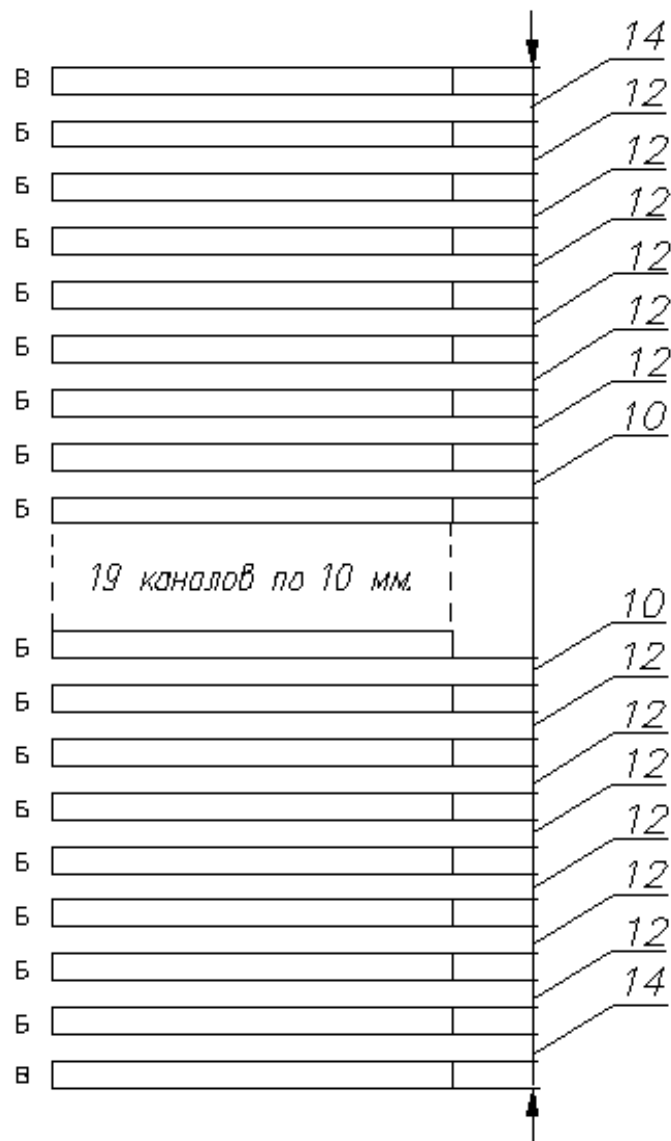


Рисунок 3.1 - Схема осьової будови обмотки

Значення сумарної висоти всіх охолоджуючих каналів визначається з осьового будови обраної конструктивної форми обмотки

$$h_{\text{охл}} = 10 \cdot n_{\text{ок1}} + 12 \cdot n_{\text{ок2}} + 14 \cdot n_{\text{ок3}}, \quad (3.4)$$

де $n_{\text{ок1}}$, $n_{\text{ок2}}$, $n_{\text{ок3}}$ - відповідно кількість охолоджуючих каналів по 10, 12 и 14 мм.

$$h_{\text{охл}} = 10 \cdot 21 + 12 \cdot 12 + 14 \cdot 2,$$

Через те, що провід обмотки намотаний плазом, то сумарна висота всіх котушок розраховується за формулою

$$h_{\text{охл}} = (b_{\text{пр}} + \delta_{\text{из}}) \cdot 36, \quad (3.5)$$

де $b_{\text{пр}}$ - висота мідної жили проводу, мм;

$\delta_{\text{из}}$ - товщина ізоляції на дві сторони проводу, мм.

$$h_{\text{к}} = (16 + 0.96) \cdot 36 = 610.5 \text{ мм.},$$

Підставивши отримані дані в формулу (3.3), отримуємо

$$h_{\text{к}} = 610.5 + 382 = 992.5 \text{ мм.},$$

Так як усадка міжкотушкових прокладок становить 5,2%, а усадка паперової ізоляції проводу - 7,91%, то остаточна висота обмотки 970 мм.

У крайніх котушках "В" для зміцнення відводів вмотан один додатковий виток. Таким чином, котушки "Б" і "В" мають однакову кількість витків, які при розрахунку радіального розміру округляється до найближчого цілого

$$W_{\text{кБ}} = W_{\text{кВ}} = W_{\text{к}} = 10.$$

Тоді радіальний розмір обмотки можна розрахувати за формулою

$$A_{\text{r}} = (a_{\text{пр}} + \delta_{\text{з}}) \cdot W_{\text{к}} \cdot k_{\text{н}}, \quad (3.6)$$

де $a_{\text{пр}}$ - ширина мідної жили проводу, мм;

$k_{\text{н}}$ - коефіцієнт, що враховує нещільність намотування.

$$a_{\text{r}} = (5.6 + 0.96) \cdot 10 \cdot 1.02 = 67 \text{ мм.}$$

Середній діаметр обмотки визначимо за формулою

$$D_{\text{cp}} = D_{\text{вн}} + a_r, \quad (3.7)$$

$$D_{\text{cp}} = 933 + 67 = 1000 \text{ мм.}$$

Знайдемо індуктивність обмотки з отриманими геометричними параметрами

$$L_p = \left(\frac{W}{1000} \right)^2 \cdot \frac{D_{\text{cp}}^2}{h_{\text{эл}}} \cdot K_L, \quad (3.8)$$

де K_L - коефіцієнт, що враховує співвідношення a/D_{cp} и $h_{\text{эл}}/D_{\text{cp}}$ [2]

$$K_L = 0.69.$$

$$L_p = \left(\frac{356}{1000} \right)^2 \cdot \frac{1}{0.97} \cdot 0.69 = 0.092 \text{ Гн.}$$

Так як обмотка даного реактора екранується від зовнішніх електричних полів, що істотно впливає на індуктивність, потрібно розрахувати індуктивність з урахуванням екранування

$$L_{\text{э}} = L_p K_{\text{э}}, \quad (3.9)$$

де $K_{\text{э}}$ - коефіцієнт впливу екрану.

$$K_{\text{э}} = 1 - \frac{S}{S_0}, \quad (3.10)$$

де S - площа, що охоплюється середнім витком обмотки, м^2 ,

S_3 - площа, що охоплюється екраном, м².

$$S = \frac{\pi D_{cp}^2}{4}, \quad (3.11)$$

$$S = \frac{3.14 \cdot 1}{4} = 0.785 \text{ м}^2,$$

$$S = \frac{\pi D_3^2}{4}, \quad (3.12)$$

де D_3 - діаметр екрану, м;

$$S = \frac{3.14 \cdot 1.408^2}{4} = 1.556 \text{ м}^2.$$

Підставивши отримані значення S_e і S в формулу (3.10), отримуємо значення коефіцієнта впливу екрану

$$K = 1 \frac{0.785}{1.556} = 0.495,$$

тоді

$$L_3 = 0.092 \cdot 4.495 = 45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Отримане значення індуктивності трохи вище заданого, але може бути прийнято, так як за технічним завданням допускається відхилення від номіналу%, а значить можна зупинитися на обраній формі обмотки [6].

У подальших розрахунках дана обмотка перевіряється на нагрів номінальним струмом, на динамічну і термічну стійкість при струмі короткого замикання.

4 РОЗРАХУНОК СТРУМОРОЗПОДІЛУ ТА ОПОРУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Розрахунок струморозподілу та опору короткого замикання проводиться за методикою розробленою в [25,26,27]. В аварійних режимах струми короткого замикання (КЗ), як правило, досягають високих значень, при яких процес відключення електричних установок пов'язаний зі значними труднощами. Токи КЗ викликають електродинамічні зусилля і термічні перегріву, що призводять до пошкодження устаткування. Для його захисту в цілях обмеження струму застосовується струмообмежувальний реактор. Другою функцією реактора є підтримка в момент КЗ необхідного рівня напруги для непошкоджених електроустановок.

Завдяки лінійним вольт-амперних характеристикам і простій конструкції найбільшого поширення набули сухі реактори без стали. Найбільш поширеними типами реакторів в українській промисловості є бетонні реактори і реактори збірної конструкції. Вони виробляються з кабельного провідника. Їх недоліком є низька динамічна стійкість. На теперішній час широке застосування отримали провідники з алюмінієвої стрічки, яка забезпечує більшу динамічну стійкість і є більш технологічною з точки зору виготовлення обмоток.

Ці залежності будуються в ході серії чисельних розрахунків магнітного поля за методикою, описаною в [1, 2]. При цьому варіюються радіуси магнітопов'язаних контурів і відстані між ними. Результати чисельного експерименту апроксимуються багатовимірними сплайнами, що поставляються математичним пакетом MatLab. Для розрахунку індуктивності реактора відповідно до методики, викладеної в [25,26,27], кожна котушка реактора розбивається на розрахункові секції. Будується схема заміщення, яка розраховується методом контурних струмів.

Як варійованих параметрів використовується: число витків обмотки, товщина мідного дроту осьова довжина обмотки реактора, внутрішній діаметр обмотки, кількість концентров, ширина каналу між концентрами.

Дослідження та система проектування були використані авторами, які проводили випробування дослідних зразків струмообмежуючих реакторів. Точність перевірочних розрахунків була оцінена при випробуванні дослідного зразка реактора. Отримано задовільний для технічних завдань збіг результатів, що свідчить про адекватність розробленого математичного забезпечення.

Екрани й обмотка розбиті на окремі концентри, що містять в залежності від будови концентрації від 2 до 38 котушок. В даному випадку обмотка виконується розділеної на концентри, т. Е. Частини, розташовані концентрично одна всередині іншої.

Концентри з номерами I-V, VII мають по 2 котушки, концентр VI-38 котушок (2, які стосуються екрану, 36 - до обмотці), концентр VIII-10 котушок. Концентри пронумеровані римськими цифрами. Нумерація концентров в бік збільшення від осі обмотки.

Концентри розбиті на зони. Зони пронумеровані арабськими цифрами. Нумерація зони наскрізна по всьому концентр зверху вниз.

Розрахунок струморозподілення в зонах виконаний для напруги на обмотці 1 кВ.

Алгоритм розрахунку наводиться нижче.

Обмотку розбиту на зони, можна представити у вигляді з'єднання магнітно-пов'язаних між собою індуктивних опорів. Позначимо падіння напруги на реакторі через ΔU . Складемо систему рівнянь для комплексних струмів кожного з проводів окремо встановленого реактора

$$\Delta \dot{U} = \dot{I}_1 R_1 + j\omega \sum_{i=1}^p \dot{I}_1 M_{1i} = \dot{I}_2 R_2 + j\omega \sum_{i=1}^p \dot{I}_1 R_{2i} = \dots = \dot{I}_p R_p + j\omega \sum_{i=1}^p \dot{I}_1 R_{pi}, \quad (4.1)$$

де R_i - активний опір i -го проводу;

M_{ki} - взаємна індуктивність між k -м и i -м проводами.

Рішення системи (4.1) щодо струмів дає

$$\dot{I} = \Delta \dot{U} \frac{\dot{D}_i}{\dot{D}}, \quad (4.2)$$

де \dot{D} - головний визначник системи(4.1)

$$\dot{D} = \begin{vmatrix} R_1 + j\omega M_{11} & j\omega M_{12} & j\omega M_{13} & \dots & j\omega M_{1p} \\ j\omega M_{21} & R_2 + j\omega M_{22} & j\omega M_{23} & \dots & j\omega M_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ j\omega M_{p1} & j\omega M_{p2} & j\omega M_{p3} & \dots & R_p + j\omega M_{pp} \end{vmatrix}, \quad (4.3)$$

де \dot{D}_i - визначник, в якому i -й стовпець замінений одиницями.

Загальний комплексний струм реактора

$$\dot{I} = \sum_{i=1}^p \dot{I}_i = \Delta \dot{U} \frac{\sum_{i=1}^p \dot{D}_i}{\dot{D}}. \quad (4.4)$$

Розділивши (4.2) на (4.4), можна висловити комплексний струм в проводі в залежності від загального комплексного струму реактора

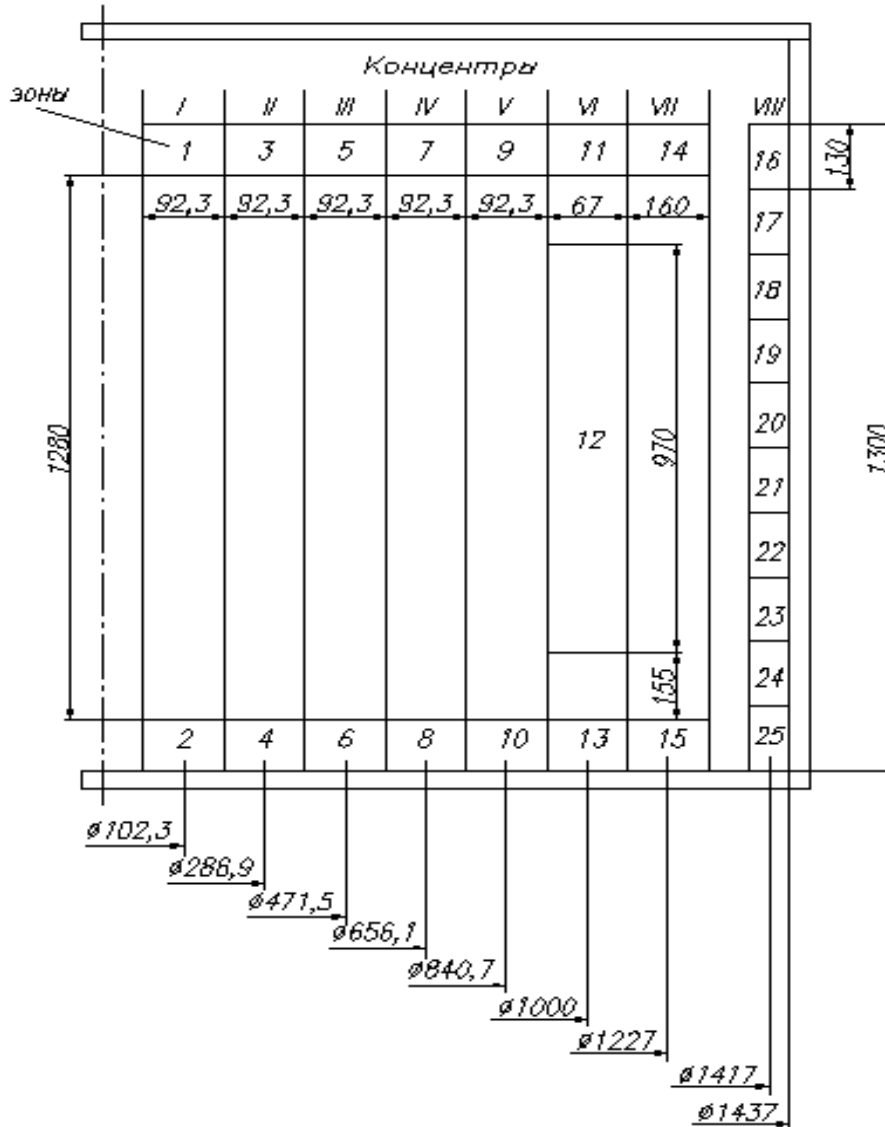


Рисунок 4.1 - Схема розподілення електромагнітних екранів та обмотки реактора на концентри і зони

$$\dot{I}_i = \dot{I} \frac{\dot{D}_i}{\sum_{i=1}^p \dot{D}_i} . \quad (4.5)$$

Комплексне опір обмотки реактора визначається по (3.4)

$$Z = \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{I}} = \frac{\dot{D}_i}{\sum_{i=1}^p \dot{D}_i} . \quad (4.6)$$

Згідно (4.5) струми в проводах дорівнюватимуть за умови

$$\dot{D}_1 = \dot{D}_2 = \dots = \dot{D}_p .$$

Можна легко показати, що ця умова виконується при

$$R_1 = R_2 = \dots = R_p = R , \quad (4.7)$$

$$\sum_{k=1}^p M_{k1} = \sum_{k=2}^p M_{k2} = \sum_{k=1}^p M_{k3} = \dots = \sum_{k=1}^p M_{kp} . \quad (4.8)$$

Рівняння (4.7) і (4.8) виражають умови рівномірного струморозподілення. Еквівалентна індуктивність проводу - це сума власної індуктивності дроту і взаємної індуктивності між ним і всієї обмоткою

$$L_{zi} = \sum_{i=1}^p M_{ki} . \quad (4.8a)$$

Еквівалентний індуктивний опір проводу має значення

$$X_{zi} = \omega L_{zi} .$$

Тоді умову (4.8) можна представити у вигляді

$$L_{z1} = L_{z2} = L_{z3} = \dots = L_{zp} = L_z . \quad (4.9)$$

При дотриманні умов рівномірного струморозподілення (4.7) і (4.9) комплексні опору проводів однакові і рівні

$$Z = R + jX_z .$$

Комплексний опір обмотки реактору дорівнює

$$Z = \frac{R + jx_s}{p}$$

Комплексний струм в проводі [2]

$$\dot{I}_i = \frac{\dot{I}}{p}$$

Значення струмів і опору використовуються в подальших розрахунках магнітного поля, динамічної стійкості і додаткових втрат в обмотці і екранах.

Результати розрахунку наведені в додатку А «Расчет токораспределения и сопротивления К.З», таблиця А.7.

5 РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО ПОЛЯ РЕАКТОРА

Розрахунок магнітного поля реакторів заснований на використанні ряду фундаментальних понять, які характеризують електромагнітне поле і властивості середовища в кожній точці, а також інтегральні параметри поля в певних областях простору. При цьому система рівнянь для векторних параметрів поля в диференціальній формі набуває вигляду [7]

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{J}, \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{d\mathbf{B}}{dt}, \\ \operatorname{div} \mathbf{B} = 0, \\ \mathbf{B} = \mu_a \mathbf{H}, \\ \mathbf{J} = \frac{\mathbf{E}}{\rho}, \\ \operatorname{div} \mathbf{J} = 0, \end{array} \right. \quad (5.1)$$

де \mathbf{J} - щільність електричного струму, А/м²;

\mathbf{H} - напруженість магнітного поля, А/м;

\mathbf{B} - магнітна індукція, Тл;

\mathbf{E} - напруженість електричного поля, В/м;

ρ - питомий електричний опір, Ом м;

μ_a - магнітна проникність.

При однаковій магнітній проникності всіх точок простору магнітне поле заданої системи струмів може бути обчислено інтеграцією системи (5.1). Такий розрахунок прийнятний тільки при використанні дуже потужної обчислювальної техніки через те, що інтегрування проводиться чисельними методами.

В результаті, напруженість магнітного поля в місці n -го витка

$$H_n = IW \cdot \frac{1}{h} \cdot v_n, \quad (5.2)$$

де I - струм в обмотці, А;

W - число витків в обмотці;

h - висота обмотки, мм;

v_n - коефіцієнт, що залежить від відносин $a / D_{\text{ср}}$ і $h / D_{\text{ср}}$, а також від місця розташування n -го витка в обмотці [2].

Результати розрахунку магнітного поля обмотки реактора проведено за допомогою обчислювальної техніки. Лістинг вихідних даних і результатів розрахунку наведено в додатку Б.

Отримані значення індукції в результаті даного розрахунку, використовуються в подальших розрахунках електродинамічних зусиль в обмотці. Результати розрахунку наведені в додатку Б «Расчет магнитного поля в обмотках трансформатора», таблиці Б.12., Б 13, Б.14.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТОРА

6.1 Міцність, жорсткість і стійкість обмотки при дії радіальних і дотичних сил

Цей розрахунок складається з визначення механічних напружень і переміщень від радіальних сил, критичних напружень радіальної стійкості, необхідної і найбільш ефективної товщини стінки жорсткого циліндра, необхідних сил осьової пресування. За результатами розрахунків виробляються перевірки міцності і жорсткості розтягнення та стискання обмоток, радіальної стійкості обмоток [8].

6.1.1 Визначення середніх напруг

Середні напруги розтягнення або стискання від радіальних електромагнітних сил обчислюються за формулою

$$\sigma_{\text{срj}} = \left| \frac{K_{\text{уд}}^2 B_{\text{уд}k} i_k D_j}{\sqrt{2} \cdot 10^3 b_j h_j} \right|, \quad (6.1)$$

де $K_{\text{уд}}$ - ударний коефіцієнт струму короткого замикання;

B_{yj} - середнє (по висоті, радіальному розміру і кола) значення осьової складової індукції j-ої зони при сталому струмі КЗ, Тл;

i_k - ток елементарного провідника при сталому струмі КЗ обмотки, А;

D_j - середній діаметр j-ої зони, мм;

b_j - радіальний розмір (товщина) провідників j-ої зони, мм;

h_j - осьової розмір (висота) провідників j-ої зони, мм.

При наявності каналів тільки між обмоткою і жорстким циліндром, зовнішнім концентром вважається сама обмотка.

У цьому випадку середня напруга зовнішнього концентрації дорівнює середньому напрузі обмотки

$$\sigma_{\text{срj}} = \sigma_{\text{pj}}. \quad (6.2)$$

6.1.2 Перевірка міцності обмотки реактора

Обмотка має достатню міцність, якщо для коефіцієнтів запасу міцності виконуються умови

$$K_{\text{mj}} = \frac{\sigma_{02}}{\sigma_{\text{срj}}} \geq 1, \quad (6.3)$$

де σ_{02} - умовний межа плинності матеріалу провідників, МПа [10].

6.1.3 Перевірка жорсткості

Радіальне переміщення розраховується за формулою

$$U_j = \frac{1}{2} D_j \varepsilon_{\text{окj}}, \quad (6.4)$$

де $\varepsilon_{\text{окj}}$ - окружна деформація провідників [10].

За значеннями радіальних переміщень встановлюють їх допустимість з точки зору забезпечення електричної міцності або інших конструктивних міркувань.

Далі для провідників визначається максимальна гнучкість (λ_{1j}), мінімальна гнучкість (λ_{2j}), загальна гнучкість (λ_{3j}) за формулами

$$\lambda_{1j} = \frac{4\sqrt{3}}{m_n k_j}, \quad (6.5)$$

$$\lambda_{2j} = \frac{1}{2} \lambda_{1j}, \quad (6.6)$$

$$\lambda_{3j} = \frac{\sqrt{3}}{i_{1j} k_j}, \quad (6.7)$$

де m_n - число стовпців прокладок;

i_{1j} - число елементарних провідників в радіальному напрямку витків або котушок j -ої зони [10];

k_j – геометричний параметр гнучкості.

Наведена висота жорсткого циліндра

$$h_{ц} = \frac{H_{ц}}{C_{ц}}, \quad (6.8)$$

де $H_{ц}$ - висота жорсткого циліндра, мм;

$C_{ц}$ - загальне число елементарних провідників в обмотці

$$C_{ц} = \sum_{i=1}^N n_{j^3j} I_{pj} I_{oj}, \quad (6.9)$$

де N - число зон в обмотці;

n_{j^3j} - число витків або котушок в j -ій зоні;

I_{oj} - число проводів в осьовому напрямку витків або котушок j -ої зони.

Додаткові напруги обумовлені наявністю жорсткого циліндра, при нижчій формі втрати стійкості і при спільній роботі провідників обчислюються за наступними формулами

$$\sigma_{1цj} = \frac{E_{ц} h_{цj}}{\lambda_{1j}^2 h_j} \left(\frac{\delta_{ц}}{k_j R_{ц}} \right)^3, \quad (6.10)$$

$$\sigma_{3цj} = \sigma_{1цj} \left(\frac{\lambda_{1j}}{\lambda_{3j}} \right)^2 \frac{0.75}{i_{1j}^2}, \quad (6.11)$$

де $E_{ц}$ - модуль пружності жорсткого циліндра, $E_{ц}=1.0 \cdot 10^4$ МПа,

$\delta_{ц}$ – товщина стінки жорсткого циліндра, мм;

$R_{ц}$ - середній радіус жорсткого циліндра, мм.

Повні напруги при нижчій формі втрати стійкості і при спільній роботі провідників визначаються за формулами

$$\sigma_{1cj} = \sigma_{10j} + \sigma_{1цj}, \quad (6.12)$$

$$\sigma_{3cj} = \sigma_{30j} + \sigma_{3цj}. \quad (6.13)$$

$$\sigma_{крj} = \min \{ \sigma_{1cj}; \sigma_{20j}; \sigma_{3cj} \}. \quad (6.14)$$

Критичне напруження витків або котушок одно меншому, з трьох напруг: повної напруги при нижчій формі втрати стійкості; критичної напруги при вищій формі втрати стійкості; повної напруги при спільній роботі провідників [2]

$$K_{yj} = \frac{\sigma_{крj}}{1.2 \sigma_{срj}} \geq 1. \quad (6.15)$$

Обмотка стійка,

якщо для коефіцієнта запасу стійкості виконується умова

$$\sigma_{цн} = \max \{ \sigma_{ц1j}; \sigma_{ц3j} \}. \quad (6.16)$$

Необхідна товщина

стінки дорівнює найбільшому з її значень

$$\delta_{\pi} = \max\{\delta_{\pi 1j}; \delta_{\pi 3j}\}. \quad (6.17)$$

Товщина стінки жорсткого циліндра не повинна перевищувати найбільшої ефективної товщини, яка дорівнює більшій з її значень

Коефіцієнт обпирання, що залежить від жорсткості концентров, числа і жорсткості елементів, що утворюють канал між ними, для кожної зони повинен відповідати умові

$$K_{oj} = \frac{\sigma_{2oj}}{\sigma_{cpj}} - \frac{4\pi \cdot 10^5 E_{\text{пр}j} i_{2j} b_j}{D_j m_p B} \left(\frac{\Delta_j}{E_{uj}} + \frac{\Delta}{E_{cp}} \right) \cdot \frac{i_{1j} - i_{2j}}{i_{1j}} \left(1 + \frac{i_{1j} - i_{2j}}{i_{1j}} - \frac{\sigma_{20j}}{\sigma_{cpj}} \right) \geq 1, \quad (6.18)$$

де $E_{\text{пр}j}$ - наведений модуль пружності провідників;

i_{2j} - число елементарних провідників в радіальному напрямку зовнішнього концентрації j-ой зони;

B - ширина прошивальних рейок, що утворюють осьовий канал, мм;

Δ - радіальний розмір прошивальних рейок, що утворюють осьовий канал, мм;

E_{uj} - модуль пружності ізоляції проводів j-ой зони, МПа;

E_{pc} - модуль пружності при стисканні прошивальних рейок, МПа.

6.1.4 Визначення необхідної сили осьової пресування

Для стискаються в радіальному напрямку котушкові обмоток сила осьової пресування, необхідна для забезпечення стійкості до дії радіальних сил, визначається наступним чином

$$P_{1\pi j} = \pi^2 \cdot 10^{-5} \frac{\sigma_{1oj} b_j h_j i_{\pi j} D_j I_{\pi j} I_{oj}}{0.3 a_{\pi}}, \quad (6.19)$$

де a_{π} - ширина прокладок, мм.

Для розтягваних в радіальному напрямку котушкові обмоток сила осьової пресування, необхідна для забезпечення стійкості до дії радіальних сил, дорівнює нулю.

Сила осьової пресування, необхідна для забезпечення стійкості до дії дотичних сил дорівнює

$$P_{2н} = \left| \sum_{j=1}^{\frac{N}{2}} \frac{\sqrt{2} K_{уд}^2 B_{xj} i_{ко} H_j}{0.3 \cdot 10^6} \right|, \quad (6.20)$$

де B_{xj} - середнє по висоті, радіальному розміру і окружності значення радіальної складової індукції j -ої зони при сталому струмі КЗ;

$i_{ко}$ - сталий струм КЗ обмотки, А;

H_j - висота зони, мм.

Необхідна сила осьової пресування (P_n) дорівнює більшій з осьових сил, знайдених за умовами забезпечення стійкості до дії радіальних і дотичних сил ($P_{1нj}$, $P_{2н}$) і граничних сил осьової пресування ($P_{3нj}$), які обчислюють за формулою

$$P_{3нj} = 2 \cdot 10^{-3} m_n a_n b_{mj}, \quad (6.21)$$

де

$$b_{mj} = B_j i_{1j}. \quad (6.22)$$

Таким чином, необхідна сила осьової пресування обмотки дорівнює

$$P_n = \max \{P_{1нj}; P_{2н}; P_{3нj}\}. \quad (6.23)$$

Результати розрахунку зроблені в додатку В «Расчет электродинамической стойкости реактора», таблиця В.9.

6.2 Міцність, жорсткість і стійкість обмоток при дії осьових сил

У розрахунку обмоток на міцність, жорсткість і стійкість при дії осьових сил визначаються осьові критичні сили вилягання провідників, найбільші напруги згибу в провідниках від осьових електромагнітних сил, осьові переміщення, зусилля напруги в обмотках, а також сили, що діють на пресуючу конструкцію. За знайденими результатами здійснюють перевірки міцності провідників при вигині, забезпечення стійкості обмоток до дії радіальних і дотичних сил, міцності при стисненні в осьовому напрямку, жорсткості і стійкості до вилягання провідників. При перевірці забезпечення сил визначають достатні сили осьової пресування [8].

6.2.1 Визначення осьових критичних сил вигинання провідників

Розрахунок складових осьової критичної сили вигинання провідників виконується наступним чином:

Визначаються вихідні значення наведеної товщини провідника

$$b'_{ij} = b_j - 2r_j, \quad (6.24)$$

де r_j - радіус заокруглення кутів перетину провідників [10].

Розраховується осьова сила необхідна для подолання опору вилягання самих провідників

$$P_{ij} = \frac{\pi b_j h_j^2 E i_{ij}}{3D_j}, \quad (6.25)$$

де E - модуль пружності матеріалу провідників, рівний $1.0 \cdot 10^5$ МПа.

Для катушкови обмоток зі звичайних проводів визначається осьова сила, необхідна для подолання опору вигинання внаслідок деформації головок прошивальних рейок за формулою

$$P_{2j} = \frac{2b_p \delta_p^3 E_{pu} m_i}{h_j (h_j + \Delta_j + \Delta_{oj})}, \quad (6.26)$$

де b_p - ширина головки прошивочно рейки, мм [10];

δ_p - товщина головки прошивочно рейки, мм;

E_{pu} - модуль пружності прошивочно рейки при вигині, який дорівнює $5.5 \cdot 10^3$ МПа;

Δ_{oj} - товщина загальної паперової ізоляції катушок j -й зони, мм.

Розрахунок осьового критичної напруги вилягання провідників виконується методом послідовних наближень.

Початкове значення осьового критичної напруги вилягання провідників визначається по формулі

$$\sigma_{1j} = \frac{P_{1j} + P_{12j}}{a_i m_i b'_{1j} i_{1j}}. \quad (6.27)$$

Надалі на кожному кроці наближення (n) розрахунок ведуть в такій послідовності:

1) визначаються модулі пружності картонних прокладок і паперової ізоляції проводів за формулами

$$E_{nj}^k = E_{ok} + k_k \sigma_{nj}, \quad (6.28)$$

$$E_{nj}^\delta = E_{o\delta} + k_\delta \sigma_{nj},$$

де E_{ok} - вихідний модуль пружності картонних прокладок, МПа;

$k_{ок}$ - кутовий коефіцієнт для механічної характеристики картонних прокладок [10].

2) обчислюється податливість стовпа прокладок в радіальному каналі і контактує з ним паперової ізоляції

$$D_{nj}^* = \frac{d_j}{E_{nj}^e} + \frac{\Delta_j + \Delta_{oj}}{E_{nj}^\delta}, \quad (6.29)$$

де d_j - середня висота радіальних каналів j -ї зони, мм.

3) розраховується деформація стиснення стовпа прокладок в радіальному каналі і контактує з ним паперової ізоляції по формулі

$$\delta_{nj} = \frac{1}{2} \sigma_{nj} D_{nj}^*. \quad (6.30)$$

4) визначається ширина площі контакту паперової ізоляції з прокладками в області заокруглення перетину провідника

$$r_{nj} = \sqrt{\left(r_j + \frac{1}{2} \Delta_j + \frac{1}{2} \Delta_{oj}\right)^2 - \left(r_j + \frac{1}{2} \Delta_j + \frac{1}{2} \Delta_{oj} - \delta_{nj}\right)^2}. \quad (6.31)$$

5) обчислюється наступне значення наведеної товщини провідника

$$b'_{n+1j} = b_j - 2r_j + 1.5r_{nj}, \text{ если } r_{nj} \leq r_j;$$

$$b'_{n+1j} = b_j - 0.5r_j, \text{ если } r_j < r_{nj}.$$

б) розраховується геометричні параметри, що характеризують ступінь вдавнення провідників в паперову ізоляцію за формулами

$$A_{nj}^* = r_{nj} - \frac{1}{2}(b_j - 2r_j); \quad (6.32)$$

$$B_{nj}^* = \frac{1}{2} \Delta_j + 2r_j - \delta_{nj}; \quad (6.33)$$

$$C_{nj}^* = B_{nj}^* - \frac{1}{2} (b_j - 2r_j) \frac{r_{nj}}{r_j}. \quad (6.34)$$

7) визначається кут, що характеризує ступінь вдавнення провідників в паперову ізоляцію в радіанах за формулою

$$\Theta_{nj}^* = \arctg \frac{A_{nj}^*}{B_{nj}^*} + \arccos \frac{C_{nj}^*}{\sqrt{A_{nj}^{*2} + B_{nj}^{*2}}}. \quad (6.35)$$

8) обчислюється геометричний коефіцієнт жорсткості, що характеризує опір вилягання внаслідок пружних відсіч паперової ізоляції і стовпів прокладок

$$\alpha_{nj} = \frac{8}{b'_{n+1j} h_1} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} b_j - r_i \right)^3 + \Theta_{nj}^* r_j \left[3r_j^2 + \frac{1}{2} b_j \left(\frac{1}{2} b_j - 2r_j \right) \right] + \\ + 2r_j^2 \left[\left(\frac{1}{2} b_j - r_j \right) (1 - \cos \Theta_{nj}^*) - r_j \sin \Theta_{nj}^* \right] \end{array} \right\}. \quad (6.36)$$

9) розраховується осьове напруження, необхідне для подолання опору вилягання внаслідок пружних відсіч паперової ізоляції і стовпів прокладок

$$\sigma'_{5nj} = \frac{\alpha_{nj}}{D_{nj}^*}. \quad (6.37)$$

10) визначається осьовий критичне напруження вилягання за формулою

$$\sigma_{n+1j} = \frac{b'_{nj}}{b'_{n+1j}} \sigma_{nj} + \sigma'_{5nj}. \quad (6.38)$$

Розрахунок повторюється до виконання умови

$$\left| \frac{\sigma_{n+1j} - \sigma_{nj}}{\sigma_{nj\min}} \right| \leq 0.05, \quad (6.39)$$

де $\sigma_{n j m}$ - менше з двох значень осьового критичної напруги вилягання провідників на останньому і попередньому кроці наближення.

Далі розраховується осьова критична сила вилягання провідників

$$P_{крj} = 1.0 \cdot 10^{-3} \sigma_{n+1j} b'_{n+1j} a_n m_n i_{1j}. \quad (6.40)$$

Стискають осьові сили, що діють на обмотки при короткому замиканні і в процесі виготовлення, не повинні перевищувати осьових критичних сил полягання провідників.

6.2.3 Розрахунок провідників на вигин

Найбільші напруги згибу в провідниках обчислюються за формулою

$$\sigma_{uj\max} = \left| \frac{\pi^2 K_{уд}^2 B_{xy} i_k D_j^2}{\sqrt{2} \cdot 10^3 m_n^2 b_j h_j^2} \right|. \quad (6.41)$$

Провідники мають достатню міцність при вигині, якщо для коефіцієнтів запасу міцності при вигині виконуються умови

$$K_{uj} = \frac{\sigma_{02}}{\sigma_{uj\max}} \geq 1, \quad (6.42)$$

де σ_{02} - умовний межа плинності матеріалу провідників [10].

6.2.4 Визначення осьових переміщень, зусиль і напружень

Розміри стрижнів в окружному напрямку обмотки визначаються наступним чином

$$a_{i3} = a_{ni3}, \quad (6.43)$$

де i_3 - номер обмотки під даним пресуючим кільцем в порядку проходження від внутрішньої циліндричної поверхні пресує кільця в радіальному напрямку [10].

Середні відстані між осями стрижнів в радіальному напрямку обчислюються за формулою

$$e_{i3j} = b_{i3j} + \frac{1}{i_{xi3j}} \left[\Delta_{i3j} + 0.48(i_{xi3j} - 1) \right]. \quad (6.44)$$

Радіальні розміри стрижнів, еквівалентних паперової ізоляції, розраховуються за формулою

$$\bar{b}_{i3j} = b_{i3j} - 0.5r_{i3j}. \quad (6.45)$$

Радіальні розміри стрижнів, еквівалентних стовпів прокладок в радіальних каналах обчислюються за формулою

$$S_{i3j} = \frac{e_{i3j}}{1 + 4\psi_{i3j}}, \quad (6.46)$$

де ψ_{i3j} - радіальні розміри стрижнів, еквівалентних стовпів прокладок в радіальних каналах обчислюють за формулою [10].

Наведені електромагнітні сили визначаються в такій послідовності:

1) обчислюються осьові електромагнітні сили, що діють на витки або котушки зон, за формулою

$$F_{i3j} = \pi\sqrt{2} \cdot 10^{-6} i_{i3j} n_{i3j} B_{xi3j} i_{ki3} D_{i3j}, \quad (6.47)$$

де i_{i3j} - загальне число елементарних провідників в витку або котушці j -ої зони;

D_{i3j} - піддатливості ізоляційних матеріалів під пресуючим кільцем.

2) розраховуються наведені електромагнітні сили для кожної власної осьової частоти коливання обмотки

$$\bar{H}_k = \sum_{i3=1}^2 \sum_{j=1}^{N_{i3}} \frac{F_{i3j}}{\sin \chi_{i3} \nu_k} \sin \left[\chi_{i3} \nu_k \left(1 - \frac{x_{i3j}}{\bar{H}_0} \right) \right], \quad (6.48)$$

де x_{i3j} - осьова координата середини j -ої зони, відраховується від нижнього торця пресує кільця, мм;

\bar{H}_0 - висота обмоток з урахуванням кінцевої ізоляції, мм;

ν_k - власні кругові частоти осьових коливань обмотки, Гц.

Осьові переміщення пресує кільця і середин зон обмоток визначаються за формулами [10]

$$U(t) = \sum_{k=1}^{\bar{N}} \frac{\bar{H}_k \cdot 10^6 \cdot \phi_k(t)}{\nu_k \mu_k}; \quad (6.49)$$

$$U_{i3j}(t) = \sum_{k=1}^{\bar{N}} \frac{\bar{H}_k \cdot 10^6 \cdot \phi_k(t)}{\nu_k \mu_k \sin \chi_{i3} \nu_k} \sin \left[\chi_{i3} \nu_k \left(1 - \frac{x_{i3j}}{\bar{H}_0} \right) \right]. \quad (6.50)$$

Силу, що діє на пресуючу конструкцію, і осьові зусилля в зонах обмоток розраховується за формулами

$$P_{\hat{a}}(t) = \sum_{i3=1}^2 P_{0i3} - C \cdot 10^{-6} U(t); \quad (6.51)$$

$$N_{0i3j} = P_{0i3} + \sum_{k=1}^{\bar{N}} \frac{\bar{H}_k \chi_{i3} \cdot 10^3 \phi_k(t)}{\gamma_{i3} \mu_k \sin \chi_{i3} \nu_k} \cos \left[\chi_{i3} \nu_k \left(1 - \frac{x_{i3j}}{\bar{H}_0} \right) \right], \quad (6.52)$$

де на першому етапі значення сил осьової пресування (P_{0i3}) приймається рівними за необхідне силам осьової пресування.

6.2.5 Перевірка міцності, жорсткості і стійкості

Стійкість до дії радіальних і дотичних сил забезпечується, якщо для збільшень сили осьової пресування і сили, що діє на пресуючу конструкцію, виконуються умови

$$P_{ni3} = \frac{1}{4} P_{Hi3} (1 + e^{-\alpha t})^2 - N_{0i3j}(t) \leq 0, \quad (6.53)$$

$$P_{\bar{v}}(t) \geq 0, \quad (6.54)$$

де значення необхідної сили осьової пресовкою (P_{Hi3}) визначаються відповідно до підрозділу 6.1.4.

Якщо виконуються не всі умови (5.1) і (5.2), то визначається сумарне збільшення сил осьової пресування наступним чином

$$P_n = \max \left\{ \sum_{i3=1}^2 \max \{ P_{ni3} \}; |\min P_{\bar{v}}(t)| \right\}, \quad (6.55)$$

де $\max \{ P_{ni3} \}$ - найбільше з збільшень сили осьової пресування обмотки, кН;

$\min P_{\bar{v}}(t)$ - найменше (негативне) значення сили, що діє на пресуючу конструкцію, кН.

Якщо для обмотки умова (6.53) виконується, то для неї найбільше збільшення сили осьової пресування в вираженні (6.55) приймають рівним нулю

$$\max \{ P_{ni3} \} = 0. \quad (6.56)$$

При виконанні умови (6.54) найменше значення сили, що діє на пресуючу конструкцію, в вираженні (6.55) вважають рівним нулю

$$\min P_{\bar{v}}(t) = 0. \quad (6.57)$$

Далі обчислюються достатні сили осьової пресування

$$P_{ai3} = P_{Hi3} + \max \{P_{ni3}\} + P_{Hi3} \frac{P_n - \sum_{i3=1}^2 \max \{P_{ni3}\}}{\sum_{i3=1}^2 P_{Hi3}}. \quad (6.58)$$

При виконанні умови (6.54) достатню силу осьової пресування обмотки, для якої виконуються умови (6.53), приймають рівною її необхідної сили осьової пресування

$$P_{ai3} = P_{Hi3}. \quad (6.59)$$

6.2.6 Перевірка міцності, жорсткості і стійкості до вилягання провідників

Перевірку міцності обмоток при дії осьових сил проводиться в такій послідовності:

1) обчислюється найбільші напруги стиснення зон

$$\sigma_{i3j}^{\max} = \frac{\max \{N_{0i3j}(t)\} \cdot 10^3}{m_{ni3} a_{i3} \bar{b}_{i3j} i_{li3j}}, \quad (6.60)$$

де $\max \{N_{0i3j}(t)\}$ - найбільше значення осьового зусилля в j -ой зоні;

2) обмотка має достатню міцність, якщо для коефіцієнта запасу міцності при дії осьових сил виконується умова

$$K_{n0i3} = \frac{\sigma_{02i3}}{\max \{\sigma_{i3j}^{\max}\}} \geq 1, \quad (6.61)$$

де $\max \{\sigma_{i3j}^{\max}\}$ - найбільше з усіх найбільших напружень стиску.

За значеннями осьових переміщень центрів зон обмоток встановлюють їх допустимість з точки зору забезпечення цілісності відводів або інших конструктивних міркувань.

Обмотка стійка до вилягання провідників, якщо для коефіцієнтів запасу на полягання провідників виконуються умови

$$K_{mi3j} = \frac{P_{кри3j}}{1.2 \max \{N_{oi3j}(t)\}} \geq 1, \quad (6.62)$$

де значення осьової критичної сили вилягання провідників ($P_{кри3j}$) визначають відповідно до підрозділу 6.2.2.

Результати розрахунку зроблені в додатку В «Расчет электродинамической стойкости реактора», таблиця В.9.

7 РОЗРАХУНОК ВТРАТ В ОБМОТЦІ ТА ЕКРАНАХ

У номінальному режимі роботи по обмотці струмообмежувального реактора проходить робочий струм, який викликає втрати активної потужності, а також обумовлює нагрів обмотки і металевих конструкцій реактора.

Втрати активної потужності в однофазному реакторі можна визначити за формулою

$$P = P_o + P_d + P_n + P_a, \quad (7.1)$$

де P_o - втрати потужності в обмотці реактора при постійному струмі (омические втрати), Вт;

P_d - втрати, зумовлені вихровими струмами в провідниках обмотки реактора, що наводяться власним змінним магнітним полем реактора, Вт;

P_n - втрати, зумовлені поверхневим ефектом, Вт;

P_a - втрати, що виникають в металевих конструкціях реактору, Вт.

Втрати потужності при постійному струмі розраховуються за формулою

$$P_o = 1.02\pi I^2 \rho \frac{D_{cp} W}{S_{np}}, \quad (7.2)$$

де I - струм в проводі, А;

ρ - питомий опір матеріалу проводу, Ом мм²/м;

D_{cp} - середній діаметр обмотки реактора, м;

S_{np} - переріз проводу, мм²;

W - число витків обмотки.

Множник 1,02 враховує збільшення довжини проводу, обумовлене наявністю переходів від витка до витка.

Питомий опір в формулі (7.2) залежить від середньої температури обмотки

$$\rho_t = \rho_{t_0} [1 + \alpha(t - t_0)], \quad (7.3)$$

де ρ_t - питомий опір при температурі t ;

ρ_{t_0} - питомий опір при температурі t_0 ;

α - температурний коефіцієнт збільшення опору дроти.

Згідно [2] для міді

$$\rho_t = 0.0175 \left[1 + \frac{t + 20}{243} \right]. \quad (7.4)$$

Втратами потужності, зумовленими поверхневим ефектом, можна знехтувати при промисловій частоті.

Таким чином, вираз (7.1) можна представити у вигляді [6]

$$P = P_o k_{\bar{A}} + P_a, \quad (7.5)$$

де $k_{\bar{A}}$ - коефіцієнт, що враховує втрати P_d .

$$k_{\bar{A}} = 1 + k_o k_q k_p \left(\frac{mW}{h} \right)^2 \left(\frac{f}{50} \right)^2 \cdot 10^{-3}, \quad (7.6)$$

де k_d - коефіцієнт, зависящий от форми провода и формы обмотки;

k_q - коефіцієнт, що залежить від перетину дроти;

k_p - коефіцієнт, що враховує матеріал проводу;

m - число паралельних гілок обмотки;

h - висота обмотки, м.

Втрати в алюмінієвих екранах реактора поділяють на втрати від осової і радіальної складових магнітного поля

$$P_a = P_x + P_r, \quad (7.7)$$

де P_x - втрати від осьової складової магнітного поля, Вт;

P_r - втрати від радіальної складової магнітного поля, Вт.

$$P_x = \frac{\pi}{128} \mu_m^2 \frac{W^2}{\rho} H_x^2 h_3 d_3^4, \quad (7.8)$$

де μ_m - магнітна проникність масла;

W - число витків обмотки;

ρ - питомий опір;

H_x - осьова складова напруженості магнітного поля;

h_3 - висота екрану;

d_3 - діаметр екрану.

$$P_r = \frac{\pi}{16} H_o^2 \frac{W^2}{\rho} H_p^2 h_3^2 d_3^3 \eta, \quad (7.9)$$

де η - коефіцієнт, що залежить від ставлення d_3/h_3 ;

H_p - радіальна складова напруженості магнітного поля;

H_x - напруженість магнітного поля в центрі (на осі) реактора.

Значення втрат активної потужності використовуються в подальшому тепловому розрахунку.

Результати розрахунку наведені в додатку Г «Расчет основных и дополнительных потерь в обмотках реактора», таблиці Г 6, Г 12.

8 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ОБМОТКИ РЕАКТОРА

Завданням теплового розрахунку є визначення теплового стану реактора, а саме визначення величини перевищення середньої температури обмотки і її найбільш нагрітої точки, а також середньої температури масла в баку і температури його верхніх шарів над температурою навколишнього середовища.

8.1 Визначення перевищення середньої температури обмотки над температурою навколишнього повітря

Тепловіддаюча поверхня обмотки

$$S_o = 14S_{k1} + 22S_{k2}, \quad (8.1)$$

де S_o - тепловіддаюча поверхня котушок з прокладками шириною $m_{пр1}=40$ мм;

S_{k1} - тепловіддаюча поверхня котушок з прокладками шириною $m_{пр2}=50$ мм.

$$S_{k1} = 2\pi D_{cp}(b + h_1) - 2n(m_{пр1}b + m_p h_1), \quad (8.2)$$

де D_{cp} - середній діаметр обмотки, м;

b - радіальна ширина котушки, м;

h_1 - висота котушки, м;

n - кількість стовпів прокладок по колу, шт.;

$m_p, m_{пр}$ - ширина рейки і прокладки відповідно, м.

$$S_{k1} = 2\pi \cdot 1.0(0.0067 + 0.017) - 2 \cdot 32(0.04 \cdot 0.067 + 0.025 \cdot 0.017) = 0.329 \text{ мм.}$$

Тепловіддаюча поверхня S_{k2} визначається аналогічно [11].

$$S_{к2} = 2\pi \cdot 1.0(0.067 + 0.017) - 2 \cdot 32(0.05 \cdot 0.067 + 0.025 \cdot 0.017) = 0.286 \text{ мм},$$

$$S_o = 14 \cdot 0.329 + 22 \cdot 0.286 = 10.884 \text{ м}^2.$$

Щільність теплового потоку обмотки

$$q_o = \frac{P_o}{S_o}, \quad (8.3)$$

де P_o - втрати обмотки, Вт.

$$q_o = \frac{2790}{10.884} = 250 \text{ Вт/м}^2.$$

Перевищення середньої температури поверхні обмотки над температурою масла в баку

$$\Delta t_{по} = 1.509 q_o^{0.6} \left(\frac{b}{h_{сп}} \right)^{0.2} b_{вн}^{-0.47} t_m^{-0.3}, \quad (8.4)$$

де $h_{сп}$ - середнє значення висоти горизонтального каналу по висоті обмотки з урахуванням усадки прокладок, мм;

$d_{вн}$ - внутрішній вертикальний канал обмотки, мм;

t_m - середня температура масла в баку, °С.

$$h_{сп} = \frac{H_k}{n_k} \cdot \frac{(100 - h_{yc})}{100}, \quad (8.5)$$

де H_k - сумарна висота горизонтальних каналів обмотки, мм;

n_k - кількість горизонтальних каналів в обмотці, шт.;

h_{yc} - висота усадки електрокартону в %.

$$h_{cp} = \frac{(4 \cdot 14) + (12 \cdot 12) + (21 \cdot 10)}{37} \cdot \frac{(100 - 5.2)}{100} = 10.06 \text{ мм},$$

$$\Delta t_{no} = 1.509 \cdot 250^{0.6} \left(\frac{67}{10.06} \right)^{0.2} \cdot 14^{-0.47} \cdot 66.4^{-0.3} = 5.0 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перепад температури в ізоляції проводу обмотки

$$\Delta t_{uo} = q_0 \cdot 10^{-3} \frac{\delta_u}{2\lambda}, \quad (8.6)$$

де δ_u - товщина ізоляції проводу на обидві сторони, мм;

λ_u - коефіцієнт теплопровідності ізоляції, Вт/(м К).

$$\Delta t_{uo} = 250 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.96}{2 \cdot 0.16} = 0.8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перевищення середньої температури обмотки над температурою масла в баку

$$\Delta t_o = \Delta t_{i1} + \Delta t_{uo}, \quad (8.7)$$

$$\Delta t_o = 5.0 + 0.8 = 5.8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перевищення середньої температури обмотки над температурою повітря

$$\Delta t_{o-z} = \Delta t_{no} + \Delta t_{m-z}, \quad (8.8)$$

$$\Delta t_{o-z} = 5.8 + 46.4 = 52.2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

8.2 Визначення перевищення температури найбільш нагрітої точки над температурою навколишнього повітря

Найбільш нагріта котушка - верхня, як що знаходиться в зоні найбільш нагрітого масла.

Тепловіддаючим поверхню котушки становить $S_{\epsilon} = 0.329 \text{ м}^2$.

Щільність теплового потоку

$$q_k = \frac{P_k}{S_k}, \quad (8.9)$$

$$q_k = \frac{136}{0.329} = 414 \text{ Вт/м}^2.$$

Перевищення середньої температури поверхні котушки над температурою масла в баку визначається за формулою

$$\Delta t_{\text{по}} = 1.509 q_0^{0.6} \left(\frac{b}{h_k} \right)^{0.2} b_{\text{вн}}^{-0.47} t_{\text{м}}^{-0.3}, \quad (8.10)$$

де h_k - середнє значення висоти горизонтального каналу котушки з урахуванням усадки картону, мм.

$$h_k = h \cdot \left(\frac{100 - h_{\text{ус}}}{100} \right), \quad (8.11)$$

$$h_k = 14 \cdot \left(\frac{100 - 5.2}{100} \right) = 13 \text{ мм.}$$

Перепад температури в ізоляції проводу котушки

$$\Delta t_{\text{uo}} = q_{\text{к}} \cdot 10^{-3} \frac{\delta_{\text{u}}}{2\lambda}, \quad (8.12)$$

$$\Delta t_{\text{uo}} = 414 \cdot 10^{-3} \frac{0.96}{2 \cdot 0.16} = 1.2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перевищення температури найбільш нагрітої точки обмотки над температурою найбільш нагрітої котушки

$$\Delta t_{\text{н}} = 0.0478q^{0.6} \left(\frac{b}{h_{\text{к}}} \right)^{0.57} \cdot t_{\text{м}}, \quad (8.13)$$

$$\Delta t_{\text{н}} = 0.0478 \cdot 414^{0.6} \cdot \left(\frac{67}{13} \right)^{0.57} \cdot 66.4^{-0.3} = 1.4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перевищення температури найбільш нагрітої точки обмотки над температурою масла

$$\Delta t_{\text{ннт}} = \Delta t_{\text{пк}} + \Delta t_{\text{ук}} + \Delta t_{\text{н}}, \quad (8.14)$$

$$\Delta t_{\text{ннт}} = 6.7 + 1.2 + 1.4 = 9.3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перевищення температури найбільш нагрітої точки обмотки над температурою навколишнього повітря

$$\Delta t_{\text{ннт-в}} = \Delta t_{\text{ннт}} + \Delta t_{\text{мв}}, \quad (8.15)$$

$$\Delta t_{\text{ннт-в}} = 9.3 + 55.7 = 65 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При номінальному струмі встановилися величини перевищення середньої температури обмотки і її найбільш нагрітої точки, середньої температури масла в баку і температури його верхніх шарів не перевищують допустимих значень по ГОСТ 11677-85 і ГОСТ 14209-85 [24,28].

8.3 Моделювання теплового розрахунку обмоток струмообмежуючих реакторів з використанням електричних схем заміщення

Наразі не існує апробованої інженерної методики теплових розрахунків обмоток сухих трансформаторів та токоограничуючих реакторів, виконаних із алюмінієвої або мідної стрічки (рисунок 8.1, а). Тому теплові розрахунки ведуться зазвичай по методикам, призначеним для сухих трансформаторів з обмотками, виготовленими з дроту. Особливістю обмоток, виконаних зі стрічки, є сильне витискання струму до краю обмотки [12]. Нерівномірний розподіл струму по висоті стрічки призводить до нерівномірного розподілу втрат по висоті обмотки а, отже, до нерівномірного перегріву. В [12] наведено методику визначення втрат в розрахунковій області обмотки, яка розбивається на n концентров, а кожний концентр - на m розрахункових секцій (рисунок 8.1, б).

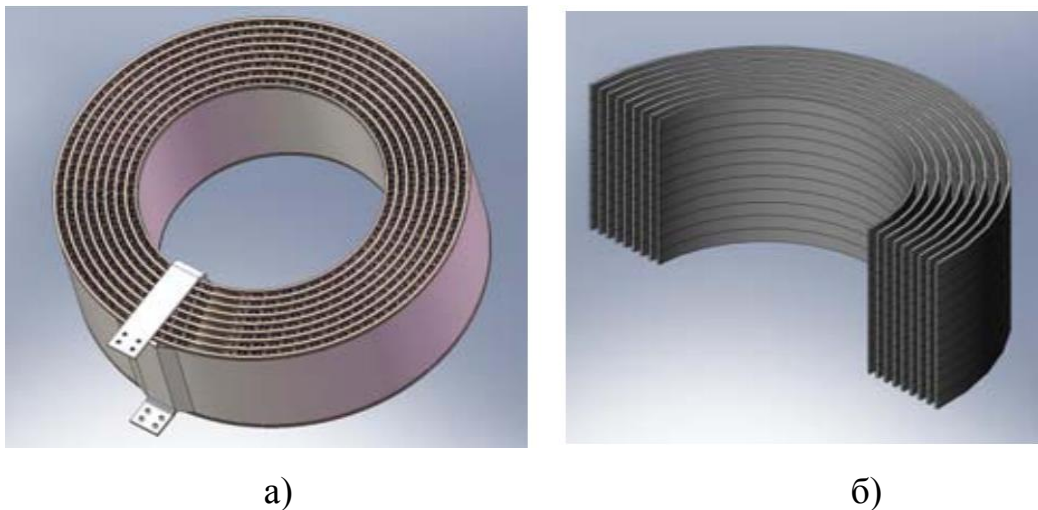


Рисунок 8.1 - Обмотка фази реактора з алюмінієвої стрічки

Математична модель теплового стану обмотки зі стрічки є розгалуженим тепловим ланцюгом і має такі елементи:

- джерела теплових втрат - втрати в розрахункових секціях;
- теплові опори теплопровідності і тепловіддачі з поверхні (внаслідок її вільної конвекції і випромінювання);
- теплові опори повітряного каналу.

У даній моделі прийняті наступні припущення:

- з торців обмотки тепловіддача є відсутньою через бортову ізоляцію, що виконана із склотекстоліту з низькою теплопровідністю;
- тепловиділення відбувається одномірно по всьому об'єму розрахункової секції;
- коефіцієнти теплопровідності матеріалу не є функцією температури;
- коефіцієнт тепловіддачі з поверхні є постійним по висоті обмотки.

Фрагмент розгалуженої електричної схеми заміщення теплових процесів в обмотці, що складається з двох концентрів, виконаний в середовищі Simulink, наведений на рисунку 8.2. Кожний концентр обмотки, представлений прямокутною областю, є окремою підсистемою, фрагмент вмісту якої представлений на рисунку 8.3. У свою чергу, кожна розрахункова секція в схемі заміщення концентрів представлена підсистемою, фрагмент якої представлений на рисунку 8.4.

Схема заміщення кожної розрахункової секції (рисунок 8.4) містить джерело струму P_i , значення якого чисельно дорівнює тепловим втратам у відповідному витку цієї секції (приймається, що теплові втрати виділяються в центрі провідника).

Опори R_{wi} чисельно є рівними тепловим опорам елемента алюмінієвого витка в радіальному напрямку і обчислюються за формулою 8.16

$$R_{wi} = \frac{1}{2\pi h \lambda_{al}} \left| \ln \frac{r_{wi\delta}}{r_{wi\hat{a}}} \right|, \quad (8.16)$$

де h - висота секції;

λ_{al} - теплопровідність матеріалу обмотки (алюмінієвої стрічки);

r_{wicc} - середній радіус витка;

r_{wib} - зовнішній або внутрішній радіус витка (в залежності від того, з якого боку від центру провідника знаходиться дане опір).

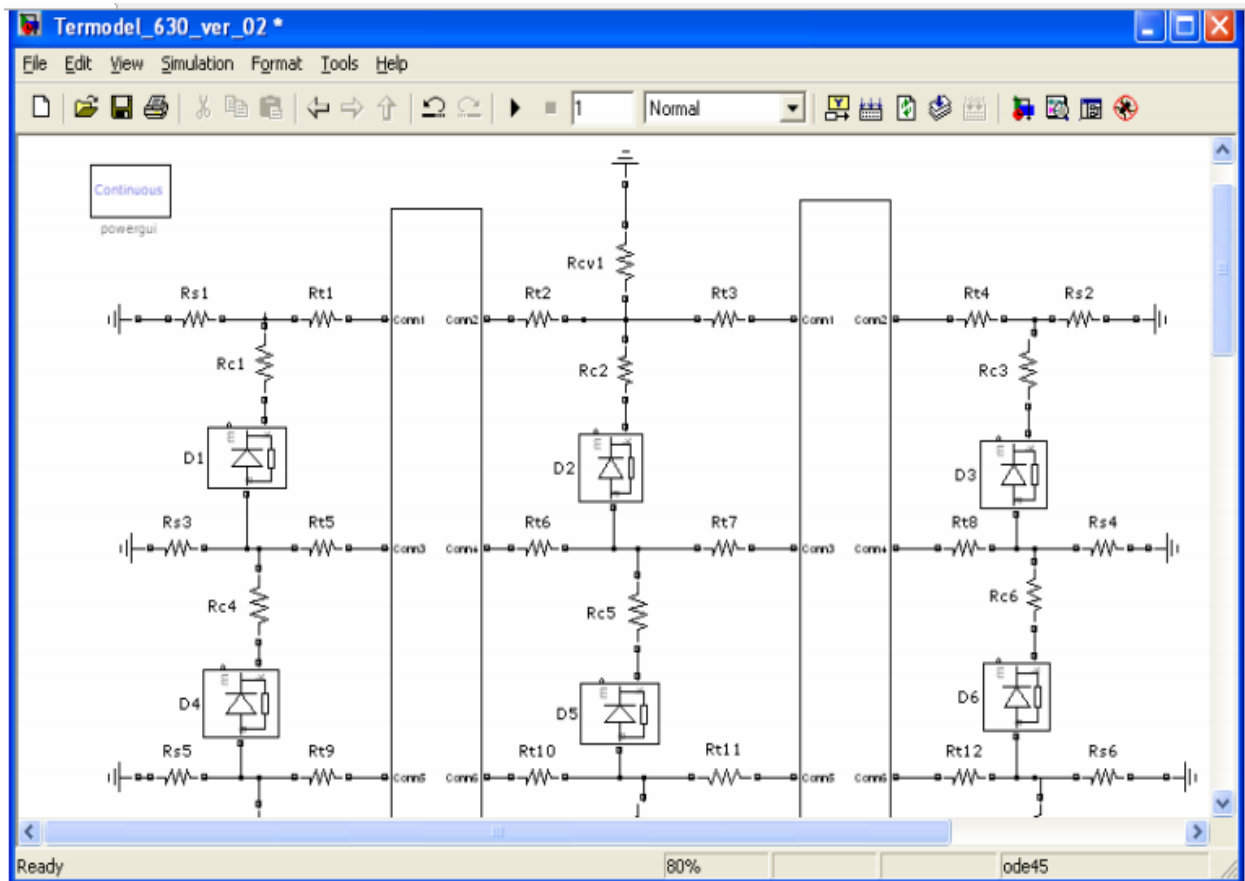


Рисунок 8. 2 - Фрагмент розгалуженої електричної схеми заміщення теплових процесів в обмотці в середовищі Simulink

Опори R_{isi} чисельно дорівнюють тепловим опорам відповідного шару міжвиткової ізоляції і обчислюються за формулою

$$R_{isi} = \frac{b_{\alpha\zeta}}{2\pi r_{isi} h \lambda_{\alpha\zeta 1}}, \quad (8.17)$$

де $b_{i\zeta}$ – товща міжвиткової ізоляції;

$\lambda_{i\zeta}$ – теплопровідність матеріалу ізоляції;

r_{isi} – середній радіус i -го шару ізоляції.

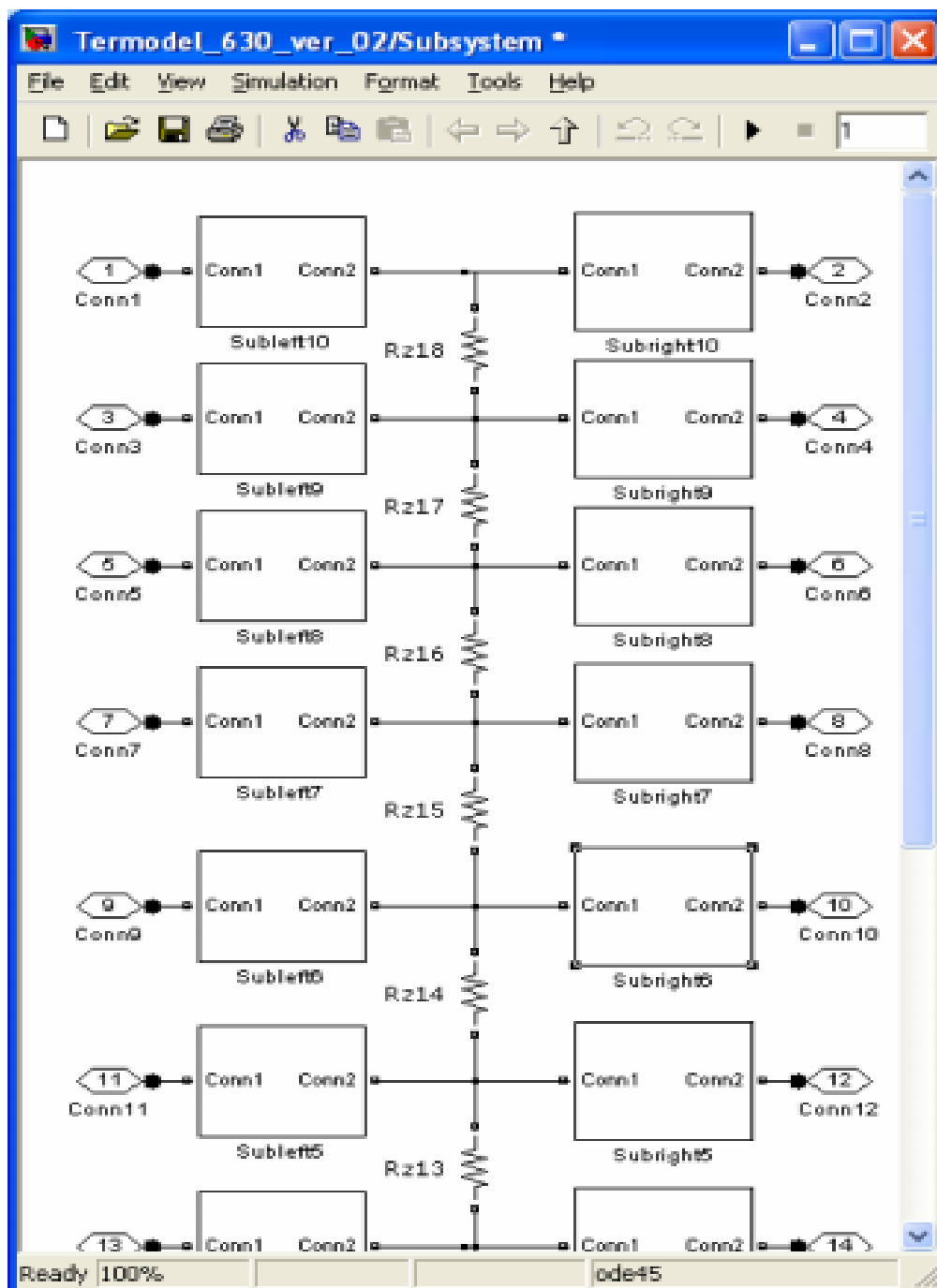


Рисунок 8.3 - Фрагмент електричної схеми заміщення концентра

Опори R_{zi} на рисунку 8.3 чисельно рівні тепловим опорам розрахункової секції в осьовому напрямку і розраховуються за формулою

$$R_{zi} = \frac{h}{\pi \lambda_{al} (r_2^2 - r_1^2)}, \quad (8.18)$$

де r_1 , r_2 -внутрішній і зовнішній радіуси i -го вітка відповідно.

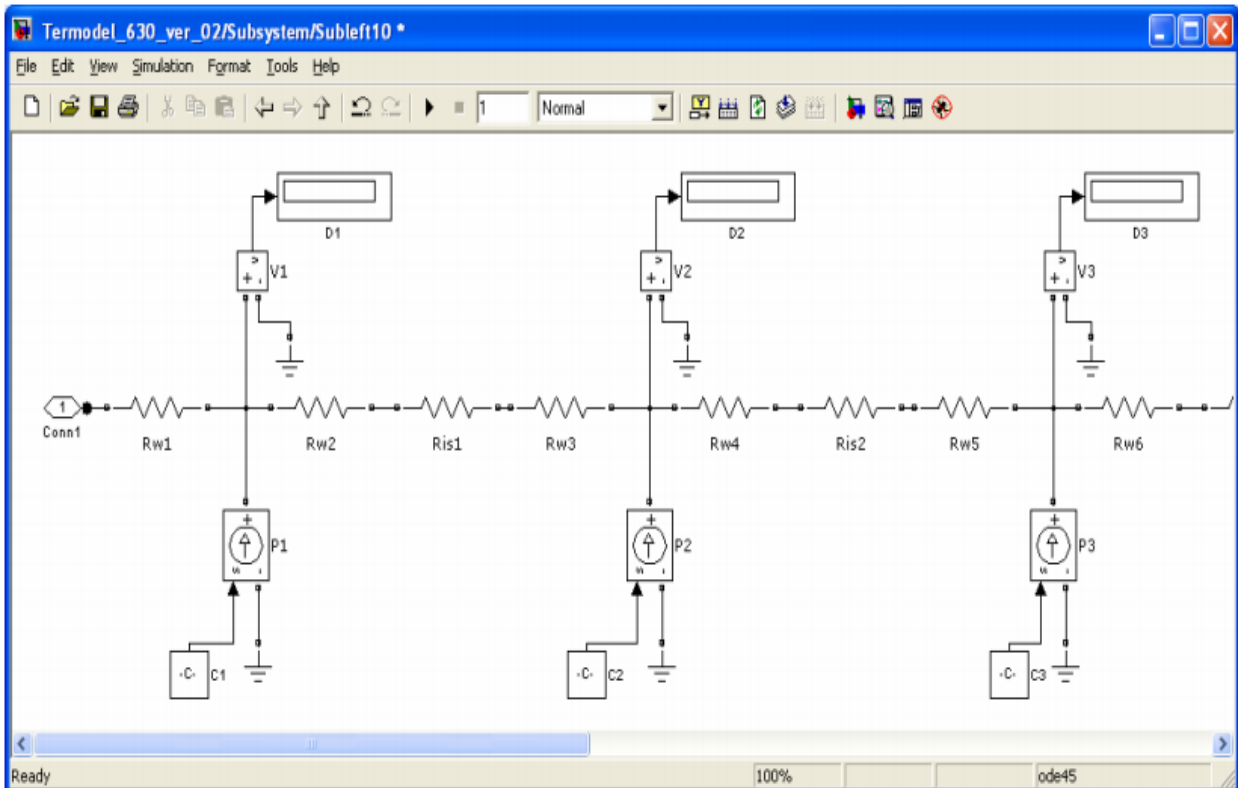


Рисунок 8.4 - Фрагмент електричної схеми заміщення розрахункової секції

Опори R_{ti} (рисунок 8.2) чисельно рівні тепловим опорам тепловіддачі з поверхонь розрахункових секцій в навколишнє середовище і знаходяться за формулою

$$R_t = \frac{1}{(\alpha_{conv} + \alpha_{rad}) S_f}, \quad (8.19)$$

де α_{conv} - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні за рахунок вільної конвекції;

α_{rad} - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні випромінюванням;

S_f - площа тепловіддаючої поверхні.

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням розраховується за законом Стефана-Больцмана [2]:

$$\alpha_{\text{rad}} = \frac{5,56 \cdot 10^{-8} \varepsilon_1 (T_f^4 - T_0^4)}{T_f - T_0}, \quad (8.20)$$

де ε_1 - ступінь чорноти випромінюючого тіла;

T_f - температура випромінюючої поверхні;

T_0 - температура навколишнього середовища.

Тепловіддача випромінюванням враховується тільки на зовнішніх і внутрішніх поверхнях обмотки. У каналах цей опір не враховується через те, що протилежні стінки каналу мають приблизно однакову температуру. Опори R_{ci} (рис. 8.2) чисельно дорівнюють тепловим опорам повітряного каналу з урахуванням конвекції та розраховуються за формулою

$$R_{ci} = \frac{h}{\lambda_{\text{екв}} \cdot S_{\text{екв}}}, \quad (8.21)$$

де $\lambda_{\text{екв}}$ – еквівалентний коефіцієнт теплопровідності;

$S_{\text{екв}}$ – перетин каналу на шляху теплового потоку.

Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності обчислюється наступним чином [3]:

$$\lambda_{\text{екв}} = \lambda_f \varepsilon_k, \quad (8.22)$$

де ε_k – коефіцієнт конвекції;

λ_f – коефіцієнт теплопровідності тікучого середовища.

Коефіцієнт конвекції визначається величиною критерію Релея, який застосовують для узагальнення експериментальних даних про режим протікання флюїдів різної фізичної природи:

$$Ra = Gr Pr, \quad (8.23)$$

де Pr – критерій Прандтля;

Gr – критерій Грасгофа.

Критерій Прандтля – це співвідношення двох характеристик: молекулярного переносу імпульса ν та тепла a , та являє собою фізичний параметр середовища $Pr = \nu/a$. Для повітря можна прийняти $Pr \approx 0,7$ [2].

Критерій Грасгофа характеризує співвідношення гравітаційних сил та сил в'язкого тертя

$$Gr = \frac{g \cdot R_0^3}{\nu^2} \beta \Delta T, \quad (8.24)$$

де g – прискорення вільного падіння;

R_0 – визначальний розмір (в нашому випадку $R_0 = H$);

H – висота обмотки;

ΔT – модуль різності температур між стенкою та флюїдом;

β – коефіцієнт об'ємного розширення флюїда;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості.

Односпрямований рух теплових потоків, викликаний гравітацією, в електричній схемі заміщення (рис. 8.2) враховується за допомогою діодів і додаткових опорів теплопровідності повітря. Для розрахунку ланцюга в системі моделювання Simulink була побудована схема заміщення обмотки низької напруги НН ТСЛ-630/0,4. На виробничій базі ЗАТ «Трансформер» було проведено декілька випробувань. Обмотка НН ТСЛ-630 кВА, розрахована на напругу 0,4 кВ, нагрівалася номінальним струмом від одної з фаз трансформатора ТМГ -1000 10 / 0,4. Вимірювання температур проводилося за допомогою 12-канального термовимірювальника ТМ-12. Експериментальна тепла постійна часу складала 3 години 10 хвилин. Розрахункові і експериментальні дані наведені в таблиці 8.1 та на рис. 8. 5.

Таблиця 8.1 - Результати теплового розрахунку і випробувань обмотки реактора

№ секции	Расчет, °С	Опыт, °С	Отклонение, %
1	58,59	52,74	10,51%
2	58,95	60,29	2,24%
3	58,67	58,78	0,18%
4	58,09	57,03	-1,89%
5	57,58	56,83	-1,31%
6	57,06	56,54	-0,91%
7	56,52	58,19	2,91%
8	56,05	56,92	1,54%
9	55,27	53,26	-3,71%
10	54,11	53,26	-1,59%

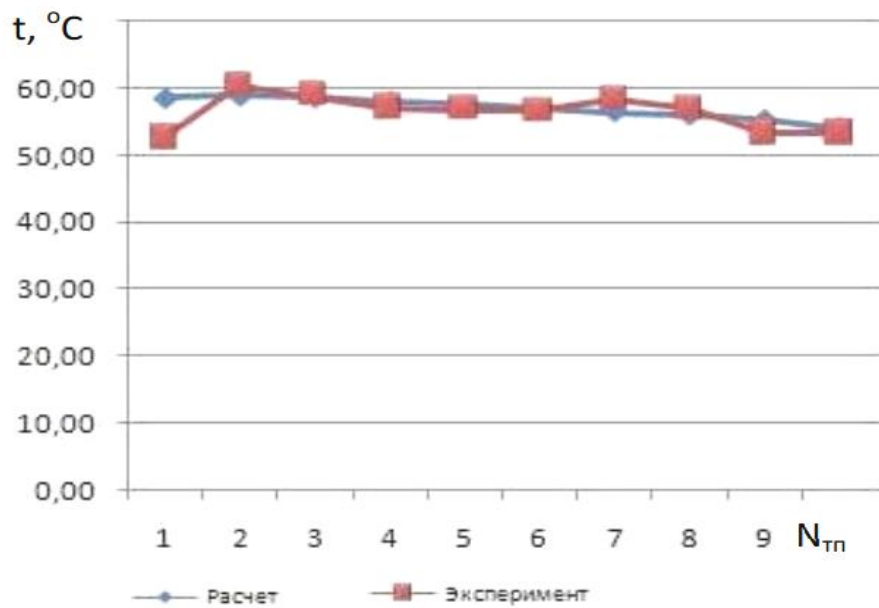


Рисунок 8.5 - Графічне представлення результатів теплового розрахунку та випробувань обмотки реактора (N_{ТП}– номер термопары по висоті обмотки)

Запропонована схема заміщення з достатнім ступенем точності моделює реальний тепловий стан обмотки реактора. Необхідно враховувати, що на результати чисельного експерименту впливає нерівномірний розподіл пропиточного лаку по висоті обмотки і наявність бандажної стрічки.

9 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА СТРУМООБМЕЖУВАЛЬНОГО РЕАКТОРА 35 кВ, 90А

9.1 Техніко-економічні показники реактора

В даному реакторі для забезпечення надійності, зручності в експлуатації і зниження матеріаломісткості використовується ряд нових технічних рішень:

- установка циліндричного і горизонтальних алюмінієвих екранів дозволяє зменшити електромагнітні навантаження і підвищити надійність;
- осьова пресування обмотки реактора здійснюється за допомогою нажимної плити і гвинтів, виведених на кришку бака і закритих ковпаками, що дозволяє виробляти осьову підприсовку обмотки за 2 - 3 години без підйому кришки і при незначному (10 - 15л) зливні масла.

Дані зміни дозволяють зменшити експлуатаційні витрати на планові і поточні ремонти, ревізію, технічне обслуговування апарату. А саме зменшити час, що витрачається на підприсовку обмотки і відповідно зменшити кількість робітників, що здійснюють підприсовку.

Техніко-економічні показники реактора приведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 - Техніко-економічні показники реактора

Найменування показника	Значення
Тип реактора	Реактор однофазний масляний
Номер і дата затвердження технічних умов	ГОСТ 11677-85
Номінальну напругу, кВ	35
Номінальний струм, А	90
Індуктивний опір, Ом	15
Струм динамічної стійкості, А	4000
Вид системи охолодження	масляна

Продовження таблиці 9.1

Найменування показника	Значення
Тип і кількість вводів	ВСТА 10/630 1 шт. ВСТА 35/630 1 шт.
Повна маса реактора, кг	5400
Маса трансформаторного масла, необхідна для роботи, кг	1700
Маса обмотувального дроту, кг	914
Тип обмотки	Котушкова безперервна
Термін служби реактора відповідно до технічної документації, років	25
Терміни планових капітальних ремонтів, років	12
Плановий обсяг виробництва реакторів, шт.	5

9.2 Оцінка ринку збуту та стратегія маркетингу

Реактор однофазний масляний продається на внутрішньому і на зовнішньому ринку електротехнічної продукції.

На внутрішньому ринку потенційними покупцями, з якими є попередня домовленість про купівлю реакторів, є електричні станції та підстанції в разі закінчення терміну експлуатації, а також аварійного виходу з ладу реактора, що не підлягає ремонту.

На зовнішньому ринку потенційними покупцями є компанії які будують підприємства, електричні станції та підстанції на яких передбачена експлуатація реакторів класу напруги 35 кВ. В основному це підприємства країн, що розвиваються, таких як Афганістан, Узбекистан, Таджикистан і інші.

Для того щоб підприємство функціонувало, йому необхідна підтримка необхідної кількості вигідних продажів заради досягнення певних завдань організації, таких як отримання, прибутку, зростання обсягу збуту, збільшення частки ринку. Для збільшення обсягу збуту підприємства виявляють споживчі потреби, розробляють відповідні конструкції виробів і встановлюють на них відповідні ціни, проводять розгортання служби сервісу. Для стимулювання продажів покупцям гнучка система знижок, безкоштовна поставка запасних частин і супутнього устаткування в разі покупки великої партії товару [1].

9.3 Розрахунок собівартості і ціни реактора

Собівартість проєктованого реактора розраховується виходячи з нормативів витрат матеріалів і роботи [9].

Для обґрунтування собівартості реактора необхідно визначити витрати по стат'ям і скласти планову калькуляцію. Собівартість реактора розраховується за формулою

$$C = M + K + Z_0 + Z_d + ЕСВ + ОПЗ + АВ + ВР,$$

де М- витрати на сировину і основні матеріали, грн;

К - витрати на покупні комплектуючі вироби і напівфабрикати, грн;

Z_0 - основна заробітна плата, грн;

Z_d - додаткова заробітна плата, грн;

ЕСВ – єдиний соціальний внесок;

ЗПВ - загальновиробничі витрати, грн;

АВ - адміністративні витрати, грн;

ВР - витрати на реалізацію, грн.

Виробнича собівартість визначається за формулою

$$C = M + K + Z_0 + Z_d + ЕСВ + ОПЗ \quad (7.1)$$

Сировина і основні матеріали розраховуються за нормами витрат і цінами, при цьому транспортно-заготівельні витрати задаються. Реалізовані відходи віднімаються. Вартість сировини і основних матеріалів приведена в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 - Вартість сировини і основних матеріалів

Найменування сировини та матеріалів	Норма витрат,	Ціна, грн	Вартість, грн
Провід мідний ПБ м	914	15	13710
Алюміній листової S = 16 кг	452	25	11300
Бакелітовий циліндр кг	50	210	10500
Бакелітовий циліндр кг	1600	7,5	12000
Сталь09Г2С кг	1700	8,6	14620
Масло трансформаторне кг	400	5,0	2000
Прокат чорних металів Ст 3 кг	180	35,10	6318
Електрокартон кг	10	25,0	250
Емаль, грунт кг			3555
Інші			
Разом			74653
ТЗР(15%)			11198
Всього			85851
Зворотні матеріали			1288
Разом вартість сировини матеріалів			84563

Вартість покупних комплектуючих виробів, напівфабрикатів розраховується за нормами витрат, цінами з урахуванням транспортно-заготівельних витрат. Вартість покупних комплектуючих приведена в таблиці 7.3.

Заробітна плата основних виробничих робітників на один реактор розраховується виходячи з трудомісткості виробу і годинних тарифних ставок. Витрати виробничої заробітної плати на виготовлення реактора залежить від

ступеня складності конструкції, від серійності виробництва, від новизни виробу та інших параметрів. Витрати на зарплату робітникам визначаються для кожної деталі і кожної операції технологічного процесу складання, фарбування, сушіння та ін. За діючими на підприємстві нормами та розцінками. Розрахунок заробітної плати наведено в таблиці 9.4

Таблиця 9.3 - Вартість покупних комплектуючих виробів

Найменування вироби	Норма витрат, шт	Ціна, грн	Вартість, грн
Воздухоосушитель	1	1000	1000
Вентиль запірний муфтовий	1	300	300
Вентиль поворотний муфтовий			
Dу 50	2	350	700
Dу 80	1	480	480
Кран відбору проби масла	1	20	20
Реле газове	1	1300	1300
Введення ВСТА 10/630	1	1000	1000
ВСТА 35/630	1	1000	1000
Інші			425
Всього			8925
ТЗР(15%)			1339
Разом вартість покупних комплектуючих виробів			10264

Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників становить 40% від основної заробітної плати

$$Z_d = Z_o \cdot \frac{40}{100\%},$$

$$Z_d = 7172,71 \cdot \frac{40}{100\%},$$

$$Z_d = 28469,09 \text{ грн.}$$

Таблиця 9.4 - Заробітна плата основних виробничих робітників

Найменування операції	Норма часу, норма годин	Розряд робочих	Годинна тарифна ставка, грн	Зарплата на одиницю продукції, грн
Виготовлення деталей обмотки:				
-виготовлення циліндра	324	4	10,5	3402
-виготовлення рейок	678,26	3	8,5	5765,21
-виготовлення прокладок	186	3	8,5	1581
Виготовлення ярмова ізоляції	452	6	15,0	6780
Намотування обмотки	883,8	6	15,0	13257
Виготовлення екранів	440	5	12,5	5500
Виготовлення бака і розширювача	1204	5	12,5	15050
Збірка	652	6	15,0	9780
Випробування	670,5	6	15,0	10057,5
Всього	5304,56			71172,71

Єдиний соціальний внесок

$$\text{Отч} = (3 + 3) \cdot \frac{\text{Отч}}{100\%}$$

$$\text{Отч} = 32 + 3.5 + 2 + 1,02\%$$

$$\text{ЕСВ} = (71172,71 + 28469,09) \cdot \frac{20\%}{100\%}$$

$$\text{ЕСВ} = 19928,2 \text{ грн.}$$

Непрямі витрати можна підрахувати як загальновиробничі витрати, адміністративні витрати і витрати на реалізацію.

Загальновиробничі витрати (ОПЗ) складаються з витрат на утримання та експлуатацію устаткування (ЗСЕО), а також з цехових витрат (ЦЗ) [10].

ЗСЕО розраховуються на підставі складання кошторису за статтями витрат:

- заробітна плата (основна і додаткова) допоміжних робітників, які здійснюють обслуговування;

- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати допоміжних робітників;

- силова електроенергія;

- амортизація обладнання, транспортних засобів, цінного інструменту;

- поточний ремонт обладнання, транспортних засобів, цінного інструменту;

- інші витрати, які не враховувалися в попередніх статтях, приймаються укрупнено в розмірі 5% суми витрат за всіма попередніми статтями.

Цехові витрати визначаються за такою номенклатурою статей:

- зміст цехового персоналу (враховується основна і додаткова зарплата допоміжних робітників, ІТП ділянки);

- відрахування на соціальне страхування від основної та додаткової зарплати допоміжних робочих, ІТП ділянки;

- електроенергія для освітлення;

- амортизація будівель і споруд, їх поточний ремонт;

- охорона праці і техніка безпеки;

- впровадження нової техніки;

- інші витрати, приймаються в розмірі 5% суми витрат за всіма попередніми статтями.

В даному випадку ОПЗ складають 300% від заробітної плати основних виробничих робітників

$$\text{ОПЗ} = 3_0 \cdot \frac{\alpha}{100\%},$$

де $a = 300\%$ - процент ОПЗ.

$$\text{ОПЗ} = 71172,71 \cdot \frac{300}{100},$$

$$\text{ОПЗ} = 71172,71,$$

$$\text{ОПЗ} = 2135518,13 \text{ грн.}$$

Адміністративні витрати (АЗ) - це загальногосподарські витрати. Ці витрати розраховуються на основі складання кошторису загальногосподарських витрат. Вони включають витрати, які пов'язані з функціонуванням всього підприємства і містять такі статті:

- основна і додаткова заробітна плата, а також єдиний соціальний внесок керівників і фахівців підприємства;

- електроенергія для освітлення приміщень загальнозаводського призначення;

- амортизація будівель загальнозаводського призначення;

- охорона праці і техніка безпеки керівників і фахівців підприємства;

- інші витрати;

АЗ поділяють на собівартість одиниці продукції різних найменувань пропорційно основній заробітній платі виробничий робітників.

$$\text{АЗ} = 3 \cdot \frac{\beta}{100\%},$$

де $\beta = 105\%$ - процент АЗ.

$$\text{АЗ} = 71172,71 \cdot \frac{105}{100},$$

$$\text{АЗ} = 74731,35 \text{ грн.}$$

Витрати на реалізацію (ЗР) - це поза виробничі витрати. Вони містять витрати, які пов'язані з реалізацією продукції. Розраховуються ЗР на основі складання кошторису ЗР, і містять такі статті:

- транспортні, складські та комунікаційні витрати;
- тара і її матеріали;
- відрядження, пов'язані з реалізацією продукції;
- реклама та представницькі витрати;
- оплата послуг посередницьких, консультативних та аудиторських фірм;
- інші витрати.

В даному випадку ЗР становлять 2% від суми виробничої собівартості і адміністративних витрат.

$$ЗР = (C_{пр} + АЗ) \cdot \frac{\beta}{100\%},$$

де $\beta = 2\%$ - процент ЗР.

Відповідно до формули (7.1)

$$C_{пр} = 43822.7 + 5675.2 + 9264.8 + 3705.9 + 4864 + 27794.4 ,$$

$$C_{пр} = 446368,95 \text{ грн.}$$

$$ЗР = (446368,95 + 74731,35) \cdot \frac{2}{100\%},$$

$$ЗР = 10422,0 \text{ грн.}$$

На основі вищевказаних розрахунків складається калькуляція собівартості та ціни реактора. Калькуляція наведена в таблиці 9..5.

Таблиця 9.5 - Калькуляція собівартості і ціни реактора

Статті витрат	Сума, грн
Матеріали	84563
Комплектуючі вироби	10264
Зарплата основних виробничих робітників	71172,71
Додаткова зарплата основних робочих	28469,09
Єдиний соціальний внесок	38382,02
Загальновиробничі витрати	213518,13
Виробнича собівартість	446368,95
Адміністративні витрати	74731,35
Витрати на реалізацію	10422,0
Повна собівартість	531522,3
Прибуток	79728,35
Ціна оптова	611250,65
ПДВ (Цоп. – М - К) * 0.2	103284,73
Ціна реалізації	714535,38
Змінні витрати	232850,82
Постійні витрати	298671,48

9.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

До експлуатаційних витрат відносять поточні річні витрати і супутні капітальні витрати [11].

Далі розраховуються витрати у споживача при використанні реактора.

Супутні капітальні витрати враховують витрати на капітальний ремонт, установку і монтаж, виробничу площу реактора, Додаткове обладнання.

Плановий капітальний ремонт реактора проводиться на дванадцятий рік експлуатації, отже витрати на капітальний ремонт визначаються за формулою

$$K_p = \frac{0.2 \cdot C}{(1+0.1)^{12}},$$

$$K_p = \frac{0.2 \cdot 714535,38}{(1+0.1)^{12}},$$

$$K_p = 41422,34 \text{ грн.}$$

Витрати на установку і монтаж реактора імовірно однакові, і становить 10% від вартості реактора.

Витрати на виробничу площу реактора

$$Z_{пл} = S \cdot C_{пл},$$

де S - площа, яку займає реактор;

$C_{пл}$ - Ціна за 1 м² виробничої площі.

$$Z_{пл} = 4 \cdot 500,$$

$$Z_{пл} = 2000 \text{ грн.}$$

Так як даний реактор призначений для обмеження струмів КЗ в ланцюзі силового трансформатора, то його експлуатація неможлива без наявності трансформатора.

Пуск реактора в експлуатацію тягне за собою витрати пов'язані з доливкою масла, а саме 100 кг.

Результати розрахунку капітальних витрат на експлуатацію реактора занесені в таблицю 9.6.

Таблиця 9.6 - Капітальні витрати

Склад супутніх капітальних витрат	Капіталовкладення, грн
Транспортування	107180,31
Установка і монтаж	71453,54
Виробнича площа	2000
Трансформаторне масло, яке доливається при пуску реактора в експлуатацію	860
Капітальний ремонт за термін служби	41422,34
Всього	222916,19

У складі річних експлуатаційних змістів враховуються витрати:

- на компенсацію втрат в режимі КЗ;
- на компенсацію втрат в номінальному режимі;
- на обслуговування і поточний ремонт.

Поточний ремонт складає 5% від собівартості реактора.

Витрати, які пов'язані з експлуатацією вироба, враховуючи амортизаційні відрахування від супутніх капітальних вкладень визначається в розмірі 15% від їх вартості. Також поточні витрати, які несе споживач включають в себе вартість трансформаторного масла, яке доливається в процесі експлуатації, близько 50 кг.

Розрахунок поточних річних витрат у споживача наведено в таблиці 9.7.

9.5 Розрахунок економії

Економія витрат на обмотувальний дріт. Економічна ефективність являє собою економію виробничих ресурсів.

У порівнянні з сухим реактором, масляний дозволяє зменшити масу і габаритні розміри, а також підвищити експлуатаційні параметри. Виробництво масляних реакторів дозволяє знизити виробничі і експлуатаційні витрати.

Таблиця 9.7 - Склад поточних річних витрат у споживача при використанні одиниці виробу

Склад поточних річних витрат	Одиниці виміру	Значення
Вартість електроенергії для компенсації втрат в реакторі Втрати в номінальному режимі	кВт	5
Витрати на компенсацію втрат в номінальному режимі- на 1 кВт	грн	6
- на реактор	грн	30
Втрати при КЗ	кВт	200
Витрати на компенсацію втрат в режимі КЗ - на 1 кВт	грн	35
- на реактор	грн	7000
Середньорічні витрати на обслуговування реактора	грн	26576
Вартість трансформаторного масла, яке доливається в процесі експлуатації	грн	420
Інші витрати, які пов'язані з експлуатацією реактора, враховуються амортизаційні відрахування від супутніх капітальних вкладень	грн	33437
Всього	грн	67463

Виробничі витрати знижуються за рахунок зменшення маси дрота. Прямокутна форма перетину дроту дозволяє знизити розміри обмотки на 15 - 25%, що дає економію провідникового матеріалу, також економія обмотувального дроту на 20% відбувається за рахунок зменшення його поперечного перерізу.

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = C_{\text{пр.с}} - C_{\text{пр.м}},$$

де $C_{\text{пр.с}}$ - Вартість обмотувального дроту сухого реактора, грн;

$C_{\text{пр.м}}$ - Вартість обмотувального дроту масляного реактора, грн.

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = 21900 - 13710,$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = 8190 \text{ грн.}$$

Так як застосування сухого реактора на напругу 35 кВ і більше на відкритій частині підстанції не рекомендується, то для його експлуатації необхідне спорудження будівлі, яка тягне за собою додаткові капітальні витрати. Економія капітальних витрат при використанні масляного реактора

$$\mathcal{E}_{\text{к.э.}} = C_{\text{пл.с}} - C_{\text{пр.м}},$$

де $Z_{\text{пл.с}}$ и $Z_{\text{пл.м}}$ - відповідно витрати на виробничу площу сухого, масляного реактора.

$$\mathcal{E}_{\text{к.э.}} = 18000 - 2000 ,$$

$$\mathcal{E}_{\text{к.э.}} = 16000 \text{ грн.}$$

Економія поточних витрат за рахунок зменшення витрат на компенсацію втрат в номінальному режимі

$$\mathcal{E}_{\text{т.з.}} = Z_{\text{п.с}} - Z_{\text{п.м}},$$

де $Z_{\text{я.с}}$, $Z_{\text{п.м}}$ - відповідно витрати на покриття втрат в сухому і масляному реакторі.

$$\mathcal{E}_{\text{т.з.}} = 1890 - 30 ,$$

$$\Xi_{т.з.} = 1860 \text{ грн.}$$

Таким чином економія виробничих ресурсів від виробництва і використання одиниці проектного масляного реактора становить:

- економія матеріалів - 8190 грн .;
- економія капітальних витрат - 16000 грн .;
- економія поточних витрат - 1860 грн.

9.6 Розрахунок беззбитковості виробництва

Беззбитковість виробництва виробця характеризується критичним обсягом виробництва при якому підприємство не отримує прибутку. При перевищенні критичного обсягу виробництво починає отримувати прибуток.

Критичний обсяг виробництва розраховується за формулою [9]

$$N_{кр} = \frac{S_{пост.N}}{Ц_i - S_{пер.i}},$$

де $S_{пост.N}$ - постійні витрати на обсяг виробництва, грн.;

$Ц_i$ - ціна одиниці виробу, грн.;

$S_{пер.i}$ - змінні витрати на одиницю продукції, грн.

Постійні витрати на обсяг виробництва розраховується за формулою

$$S_{пост.N} = (ОПР + АЗ + ЗР) \cdot N ,$$

де $N = 5$ кількість виготовлених одиниць.

$$S_{пост.N} = (213518,13 + 74791,35 + 10422) \cdot 5 ,$$

$$S_{пост.N} = 1493357,4 \text{ грн.}$$

Змінні витрати на одиницю продукції визначається за формулою

$$S_{\text{пер.і}} = M + K + Z_o + Z_p + \text{ЕСВ}$$

$$S_{\text{пер.і}} = 84563 + 10264 + 71172,71 + 28469,09 + 21921,19$$

$$S_{\text{пер.і}} = 216389,99 \text{ грн.}$$

Змінні витрати на обсяг продукції розраховується за формулою

$$S_{\text{пер.N}} = S_{\text{пер.і}} \cdot N ,$$

$$S_{\text{пер.N}} = 216389,99 \cdot 5 ,$$

$$S_{\text{пер.N}} = 1081949,95 \text{ грн.}$$

Обсяг продукції визначається за формулою

$$Q_{\text{гр}} = Ц_i \cdot N ,$$

$$Q_{\text{гр}} = 611250,65 \cdot 5 ,$$

$$Q_{\text{гр}} = 3056253,25 \text{ грн.}$$

$$N_{\text{кр}} = \frac{1493357,4}{611250,65 - 216389,99} ,$$

$$N_{\text{кр}} = 4.$$

Графік беззбитковості виробництва реакторів зображений на малюнку 7.1. З графіка видно, що внаслідок наявності постійних витрат, виробництво продукції до певного обсягу $N_{\text{кр}}$ є збитковим.

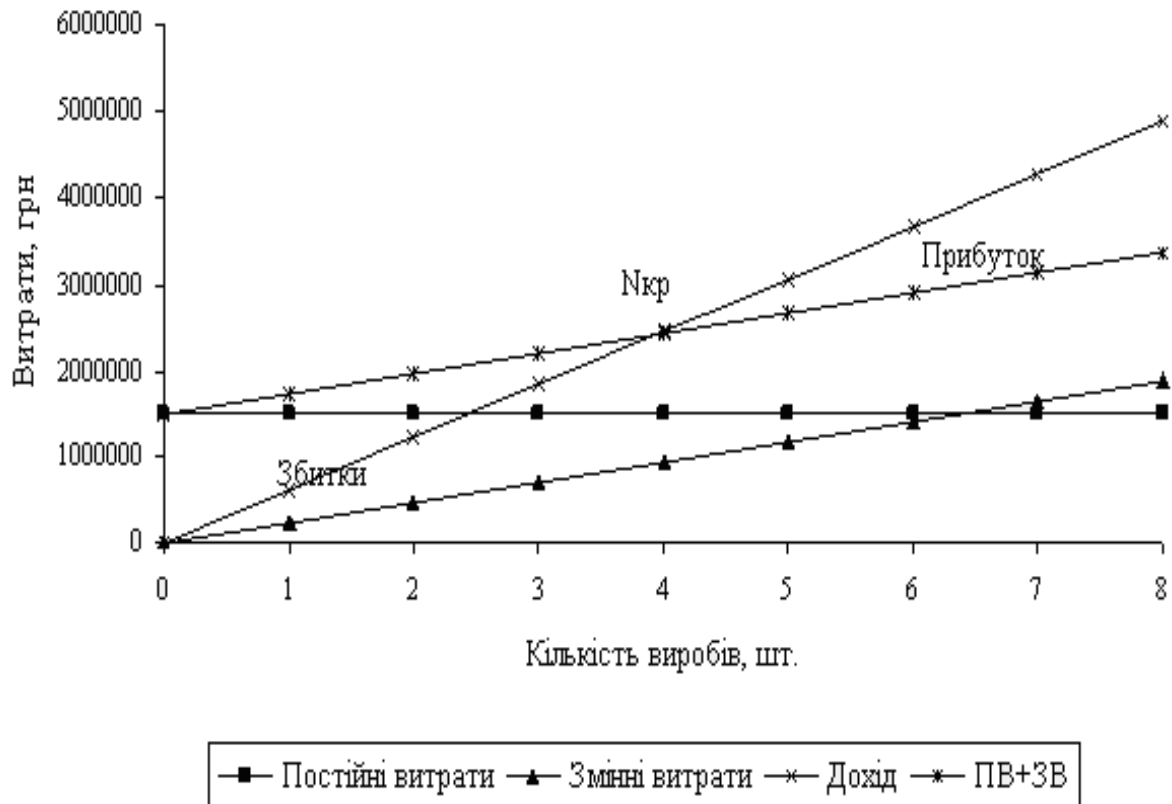


Рисунок 9.1 - Графік беззбитковості виробництва

По мірі збільшення виробництва, частина постійних витрат в їх загальній кількості зменшується. Зменшуються збитки і після досягнення $N_{кр}$ виробництво продукції стає рентабельним

10 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки тема магістерської роботи – «Дослідження електромагнітних характеристик струмообмежувального реактора 35 кВ», передбачає проведення досліджень та розрахунків у приміщенні дослідного центру обладнаному персональними комп'ютерами (далі – ПК) з візуальними дисплейними терміналами (далі – ВДТ), тому нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії і гігієни праці для приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ВДТ, а також заходи з пожежної безпеки та цивільного захисту, у відповідності з методичними вказівками [15, 16].

10.1 Аналіз потенційних небезпек

Ідентифікацію небезпек здійснюють згідно принципу, що «усе впливає на усе», тобто все може бути як джерелом небезпеки, так і зазнати небезпеки.

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і технологічних процесів у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ, згідно ГОСТ 12.0.003-74* «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [17], виявлені наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, здатні привести до травм або ушкодження здоров'я працівників:

- оскільки приміщення обладнане електротехнічними приладами та пристроями, тому, у разі порушення ізоляції або необережного поводження осіб, що працюють з комп'ютерами існує можливість ураження електричним струмом;

- порушення основних вимог до ергономічних характеристик моніторів може негативно позначитися на здоров'ї осіб, що працюють з комп'ютерами;

- незадовільні технічні характеристики моніторів, або неправильне його встановлення, можуть негативно вплинути на зір та на здоров'я загалом;

- підвищена або знижена температура, вологість і рухливість повітря в приміщенні, у випадку не якісної або нераціональної системи вентиляції та кондиціонування повітря, приводить до підвищеної стомлюваності, а як наслідок до помилок, зниженню працездатності, а також може бути причиною простудних захворювань;

- утворення озону, утворюється внаслідок впливу електричних зарядів, які виникають у лазерних принтерах, на кисень повітря, що сильно подразнює слизисту оболонку носа, очей і горла та може призвести до ракових захворювань як канцерогенна речовина;

- нераціональне освітлення, світлотехнічна специфіка робочих місць з ПК та недотриманням режиму праці може призвести до порушення зору осіб, що працюють з комп'ютерами;

- підвищений рівень шуму на робочому місці при неправильному або нераціональному розміщенні робочих місць і обладнання, при використанні неякісного обладнання або нераціональних режимів його роботи може бути причиною зниження працездатності, а також порушення слуху осіб, що працюють з комп'ютерами;

- підвищений рівень вібрації при неправильному або нераціональному розміщенні робочих місць і обладнання, негативно впливає на нервову, опорно-рухову та серцево-судинну системи й особливо – мікроциркуляторне русло серцево-судинної системи (дрібні судини, у яких іде безпосередня віддача кров'ю кисню й утилізація із тканин вуглекислого газу), що при тривалому впливі, може бути причиною виникнення або загострення професійної хвороби пов'язаної з впливом вібрації – «вібраційної хвороби»;

- неправильне положення роботи за комп'ютером, робота користувача вимагає тривалого статичного напруження м'язів спини, шиї, рук і ніг, що може привести до кістково-м'язових порушень;

- порушення вимог до режимів праці та відпочинку користувачів ПК, а саме неякісне або нераціональне розроблення внутрішньо-змінного режиму праці та відпочинку, відсутність або недотримання регламентованих перерв для

відпочинку є причиною підвищення нервово-емоційного напруження, втоми зорового аналізатора, погіршення мозкового кровообігу, проявів несприятливих наслідків гіподинамії, підвищення втоми;

- коротке замикання у електричному колі, може привести до виникнення пожежі, а це може бути причиною термічних опіків осіб, що працюють в лабораторії.

Також необхідно враховувати, що різні по природі своєї дії небезпечні і шкідливі виробничі фактори можуть проявлятися одночасно.

102 Заходи з охорони праці

10.2.1 Заходи по забезпеченню безпеки

Приміщення, у якому здійснюються дослідження та розрахунки електромагнітних характеристик струмообмежувального реактора 35 кВ, є спеціалізованим приміщенням дослідного центру яке обладнане ПК з ВДТ.

Приміщення відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26], «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ») [18], ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом» [20], НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [19], НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [35].

Обладнання та пристрої, що розташовані в приміщенні будуть експлуатуватися згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ») [21], НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») [22] та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [25].

У приміщенні обладнане п'ятнадцять робочих комп'ютеризованих місць, до складу яких входять п'ятнадцять рідкокристалічних моніторів Samsung S24F350F (LS24F350FNIXCI), офісні меблі та стенди. Розміри приміщення: $8,5 \times 11 \times 3,3$ м., тобто його площа – $93,5$ м², а об'єм – $308,6$ м³, покриття підлоги – паркет. Живлення електрообладнання приміщення здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц.

Згідно «ПУЕ» [18], за ступенем небезпеки ураження електрострумом, приміщення належить до 1-го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпеку.

Згідно глави 1.7 «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ» [18], обладнання приміщення має основну та подвійну ізоляцію, яка складається з основної та додаткової ізоляції.

Відповідно до п. 6.7.1 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» [?] ПК з ВДТ, периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК по способу захисту людини від ураження електричним струмом, належать до I класу, оскільки мають основну і подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» [22] усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні яке може опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Згідно «ПУЕ» [18] електрообладнання приміщення обладнаного ПК з ВДТ характеризується як електроустановки до 1 кВ, тому для забезпечення безпеки персоналу відповідно до вимог п. 1.7 «ПУЕ» [18] все електрообладнання заземлене. Величина опору контуру захисного заземлення, у будь-яку пору року, не перевищує – 4 Ом.

Оскільки приміщення за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1-го класу, тому згідно вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1-1.21-98

«ПБЕЕС» [25] та додатку №1 до НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» [21] користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають I групу з електробезпеки.

Персонал, зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників, що одноосібно обслуговує електромережі та електрообладнання у приміщенні дослідного центру, згідно вимог пунктів 5.1.1, 5.1.2 и 6.1.7 НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» [21] та пунктів 2.2.3 і 3.2.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» [22] має III групу з електробезпеки.

Відповідно до вимог глави 1.3 «Вибір провідників за нагрівом» – «ПУЕ» [18], усі електричні мережі та електроустаткування приміщення з ПК захищено від струмів короткого замикання та струмів перевантаження, а також перенапруги на ділянках цепі. В якості апаратів захисту застосовано автоматичні вимикачі. Які мають у своєму складі електромагнітний (для захисту від струмів короткого замикання) та тепловий (для захисту від перевантаження за струмом) роз'єднувачі, струми уставок яких (так як і запобіжників) обрані найменшими за розрахованими струмами для забезпечення вимог швидкодії, чутливості та селективності захисту.

Відповідно до вимог розділу «Мінімальні вимоги з охорони праці», директиви ЄС 90/270/ЄЕС [25] та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [25] виконано такі п'ять основних вимог до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що працюють з комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- яскравість та / або контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків і відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

Також врахований такий важливий чинник загальної ергономіки монітора, як можливість його регулювання. Тому у приміщенні встановлені сучасні монітори які дозволяють працювати з різними відео адаптерами і в

різних режимах.

10.2.2 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [32], ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26] і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [25].

Метеорологічні умови в приміщенні на робочих місцях з комп'ютерною технікою – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [27] і ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [28]. Роботи в приміщенні з КТ, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [29], з метою забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ передбачена система централізованого водяного опалення з радіаторами, а на теплий період, зважаючи на те, що площа приміщення становить 93,5 м²

передбачений побутовий кондиціонер типу Midea MSG-36HR. Виходячи з того, що один кондиціонер розрахований на приміщення площею – 100 м^2 .

З метою забезпечення необхідного повітрообміну у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ, зважаючи на те, що об'єм приміщення становить $308,6 \text{ м}^3$, передбачена система механічної припливно-витяжної вентиляції – методом рекуперації, за допомогою двох рекуператорів типу Prana-340A. Які забезпечують 3-кратний обмін повітря за годину, виходячи з того, що один рекуператор забезпечує наступний повітрообмін: приплив – $540 \text{ м}^3/\text{год}$, витяг – $520 \text{ м}^3/\text{год}$.

Оптимальні рівні позитивних ($n+$) і негативних ($n-$) іонів у повітрі приміщення дослідного центру з ВДТ відповідають вимогам додатку 3 ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26] і становить: $n+ = 1500-30000$ (шт. на 1 см^3); $n- = 3000-5000$ (шт. на 1 см^3). Підтримку оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечують за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

У приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» 30та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26], передбачено природне і штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, що створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачені сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Штучне освітлення в приміщенні, забезпечено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхнях столів в зоні розміщення документів становить $300-500 \text{ лк}$. Як джерела штучного освітлення

використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ. Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° з вертикаллю в повздовжній і поперечній площинах і складає не більше 200 кд/м^2 , захисний кут світильників – не менше 40° . Показник осліпленості для джерел загального штучного освітлення у приміщенні не перевищує 20, а показник дискомфорту, відповідно 40.

У приміщенні обмежена можливість прямих і відбитих відблисків від джерел природного та штучного освітлення на робочих поверхнях (екран, стіл, клавіатура). Яскравість світлових поверхонь (вікон, джерел штучного освітлення), розташованих в полі зору, не перевищує 200 кд/м^2 . Яскравість відблисків на дисплеях не перевищує 40 кд/м^2 , а яскравість стелі при застосуванні системи відбитого освітлення не перевищує 200 кд/м^2 .

Захистом від прямих відблисків є зниження яскравості видимої частини джерел світла шляхом застосування спеціальних розсіювачів, відбивачів та інших світлозахисних пристроїв, а також правильне розміщення робочих місць відносно джерел світла; від відображених відблисків – правильне розміщення предметів, використання матових поверхонь предметів в приміщенні.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26] і ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [31]. Зниження рівня шуму в приміщенні з ПК здійснюється за рахунок:

- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках;
- використання ПК, в яких термодавачі вмонтовані в блоці живлення і в критичних точках материнської плати, які дозволяють програмним шляхом регулювати моменти включення і швидкість обертання вентиляторів;
- перехід жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не

працює протягом певного часу;

- використання ПК, в яких вентилятор на процесорі встановлений виробником (BOX-процесор);

- CD-DVD пристрої взагалі не використовуються;

- розташування принтерів та БФП колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць користувачів ПК.

- встановлено спеціальні облицювання що поглинають звук;

- використовуються SSD накопичувачі.

Під час виконання робіт з ПК, значення характеристик вібрації на робочих місцях не перевищують допустимого рівню, які відповідають вимогам ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» [?]. Персонал не має потреби в додатковому захисті від вібрації, яку виробляють ПК. Оскільки ПК встановлені на спеціальний комп'ютерних столах, які поглинають залишкову вібрацію.

У приміщенні встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами шкідливого рентгенівського випромінювання. Рівень електромагнітних випромінювань моніторів відповідає вимогам НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [25] і ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26], тому спеціальні заходи для захисту персоналу не передбачені.

Розташування робочих місць з ПК у приміщенні виконано згідно вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26]. Розміри приміщення: $8,5 \times 11 \times 3,3$ м., тобто площа – $93,5$ м², об'єм – $308,6$ м³, з урахуванням розміщення в ньому п'ятнадцяти комп'ютеризованих робочих місць, відповідають нормативним вимогам. Оскільки на одне комп'ютеризоване робоче місце доводиться більше 6 м² площі й 20 м³ об'єму приміщення. Покриття підлоги є матовим з коефіцієнтом відбиття 0,3-0,5. Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними

властивостями. Для внутрішнього оздоблення приміщень з ПК використані дифузно-відбивні матеріали з коефіцієнтами відбиття для стелі 0,7-0,8; для стін 0,5-0,6.

Обладнання та організація всіх елементів робочих місць приміщення з ПК забезпечена з урахуванням їх взаємного розташування, ергономічних вимог, характером і особливостями трудової діяльності, відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26].

При розташуванні елементів робочого місця користувача ПК були враховані:

- робоча поза користувача;
- простір для розміщення користувача;
- можливість огляду елементів робочого місця;
- можливість ведення записів, розміщення документації і матеріалів, які використовуються користувачем.

Конструкція робочого місця користувачів ПК забезпечує підтримання оптимальної робочої пози. Робочі місця з ПК розташовані відносно віконних прорізів так, щоб природне світло падало збоку переважно зліва. Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм, шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм. Поверхня сидіння і спинки стільця напівм'яка з нековзним повітронепроникним покриттям, що легко чиститься і не електризується.

Вимоги до режимів праці та відпочинку користувачів ПК визначаються роботою, яку виконує користувач відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [26] та ДК 003:2010

«Класифікатор професій» [34]. Робота виконується у вільному темпі і пов'язана з періодичним пошуком помилок в умовах дефіциту часу, характеризується інтенсивною розумовою творчою працею з підвищеним напруженням зору, концентрацією уваги, нервово-емоційною напругою, статичною робочою позою, періодичним навантаженням на кисті верхніх кінцівок. Тому встановлені внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при 8-годинній денній робочій зміні та передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні 2 години. Для зниження нервово-емоційного напруження, втоми зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втомі деякі перерви використовуються для виконання комплексу вправ.

Передбачений для приміщення дослідного центру обладнаного персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці забезпечують безпечні та комфортні умови праці персоналу.

10.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

10.3.1 Заходи з пожежної безпеки

Комплекс протипожежних заходів для приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ВДТ, розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [35].

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» [36] у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [37], воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення дослідного центру що обладнане ПК з ВДТ належить до виробництва категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому відповідно до ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [38] воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [38] передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» [39], відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [19], та мають мінімальний ступінь захисту оболонок (ізоляції) обладнання IP44 який відповідає класу пожежанебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

Згідно вимог пункту 3.1.8 «ПУЕ» [18] електричні мережі у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ мають захист від струмів короткого замикання, який забезпечує найменший час відключення та вимоги селективності.

Згідно ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [38], в приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення

теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення дослідного центру що обладнане ПК з ВДТ має площу 93,5 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [38], для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 5 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

10.3.2 Порядок проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт

Ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій (далі – НС) організують відповідно до вимог глави 16 «Кодексу цивільного захисту України» [42] (далі – Кодексу ЦЗ України).

Аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи (далі – АР та ІНР) проводяться відповідно до вимог статті 79 «Кодексу ЦЗ України» [42].

Відповідно до вимог «Кодексу ЦЗ України» [42], у разі загрози виникнення надзвичайної ситуації залежно від прогнозованих наслідків та можливого рівня надзвичайної ситуації в Україні або у межах конкретної її території тимчасово вводиться режим підвищеної готовності.

Проведення АР та ІНР під час ліквідації наслідків НС здійснюється безоплатно.

Проведення АР та ІНР з ліквідації наслідків НС у мирний час та в особливий період включає:

- організацію та управління аварійно-рятувальними та іншими невідкладними роботами;
- розвідку районів, зон, ділянок, об'єктів проведення робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;
- визначення та локалізацію зони надзвичайної ситуації;
- виявлення та позначення районів, які зазнали радіоактивного, хімічного забруднення чи біологічного зараження (крім районів бойових дій);
- прогнозування зони можливого поширення надзвичайної ситуації та масштабів можливих наслідків;
- ліквідацію або мінімізацію впливу небезпечних чинників, які виникли внаслідок надзвичайної ситуації;
- пошук та рятування постраждалих, надання їм екстреної медичної допомоги і транспортування до закладів охорони здоров'я;
- евакуацію або відселення постраждалих;
- виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів;
- санітарну обробку населення та спеціальну обробку одягу, техніки, обладнання, засобів захисту, будівель, споруд і територій, які зазнали радіоактивного, хімічного забруднення чи біологічного зараження;
- надання медичної допомоги постраждалим, здійснення санітарно-протиепідемічних заходів, забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення в районі виникнення надзвичайної ситуації та місцях тимчасового розміщення постраждалих;
- запровадження обмежувальних заходів, обсервації та карантину;
- надання психологічної та матеріальної допомоги постраждалим, проведення їх медико-психологічної реабілітації;
- забезпечення громадського порядку в зоні надзвичайної ситуації;
- проведення першочергового ремонту та відновлення роботи пошкоджених об'єктів життєзабезпечення населення, транспорту і зв'язку;
- здійснення заходів соціального захисту постраждалих внаслідок НС;

- проведення інших робіт та заходів залежно від характеру та виду надзвичайної ситуації.

Авіаційний пошук і рятування постраждалих внаслідок аварії (катастрофи) повітряного судна здійснюється суб'єктами забезпечення цивільного захисту відповідно до компетенції. Організація пошуку та рятування таких постраждалих покладається на центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

АР та ІНР проводяться відповідно до порядку, що визначається інструкціями, правилами, статутами, іншими нормативними документами щодо дій у надзвичайних ситуаціях, які затверджуються відповідними центральними органами виконавчої влади.

АР та ІНР, гасіння пожеж проводяться в максимально стислі строки, безперервно до їх повного завершення, з найбільш повним використанням можливостей сил і засобів, неухильним дотриманням вимог встановлених режимів робіт та правил безпеки.

В окремих випадках з урахуванням вимог статті 103 «Кодексу ЦЗ України» [42] для ліквідації наслідків НС можуть залучатися особи, які навчаються у навчальних закладах цивільного захисту.

Матеріальні збитки, завдані внаслідок пошкодження майна під час проведення АР та ІНР з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, органами управління та силами цивільного захисту не відшкодовуються.

Відшкодування шкоди, заподіяної під час проведення АР та ІНР, здійснюється відповідно до глави 17 «Кодексу ЦЗ України» [42].

Витрати на проведення окремих АР та ІНР, здійснені силами цивільного захисту, можуть бути повністю або частково відшкодовані відповідно до закону.

Транспортні засоби аварійно-рятувальних служб, які мають кольорово-графічні позначення встановленого зразка, спеціальні звукові та світлові сигнали, під час прямування до зони надзвичайної ситуації мають право

безперешкодного проїзду, позачергового придбання пального та мастильних матеріалів.

Пересування автомобільними дорогами великогабаритних та великовагових транспортних засобів до місця проведення АР та ІНР з ліквідації наслідків НС та у зворотному напрямку здійснюється на підставі дозволу відповідного підрозділу Міністерства внутрішніх справ України, що видається невідкладно, протягом однієї години, згідно з поданою заявкою, без проведення додаткових процедур погодження.

10.3.3 Дослідження можливих наслідків при вибуху парів бензину [40]

Однією із причин великих виробничих аварій і катастроф є вибухи, які на промислових підприємствах супроводжуються обвалом і деформаціями споруд, пожежами, виходами з ладу енергосистем.

Причинами вибухів газоповітряних сумішей можуть бути: відкритий вогонь, електрична іскра, в тому числі від статичної електрики, а також терористичний акт.

Для реалізації комбінованого або детонаційного вибуху для газоповітряних та пароповітряних сумішей (ГПС і ППС) обов'язковою умовою є створення концентрації продукту горіння в повітрі в межах нижньої та верхньої концентрації межі.

Дія ударної хвилі на елементи споруд характеризуються складним комплексом навантажень:

- тиск прямий, відбиття, обтікання та затікання;
- навантаження від сейсмо-вибухових хвиль.

Дію ударної хвилі прийнято оцінювати надлишковим тиском у фронті ударної хвилі ΔP (кПа).

Визначимо максимальний надлишковий тиск у фронті ударної хвилі (ΔP) та можливі наслідки для виробництва і персоналу при вибуху парів бензину, якщо на складі підприємства трапиться вибух ємності з бензином (об'єм

резервуара $V_{рез} = 4000 \text{ м}^3$, заповнення бензину $V_{бенз} = 80 \%$; зміст бензину в паровій фазі $\Delta m = 2,5 \%$, густина бензину $\rho = 0,75 \text{ т/м}^3$) на відстані до цехів $L = 450 \text{ м}$.

1). Визначимо об'єм пари бензину в резервуарі ($V_{пар}, \text{ м}^3$), за формулою:

$$V_{пар} = V_{рез} - V_{бенз} = 4000 - \frac{4000 \cdot 80\%}{100\%} = 800 \text{ м}^3.$$

2). Визначимо об'єм бензину ($V_{бенз}^{пар}, \text{ м}^3$), який знаходиться в пароподібному стані, за формулою:

$$V_{бенз}^{пар} = \frac{V_{пар} \cdot \Delta m}{100} = \frac{800 \cdot 2,5}{100} = 20 \text{ м}^3,$$

де Δm – вміст бензину, який знаходиться у пароподібному стані, %.

3). Розрахуємо масу бензину ($Q_{бенз}, \text{ т}$), який знаходиться в пароподібному стані, за формулою 8.3:

$$Q_{бенз} = V_{бенз}^{пар} \cdot \rho = 20 \cdot 0,75 = 15 \text{ т}.$$

де ρ – густина бензину, т/м^3 .

4). За графіком (рис. 10.1) за значенням $L = 450 \text{ м}$ та $Q_{бенз} = 15 \text{ т}$ визначаємо тиск у фронті ударної хвилі $\Delta P = 13 \text{ кПа}$.

5). При вибуху випарів бензину надлишковий тиск у фронті ударної хвилі (ΔP) в районі цеху може становити $\Delta P = 13 \text{ кПа}$. При цьому:

- будівля та промислові об'єкти не отримають руйнувань;
- працівники в основному перебуватимуть у безпеці, хоча деякі можуть отримати легкі ураження (забиті місця, вивихи, тимчасову втрату слуху, загальну контузію), оскільки надлишковий тиск перевищує 10 кПа .

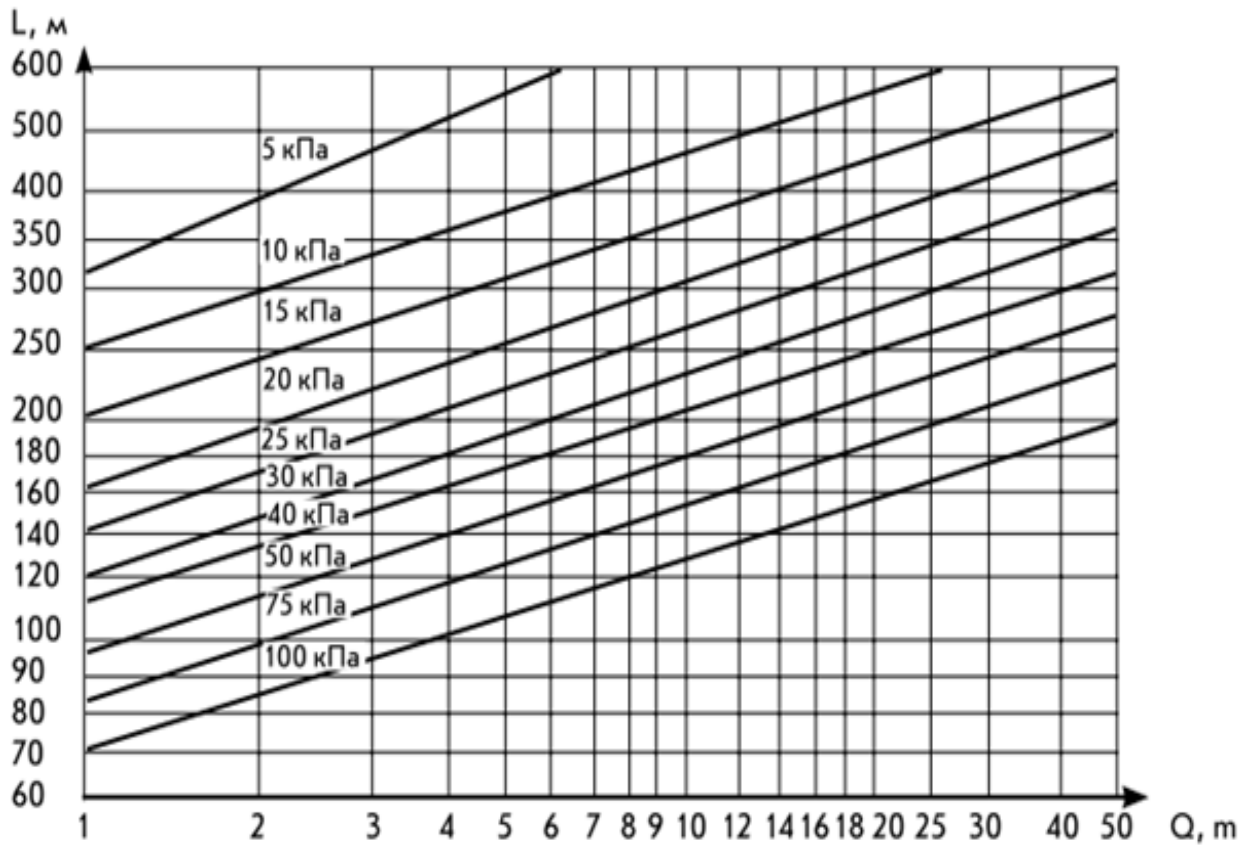


Рисунок 10.1 – Залежність надлишкового тиску від маси зрідженого вуглеводневого газу та відстані до об'єкта при вибуху пароповітряної суміші

Передбачений комплекс заходів з пожежної безпеки і цивільного захисту щодо своєчасної та якісної підготовки до проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, підвищують стійкість роботи об'єктів господарювання та безпеку персоналу та населення в умовах пожеж та інших надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено розрахунок масляного струмообмежуючого реактора. Спроекований апарат має параметри, що задовольняють заданим технічним завданням значень: номінальна напруга 35 кВ, номінальний струм 90 А, індуктивний опір 15 Ом.

Визначено габаритні розміри складальних одиниць і всього апарату в цілому, основні технічні характеристики і відповідності їх стандартам.

Визначено геометричні розміри обмотки реактора за умови відомого значення його індуктивності досягнуто методом послідовних наближень за формулами для розрахунку індуктивності з використанням спеціальних діаграм, а також аналітичним методом із застосуванням ПЕОМ.

Обрана конструктивна форма обмотки реактора перевірена на відповідність необхідної індуктивності, на нагрів номінальним струмом, а також розраховані електродинамічні зусилля в реакторі при протіканні аварійних струмів.

Запропонована схема заміщення з достатнім ступенем точності моделює реальний тепловий стан обмотки реактора. На результати експерименту впливає нерівномірний розподіл пропиточного лаку по висоті обмотки і наявність бандажної стрічки.

Крім того, в результаті розрахунку на основі поєднання теоретичних і чисельних методів, реалізованих на ПЕОМ, розроблена зварна конструкція бака реактора однофазного масляного зовнішньої установки з природною циркуляцією масла. Також визначені габаритні і настановні розміри складальних одиниць і всього апарату в цілому: при висоті 2 м 35 см його ширина становить 2 м. Основні технічні характеристики відповідають стандартам. Економічна ефективність (економія вироблених ресурсів) від виробництва і використання одиниць проєктованого масляного реактора становить економію матеріалів - 8190 грн., економію капітальних витрат - 16000 грн., економію поточних витрат - 1860 грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Чунихин А. А., Жаворонков М. А. Аппараты высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. - 432с.
2. Стернин В. Г., Карпенский А. К. Сухие токоограничивающие реакторы. – М.: Энергия, 1965. - 256с.
3. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 529с.
4. Герасимова Л. С., Майорец А. И. Обмотки и изоляция силовых масляных трансформаторов. - М.: Энергия, 1969. - 359с.
5. Бабилов М. А. Электрические аппараты электроэнергетических систем высокого напряжения. Часть 3. - М.: Госэнергоиздат, 1963. - 736с.
6. Панченко В. В. Расчет и конструирование электрических аппаратов высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 247с.
7. Лейтес Л. В. Электромагнитный расчет трансформаторов и реакторов. - М.: Энергия, 1981.-392с.
8. Петров Г. Н. Электрические машины. Часть 1. - М.: Энергия, 1974. - 305с.
9. РД 16.431-88. Трансформаторы силовые. Расчет электродинамической стойкости обмоток при коротком замыкании.
1. Тихонов А.И., Иванов А.В. Проектирование и производство токоограничивающих реакторов из алюми-ниеовой ленты/ Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2010. – 116 с.
2. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высш. шк., 1989. – 239 с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел В.А. Теп-лопередача: учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 416 с.
10. РД 16.452-88. Трансформаторы силовые масляные с системами охлаждения. Тепловой расчет обмоток.

11. Мескон М. Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: Пер. с англ.- М.: Дело, 1998.-704с.
12. Економіка підприємства. Підручник в 2-х томах / За редакцією С. Ф. Покропивного - К.: Хвиля - Прес, 1995- 680с.
13. Вильям Дж. Стивенсон. Управление производством. Пер. с англ. - М.: 2000 Издательство “Лаборатория базовых знаний”, ЗАО “Издательство БИНОМ”, 1998.-928с.
14. Плоткш Я. Д. Організація і планування. - Львів.: Видавництво “Освіта”, 1996.-350
15. . Журавель М. О. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) : зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітніми програмами (спеціалізаціями) – «Електротехнічні системи електроспоживання», «Електричні машини і апарати», «Електромеханічні (електротехнічні) системи та комплекси», «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод», «Електричні та електронні апарати», «Електромеханічне обладнання електроємних виробництв» : Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. 35 с.
16. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-617-07-0134-3
17. ГОСТ 12.0.003-74* Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Введ. 1976-01-01]. М. : Госстандарт СССР, 1974. 4 с. (Межгосударственный стандарт)
18. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
19. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устройства электроустановок, затв. Міненерго СРСР

06.07.1984 р. ; чинний від 2002-01-01]. – К. : Мінпраці України, 2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01/card2#Card>.

20. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Державний Стандарт України)

21. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Нормативно-правовий акт охорони праці)

22. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Нормативно-правовий акт охорони праці)

23. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30]. К. : МОЗ України, 2014. 37 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (Державні санітарні норми та правила)

24. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с. Режим доступу: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>. (Директива)

25. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. (Нормативно-правовий акт охорони праці)

26. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. К. : МОЗ України, 1998. URL:

<http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. (Державні санітарні правила та норми)

27. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. (Державні санітарні норми)

28. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [На заміну ГОСТ 12.1.005-76 ; чинний з 1989-01-01]. М. : МОЗ СРСР, 1988. 50 с. (Міждержавний стандарт)

29. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Державні будівельні норми України)

30. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Державні будівельні норми України)

31. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>. (Державні санітарні норми)

32. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. (Державні санітарні норми)

33. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний з 2011-10-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2011. 31 с. (Державні будівельні норми України)

34. ДК 003:2010. Класифікатор професій. [На заміну ДК 003:2005 ; чинний від 2010-01-11 ; станом на 15.02.2019]. К. : Держспоживстандарт України, 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va327609-10>.

35. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с. (Нормативний акт пожежної безпеки)

36. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87 ; чинний з 01.01.2016]. К. : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Державний Стандарт України)

37. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Державний Стандарт України)

38. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми)

39. СНиП 2.09.02-85* Производственные здания. Зі змінами. [На заміну СНиП II-90-81 ; СНиП II-М.2-62 ; СН 317-65 ; СН 353-66 ; чинний від 1987-01-01]. К. : Госстрой СССР, 1988. (Строительные нормы и правила)

40. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Державні будівельні норми)

41. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Правила)

42. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 03.07.2020. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

43. Журавель М. О., Курков О. Б., Журавель С. М. Розрахунок зон ураження від вибухів і пожеж, що виникли у наслідок надзвичайної ситуації техногенного характеру або терористичного акту : методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для студентів усіх спеціальностей та форми навчання : Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. 18 с.

44. ГОСТ 11677-85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия.

45. Тихонов А.И., Иванов А.В. Использование библиотеки моделирования магнитного поля при расчете реактора из алюминиевой ленты //Вестник ИГЭУ- 2009.- Вып. 3. – с. 25-28.

46. Тихонов А.И., Иванов А.В. Расчет и производство струмообмежующих реакторов из алюминиевой ленты / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, 2010.

47. Тихонов А.И., Казаков Ю.Б. Программирование численного эксперимента с использованием конечно-элементной модели магнитного поля в объектах электромеханики / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, 2008.

48. ГОСТ 14209-85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки

49. Пешковский О.И. ПЗ1 Технология изготовления металлических конструкций. Учебник для техникумов. Изд. 2-е, перераб.-М.,Стройиздат,1978. 316с.

Додаток А

РАСЧЕТ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ К.З.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ЧАСТОТА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ 50.00 ГЦ
 ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ 1.000

ТАБЛИЦА А.1 - ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

:НОМЕР ИСТОЧНИКА	:	1.	:
: ТОК, А	:	90.00:	
:ФАЗА, ГРАДУСЫ	:	0.	:

ТАБЛИЦА А.2 - ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВ КАТУШЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
(РАЗМЕРЫ В ММ)

:НОМЕР ТИПА	:	1	:	2	:	3	:	4	:	5	:
:СРЕДНИЙ ДИАМЕТР	:	102.30:		286.90:		471.50:		656.10:		840.71:	
:РАДИАЛЬНЫЙ РАЗМЕР	:	92.30:		92.30:		92.30:		92.30:		92.30:	
:ВЫСОТА ПО МЕТАЛЛУ	:	10.00:		10.00:		10.00:		10.00:		10.00:	
:ЧИСЛО ВИТКОВ	:	1.00:		1.00:		1.00:		1.00:		1.00:	
:ДИАМЕТР СТЕРЖНЯ	:	.00:		.00:		.00:		.00:		.00:	
:АКТ. СОПР., МИЛЛИОМ	:	.01:		.03:		.06:		.08:		.10:	
:НОМЕР ТИПА	:	6	:	7	:	8	:	9	:		:
:СРЕДНИЙ ДИАМЕТР	:	1000.01:		1000.01:		1227.01:		1417.81:			
:РАДИАЛЬНЫЙ РАЗМЕР	:	66.09:		66.09:		160.00:		20.00:			
:ВЫСОТА ПО МЕТАЛЛУ	:	10.00:		969.12:		10.00:		130.00:			
:ЧИСЛО ВИТКОВ	:	1.00:		355.75:		1.00:		1.00:			
:ДИАМЕТР СТЕРЖНЯ	:	.00:		.00:		.00:		.00:			
:АКТ. СОПР., МИЛЛИОМ	:	.17:		263.70:		.09:		.06:			

ТАБЛИЦА А.3 - КООРДИНАТЫ КАТУШЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ДЛЯ КОНТРОЛЯ)

:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	1:	2:	3:	4:	5:
:КООРДИНАТА, ММ	:	.0:1290.0:	.0:1290.0:	.0:		
:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	6:	7:	8:	9:	10:
:КООРДИНАТА, ММ	:	:1290.0:	.0:1290.0:	.0:1290.0:		
:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	11:	12:	13:	14:	15:
:КООРДИНАТА, ММ	:	.0:	157.4:1273.9:	.0:1290.0:		
:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	16:	17:	18:	19:	20:
:КООРДИНАТА, ММ	:	.0:	130.0:	260.0:	390.0:	520.0:
:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	21:	22:	23:	24:	25:
:КООРДИНАТА, ММ	:	650.0:	780.0:	910.0:	1040.0:	1170.0:

ТАБЛИЦА А.4 - ХАРАКТЕРИСТИКА КАТУШЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	1 :	2 :	3 :	4 :	5 :
:ТИП ЭЛЕМЕНТА	:	1.0:	1.0:	2.0:	2.0:	3.0:
:НОМЕР КАТУШЕЧНОЙ ВЕТВИ:	:	2.:	1.:	4.:	3.:	6.:
:АКС. РАССТОЯНИЕ, ММ	:	.0:1280.0:	.0:1280.0:	.0:		
:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	6 :	7 :	8 :	9 :	10 :
:ТИП ЭЛЕМЕНТА	:	3.0:	4.0:	4.0:	5.0:	5.0:
:НОМЕР КАТУШЕЧНОЙ ВЕТВИ:	:	5.:	8.:	7.:	10.:	9.:
:АКС. РАССТОЯНИЕ, ММ	:	:1280.0:	.0:1280.0:	.0:1280.0:		
:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	11 :	12 :	13 :	14 :	15 :
:ТИП ЭЛЕМЕНТА	:	6.0:	7.0:	6.0:	8.0:	8.0:
:НОМЕР КАТУШЕЧНОЙ ВЕТВИ:	:	13.:	12.:	11.:	15.:	14.:
:АКС. РАССТОЯНИЕ, ММ	:	.0:	147.4:	147.4:	.0:1280.0:	
:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	16 :	17 :	18 :	19 :	20 :
:ТИП ЭЛЕМЕНТА	:	9.0:	9.0:	9.0:	9.0:	9.0:
:НОМЕР КАТУШЕЧНОЙ ВЕТВИ:	:	25.:	24.:	23.:	22.:	21.:
:АКС. РАССТОЯНИЕ, ММ	:	.0:	.0:	.0:	.0:	.0:

:НОМЕР ЭЛЕМЕНТА	:	21 :	22 :	23 :	24 :	25 :
:ТИП ЭЛЕМЕНТА	:	9.0:	9.0:	9.0:	9.0:	9.0:
:НОМЕР КАТУШЕЧНОЙ ВЕТВИ:	:	20.:	19.:	18.:	17.:	16.:
:АКС.РАССТОЯНИЕ,ММ	:	.0:	.0:	.0:	.0:	.0:

ТАБЛИЦА А.5 - СОЕДИНЕНИЯ КАТУШЕЧНЫХ ВЕТВЕЙ

:НОМЕР ВЕТВИ	:	1:	2:	3:	4:	5:	6:	7:
:НОМЕР УЗЛА НАЧАЛА	:	0:	0:	0:	0:	0:	0:	0:
:НОМЕР УЗЛА КОНЦА	:	0:	0:	0:	0:	0:	0:	0:
:НОМЕР ВЕТВИ	:	8:	9:	10:	11:	12:	13:	14:
:НОМЕР УЗЛА НАЧАЛА	:	0:	0:	0:	0:	1:	0:	0:
:НОМЕР УЗЛА КОНЦА	:	0:	0:	0:	0:	0:	0:	0:
:НОМЕР ВЕТВИ	:	15:	16:	17:	18:	19:	20:	21:
:НОМЕР УЗЛА НАЧАЛА	:	0:	0:	0:	0:	0:	0:	0:
:НОМЕР УЗЛА КОНЦА	:	0:	0:	0:	0:	0:	0:	0:
:НОМЕР ВЕТВИ	:	22:	23:	24:	25:			
:НОМЕР УЗЛА НАЧАЛА	:	0:	0:	0:	0:			
:НОМЕР УЗЛА КОНЦА	:	0:	0:	0:	0:			

ТАБЛИЦА А.6 - СОЕДИНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

:НОМЕР ИСТОЧНИКА ТОКА	:	1:
:НОМЕР УЗЛА ПОДКЛЮЧЕНИЯ:	:	1:

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И
СОПРОТИВЛЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

РЕЖИМ 1 (НОМ)

ТАБЛИЦА А.7 - ТОК В КАТУШЕЧНЫХ ВЕТВЯХ

: НОМЕР ВЕТВИ	:	1	:	2	:	3	:	4	:
: МОДУЛЬ ТОКА, А	:	97.5	:	101.8	:	244.1	:	256.6	:
: ФАЗА ТОКА, ГРАДУСЫ:	:	178.	:	178.	:	-179.	:	-179.	:
: НОМЕР ВЕТВИ	:	5	:	6	:	7	:	8	:
: МОДУЛЬ ТОКА, А	:	414.4	:	437.6	:	575.5	:	632.3	:
: ФАЗА ТОКА, ГРАДУСЫ:	:	-178.	:	-178.	:	-176.	:	-177.	:
: НОМЕР ВЕТВИ	:	9	:	10	:	11	:	12	:
: МОДУЛЬ ТОКА, А	:	660.8	:	795.3	:	731.6	:	90.0	:
: ФАЗА ТОКА, ГРАДУСЫ:	:	180.	:	-175.	:	-166.	:	0.	:
: НОМЕР ВЕТВИ	:	13	:	14	:	15	:	16	:
: МОДУЛЬ ТОКА, А	:	602.2	:	510.8	:	629.2	:	222.3	:
: ФАЗА ТОКА, ГРАДУСЫ:	:	-171.	:	176.	:	-179.	:	158.	:
: НОМЕР ВЕТВИ	:	17	:	18	:	19	:	20	:
: МОДУЛЬ ТОКА, А	:	1049.2	:	1627.2	:	1904.4	:	2005.3	:
: ФАЗА ТОКА, ГРАДУСЫ:	:	-179.	:	-179.	:	-179.	:	-179.	:
: НОМЕР ВЕТВИ	:	21	:	22	:	23	:	24	:
: МОДУЛЬ ТОКА, А	:	2009.6	:	1920.5	:	1668.8	:	1125.1	:
: ФАЗА ТОКА, ГРАДУСЫ:	:	-179.	:	-179.	:	-179.	:	-179.	:
: НОМЕР ВЕТВИ	:	25	:		:		:		:
: МОДУЛЬ ТОКА, А	:	251.0	:		:		:		:
: ФАЗА ТОКА, ГРАДУСЫ:	:	156.	:		:		:		:

ТАБЛИЦА А.8 - ПОТРЕБЛЯЕМЫЕ МОЩНОСТИ
(ОТ КАЖДОГО ИСТОЧНИКА ТОКА)

: НОМЕР ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ :	1. :
: ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ, КВА :	121.850 :
: АКТ.МОЩНОСТЬ, КВТ :	3.953 :
: РЕАКТ.МОЩНОСТЬ, КВАР :	121.785 :

ТАБЛИЦА А.9 - СОПРОТИВЛЕНИЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
(СО СТОРОНЫ ИСТОЧНИКОВ ТОКА), ОМ

: НОМЕР ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ :	1. :
: МОДУЛЬ (Z) :	15.043 :
: АКТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ (R) :	.488 :
: РЕАКТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ (X) :	15.035 :

ТАБЛИЦА А.10 - РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПО УЗЛАМ СХЕМЫ

: НОМЕР УЗЛА :	1. :
: МОДУЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, В :	1353.9 :
: ФАЗА НАПРЯЖЕНИЯ, ГРАДУСЫ :	88.141 :

Додаток Б

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРА

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ТАБЛИЦА Б.1 - ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМОВ

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР РЕЖИМА :	1	2	3
НОМЕР РЕЖИМА :	1.	2.	3.
ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМА :	НОМ	НОМ	КЗ
НОМЕР РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ :	1.	1.	1.

ТАБЛИЦА Б.2 - ПАРАМЕТРЫ РАСЧЕТНЫХ СТЕРЖНЕЙ

НОМЕР РАСЧЕТНОГО СТЕРЖНЯ:	1
ДИАМЕТР СТЕРЖНЯ, ММ :	.0
ЧИСЛО КОНЦЕНТРОВ :	8.

ТАБЛИЦА Б.3 - ПАРАМЕТРЫ ЗАМКНУТЫХ МОДЕЛЕЙ
ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ

ДИАМЕТР НАРУЖНОГО ФЕРРОМАГНЕТИКА, ММ :	1437.0
ВЫСОТА РАСЧЕТНОГО ПАЗА, ММ :	1300.0
ОСЕВОЕ СМЕЩЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЛИНИИ ЯРМА, ММ :	.0
ПРОНИЦАЕМОСТЬ ВНУТРЕННЕГО ФЕРРОМАГНЕТИКА :	1.
ПРОНИЦАЕМОСТЬ НАРУЖНОГО ФЕРРОМАГНЕТИКА :	200.
КОЛИЧЕСТВО ЧЛЕНОВ РЯДА (<=200) :	200.

ТАБЛИЦА Б.4 - ПАРАМЕТРЫ КОНЦЕНТРОВ

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР :	1	2	3	4
ИМЯ КОНЦЕНТРА :	ЭК1	ЭК2	ЭК3	ЭК4
НОМЕР КОНЦЕНТРА :	1.	2.	3.	4.
ЧИСЛО ГРУПП КАТУШЕК:	1.	1.	1.	1.
ЧИСЛО ГРУПП КАНАЛОВ:	1.	1.	1.	1.
УСАДКА БУМАГИ, % :	.00	.00	.00	.00
УСАДКА КАРТОНА, % :	.00	.00	.00	.00
КООРДИНАТА НИЗА, ММ:	.00	.00	.00	.00
СРЕДНИЙ ДИАМЕТР, ММ:	102.30	286.90	471.50	656.10
РАДИАЛЬН. РАЗМЕР, ММ:	92.30	92.30	92.30	92.30

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	:	5	6	7	8
ИМЯ КОНЦЕНТРА	:	ЭК5	ОБМ1	ЭК6	ЭК7
НОМЕР КОНЦЕНТРА	:	5.	6.	7.	8.
ЧИСЛО ГРУПП КАТУШЕК:		1.	5.	1.	1.
ЧИСЛО ГРУПП КАНАЛОВ:		1.	7.	1.	1.
УСАДКА БУМАГИ, %	:	.00	7.91	.00	.00
УСАДКА КАРТОНА, %	:	.00	5.19	.00	.00
КООРДИНАТА НИЗА, ММ:		.00	.00	.00	.00
СРЕДНИЙ ДИАМЕТР, ММ:		840.70	1000.00	1227.00	1417.80
РАДИАЛЬН. РАЗМЕР, ММ:		92.30	66.9	160.00	20.00

ТАБЛИЦА Б.5 - ПАРАМЕТРЫ ТИПОВ КАТУШЕК

НОМЕР ТИПА	:	1	2	3	4	5	6	7
ЧИСЛО ВИТКОВ	:	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.94
ВЫС. МЕТАЛЛА, ММ:		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	16.00
ВЫС. БУМАГИ, ММ:		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.96
ЧИСЛО ХОДОВ	:	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.

НОМЕР ТИПА	:	8	9	10
ЧИСЛО ВИТКОВ	:	9.94	1.00	1.00
ВЫС. МЕТАЛЛА, ММ:		16.00	10.00	130.00
ВЫС. БУМАГИ, ММ:		.96	.00	.00
ЧИСЛО ХОДОВ	:	1.	1.	1.

ТАБЛИЦА Б.6 - ПАРАМЕТРЫ ГРУПП КАТУШЕК

НОМЕР ГРУППЫ	:	1	2	3	4	5	6	7	8
ЧИСЛО КАТУШЕК	:	2.	2.	2.	2.	2.	1.	1.	34.
НОМЕР ТИПА	:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
НОМЕР ГРУППЫ	:	9	10	11	12				
ЧИСЛО КАТУШЕК	:	1.	1.	2.	10.				
НОМЕР ТИПА	:	7.	6.	9.	10.				

ТАБЛИЦА Б.7 - ПАРАМЕТРЫ ГРУПП КАНАЛОВ

НОМЕР ГРУППЫ :	1	2	3	4	5	6	7
ЧИСЛО КАНАЛОВ:	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
ВЫС.КАНАЛА,ММ:	*****155.00						14.00
НОМЕР ГРУППЫ :	8	9	10	11	12	13	14
ЧИСЛО КАНАЛОВ:	6.	21.	6.	1.	1.	1.	9.
ВЫС.КАНАЛА,ММ:	12.00	10.00	12.00	14.00	155.00	*****	.00

ТАБЛИЦА Б.8 - ПАРАМЕТРЫ УЧАСТКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕТВЕЙ

НОМЕР УЧАСТКА :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
НОМЕР КОНЦЕНТРА:	1.	1.	2.	2.	3.	3.	4.	4.	5.	5.	6.	6.	6.
ПЕРВАЯ КАТУШКА :	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	38.
ШАГ ПО КАТУШКАМ:	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
ЧИСЛО КАТУШЕК :	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	36.	1.
НОМЕР ВЕТВИ :	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
НОМЕР УЧАСТКА :	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
НОМЕР КОНЦЕНТРА:	7.	7.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	
ПЕРВАЯ КАТУШКА :	1.	2.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	
ШАГ ПО КАТУШКАМ:	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	
ЧИСЛО КАТУШЕК :	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	
НОМЕР ВЕТВИ :	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	

ТАБЛИЦА Б.9 - ТОКИ ВЕТВЕЙ ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР РЕЖИМА 1

НОМЕР ВЕТВИ:	1	2	3	4
ТОК, А :	.2639E+01	.3307E+01	-.5987E+01	-.5594E+01
НОМЕР ВЕТВИ:	5	6	7	8
ТОК, А :	-.1615E+02	-.1554E+02	-.4504E+02	-.3617E+02
НОМЕР ВЕТВИ:	9	10	11	12
ТОК, А :	.5522E+01	-.6569E+02	-.1800E+03	.1372E-16

НОМЕР ВЕТВИ:	13	14	15	16
ТОК, А	: -.9408E+02	.3763E+02	-.1139E+02	.8501E+02
НОМЕР ВЕТВИ:	17	18	19	20
ТОК, А	: -.1890E+02	-.3773E+02	-.4198E+02	-.4055E+02
НОМЕР ВЕТВИ:	21	22	23	24
ТОК, А	: -.4045E+02	-.4180E+02	-.3782E+02	-.2860E+02
НОМЕР ВЕТВИ:	25			
ТОК, А	: .1027E+03			

ТАБЛИЦА Б.10 - ТОКИ ВЕТВЕЙ ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР РЕЖИМА 2

НОМЕР ВЕТВИ:	1	2	3	4
ТОК, А	: -.9745E+02	-.1017E+03	-.2441E+03	-.2565E+03
НОМЕР ВЕТВИ:	5	6	7	8
ТОК, А	: -.4141E+03	-.4373E+03	-.5738E+03	-.6312E+03
НОМЕР ВЕТВИ:	9	10	11	12
ТОК, А	: -.6608E+03	-.7925E+03	-.7091E+03	.9000E+02
НОМЕР ВЕТВИ:	13	14	15	16
ТОК, А	: -.5948E+03	-.5094E+03	-.6291E+03	-.2054E+03
НОМЕР ВЕТВИ:	17	18	19	20
ТОК, А	: -.1049E+04	-.1627E+04	-.1904E+04	-.2005E+04
НОМЕР ВЕТВИ:	21	22	23	24
ТОК, А	: -.2009E+04	-.1920E+04	-.1668E+04	-.1125E+04
НОМЕР ВЕТВИ:	25			
ТОК, А	: -.2290E+03			

ТАБЛИЦА Б.11 - ТОКИ ВЕТВЕЙ ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР РЕЖИМА 3

НОМЕР ВЕТВИ:	1	2	3	4
ТОК, А :	.4333E+04	.4524E+04	.1085E+05	.1140E+05
НОМЕР ВЕТВИ:	5	6	7	8
ТОК, А :	.1842E+05	.1945E+05	.2558E+05	.2812E+05
НОМЕР ВЕТВИ:	9	10	11	12
ТОК, А :	.2937E+05	.3535E+05	.3252E+05	.4000E+04
НОМЕР ВЕТВИ:	13	14	15	16
ТОК, А :	.2676E+05	.2270E+05	.2796E+05	.9880E+04
НОМЕР ВЕТВИ:	17	18	19	20
ТОК, А :	.4663E+05	.7232E+05	.8464E+05	.8912E+05
НОМЕР ВЕТВИ:	21	22	23	24
ТОК, А :	.8932E+05	.8536E+05	.7417E+05	.5000E+05
НОМЕР ВЕТВИ:	25			
ТОК, А :	.1116E+05			

РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТА
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЛЬНОЙ (ВР) И ОСЕВОЙ (ВО) СОСТАВЛЯЮЩИХ
МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ НА ОБРАЗУЮЩИХ 1,2,3 КОНЦЕНТРА, СРЕДНИХ
ЗНАЧЕНИЙ ВРСР, ВОСР В КАТУШКАХ N С ОСЕВЫМИ КООРДИНАТАМИ Z

ТАБЛИЦА Б.12 - РЕЖИМ 1 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 1 ЭК1

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	0.	0.	0.	0.	-1.	-1.	-1.
2	5.	0.	0.	0.	0.	-1.	-1.	-1.

ТАБЛИЦА РЕЖИМ Б.12.1 1 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 2 ЭК2

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	0.	0.	0.	0.	-1.	-1.	-1.
2	5.	0.	0.	-0.	0.	-1.	-1.	-1.

ТАБЛИЦА Б.12.2- РЕЖИМ 1 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 3 ЭК3

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	0.	0.	0.	0.	-1.	-1.	-2.
2	5.	-0.	-0.	-0.	-0.	-1.	-1.	-2.

ТАБЛИЦА Б.12.3 - РЕЖИМ 1 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 4 ЭК4

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	0.	0.	0.	0.	-2.	-1.	-0.
2	5.	-0.	-0.	-0.	-0.	-2.	-1.	-2.

ТАБЛИЦА Б.12.4 - РЕЖИМ 1 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 5 ЭК5

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	0.	0.	-0.	0.	-0.	-1.	-2.
2	5.	-0.	-1.	-1.	-1.	-2.	-1.	-1.

ТАБЛИЦА Б.12.5 - РЕЖИМ 1 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 6 ОБМ1

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1279.	1.	1.	1.	1.	-3.	0.	3.
2	1119.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	0.
3	1088.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
4	1060.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
5	1032.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
6	1004.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
7	975.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
8	947.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
29	391.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
31	337.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
32	309.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
33	280.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
34	252.	-0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	-0.
35	224.	-0.	-0.	0.	-0.	-0.	-0.	-0.

ТАБЛИЦА Б.12.6 - РЕЖИМ 1 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 7 ЭК6

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	-0.	-0.	-0.	-0.	2.	1.	1.
2	5.	-1.	0.	0.	-0.	2.	1.	1.

ТАБЛИЦА Б.12.7 - РЕЖИМ 1 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 8 ЭК7

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1235.	-0.	-0.	-0.	-0.	1.	1.	0.
2	1105.	-1.	-1.	-1.	-1.	-0.	0.	0.
3	975.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0.
4	845.	0.	0.	0.	0.	-1.	-0.	0.
5	715.	0.	0.	0.	0.	-1.	-0.	0.
6	585.	0.	0.	0.	0.	-1.	-0.	0.
7	455.	0.	0.	0.	0.	-1.	-0.	0.
8	325.	0.	0.	0.	0.	-0.	-0.	0.
9	195.	1.	1.	1.	1.	-0.	-0.	0.
10	65.	0.	0.	0.	0.	1.	1.	0.

ТАБЛИЦА Б.13. - РЕЖИМ 2 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 1 ЭК1

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	0.	1.	2.	1.	-2.	0.	-2.
2	5.	-0.	-1.	-2.	-1.	-2.	0.	-2.

ТАБЛИЦА Б.131 - РЕЖИМ 2 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 2 ЭК2

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	2.	2.	3.	2.	-2.	0.	-2.
2	5.	-2.	-2.	-3.	-2.	-2.	0.	-2.

ТАБЛИЦА Б.13.2 - РЕЖИМ 2 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 3 ЭК3

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	3.	4.	5.	4.	-2.	0.	-2.
2	5.	-3.	-4.	-5.	-4.	-2.	0.	-2.

ТАБЛИЦА Б.13.3- РЕЖИМ 2 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 4 ЭК4

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	5.	5.	6.	5.	-2.	0.	-1.
2	5.	-5.	-6.	-7.	-6.	-2.	0.	-2.

ТАБЛИЦА Б.13.4- РЕЖИМ 2 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 5 ЭК5

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	6.	6.	3.	6.	-1.	-1.	3.
2	5.	-7.	-7.	-7.	-7.	-2.	0.	0.

ТАБЛИЦА Б.13.5- РЕЖИМ 2 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 6 ОБМ1

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1279.	11.	8.	8.	8.	-6.	0.	7.
2	1119.	23.	26.	21.	24.	19.	1.	-18.
3	1088.	19.	20.	17.	20.	24.	1.	-23.
4	1060.	16.	16.	14.	15.	26.	1.	-25.
5	1032.	13.	13.	11.	12.	28.	1.	-26.
6	1004.	11.	10.	9.	10.	28.	1.	-27.
7	975.	9.	9.	8.	9.	29.	1.	-27.
8	947.	8.	8.	7.	8.	30.	1.	-28.
9	919.	7.	7.	6.	7.	30.	1.	-28.
10	892.	6.	6.	5.	6.	31.	1.	-29.
11	866.	5.	5.	4.	5.	31.	1.	-29.
12	840.	4.	4.	4.	4.	31.	1.	-30.
15	761.	2.	2.	2.	2.	31.	1.	-30.
25	497.	-3.	-3.	-2.	-3.	31.	1.	-30.
27	444.	-4.	-4.	-4.	-4.	31.	1.	-30.
28	418.	-5.	-5.	-4.	-5.	31.	1.	-29.
29	391.	-6.	-6.	-5.	-6.	31.	1.	-29.
30	365.	-7.	-8.	-6.	-7.	30.	1.	-28.
31	337.	-8.	-8.	-7.	-8.	30.	1.	-28.
32	309.	-9.	-9.	-8.	-9.	29.	1.	-27.
33	280.	-11.	-11.	-10.	-11.	29.	1.	-26.
34	252.	-13.	-13.	-11.	-13.	28.	1.	-26.
35	224.	-16.	-16.	-14.	-16.	27.	1.	-25.
36	196.	-20.	-20.	-17.	-20.	24.	1.	-23.
37	165.	-24.	-26.	-21.	-25.	19.	1.	-18.
38	5.	-7.	-8.	-6.	-7.	-1.	1.	5.

ТАБЛИЦА Б.13.6 - РЕЖИМ 2 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 7 ЭК6

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	1.	3.	1.	2.	1.	-3.	1.
2	5.	-6.	-3.	-2.	-4.	5.	-3.	1.

ТАБЛИЦА Б.13.7 - РЕЖИМ 2 НОМ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 8 ЭК7

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1235.	3.	2.	2.	2.	-3.	-2.	0.
2	1105.	2.	1.	1.	1.	-14.	-7.	0.
3	975.	1.	1.	1.	1.	-22.	-11.	0.
4	845.	1.	1.	1.	1.	-26.	-13.	0.
8	325.	-1.	-1.	-1.	-1.	-23.	-11.	0.
9	195.	-2.	-1.	-1.	-1.	-15.	-8.	0.
10	65.	-3.	-3.	-3.	-3.	-4.	-2.	0.

ТАБЛИЦА Б.14. - РЕЖИМ 3 КЗ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 1 ЭК1

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	-10.	-37.	-67.	-37.	3354.	3245.	3282.
2	5.	10.	38.	71.	39.	3503.	3390.	3432.

ТАБЛИЦА Б.14.1 - РЕЖИМ 3 КЗ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 2 ЭК2

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	-67.	-95.	-128.	-96.	3282.	3156.	3168.
2	5.	71.	101.	136.	102.	3432.	3304.	3325.

ТАБЛИЦА Б.14.2 - РЕЖИМ 3 КЗ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 3 ЭК3

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	-128.	-160.	-189.	-159.	3168.	2976.	2916.
2	5.	136.	170.	206.	170.	3325.	3132.	3091.

ТАБЛИЦА Б.14.3 - РЕЖИМ 3 КЗ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 4 ЭК4

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	-189.	-217.	-231.	-215.	2916.	2647.	2456.
2	5.	206.	240.	268.	239.	3091.	2801.	2632.

ТАБЛИЦА Б.14.4 - РЕЖИМ 3 КЗ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 5 ЭК5

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	-231.	-241.	-91.	-214.	2456.	2130.	1575.
2	5.	268.	291.	287.	286.	2632.	2220.	1824.

ТАБЛИЦА Б.14.5 - РЕЖИМ 3 КЗ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 6 ОБМ1

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1279.	-297.	-180.	-170.	-198.	2008.	1416.	802.
2	1119.	786.	953.	828.	904.	2604.	1678.	749.
4	1060.	596.	653.	645.	642.	3007.	1808.	606.
5	1032.	527.	568.	577.	563.	3100.	1863.	624.
6	1004.	476.	511.	526.	508.	3173.	1915.	655.
7	975.	439.	470.	486.	468.	3236.	1963.	690.
8	947.	410.	442.	454.	439.	3295.	2008.	722.
9	919.	390.	430.	430.	424.	3360.	2050.	741.
10	892.	342.	369.	379.	366.	3417.	2086.	757.
11	866.	299.	320.	333.	319.	3458.	2118.	780.
27	444.	-227.	-244.	-257.	-243.	3505.	2159.	813.
28	418.	-264.	-285.	-297.	-283.	3474.	2132.	791.
29	391.	-304.	-331.	-341.	-328.	3436.	2102.	770.
30	365.	-349.	-390.	-390.	-383.	3382.	2068.	756.
31	337.	-366.	-398.	-411.	-395.	3320.	2028.	738.
32	309.	-391.	-422.	-439.	-420.	3263.	1985.	708.
33	280.	-424.	-459.	-474.	-456.	3204.	1940.	675.
34	252.	-469.	-511.	-521.	-506.	3134.	1891.	646.
35	224.	-533.	-590.	-583.	-579.	3045.	1839.	630.

ТАБЛИЦА Б.14.6 - РЕЖИМ 3 КЗ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 7 ЭК6

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1295.	-23.	-97.	-42.	-76.	1095.	652.	85.
2	5.	204.	123.	56.	126.	948.	699.	66.

ТАБЛИЦА Б.14.7 - РЕЖИМ 3 КЗ , СТЕРЖЕНЬ 1, КОНЦЕНТР 8 ЭК7

N	Z ММ	ВР-1 МТЛ	ВР-2 МТЛ	ВР-3 МТЛ	ВРСР МТЛ	ВО-1 МТЛ	ВО-2 МТЛ	ВО-3 МТЛ
1	1235.	165.	170.	170.	169.	239.	120.	1.
2	1105.	561.	560.	554.	559.	655.	328.	1.
3	975.	529.	526.	521.	526.	959.	480.	0.
4	845.	334.	332.	328.	331.	1120.	560.	-1.
5	715.	124.	123.	122.	123.	1184.	592.	-1.
6	585.	-76.	-75.	-74.	-75.	1188.	593.	-1.
7	455.	-279.	-278.	-275.	-278.	1132.	565.	-1.
8	325.	-471.	-469.	-464.	-468.	984.	492.	-0.
9	195.	-522.	-521.	-516.	-521.	694.	347.	1.
10	65.	-140.	-145.	-145.	-144.	258.	129.	1.

Додаток В

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ
РЕАКТОРА

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УДАРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТОКА К.З. 1.80

ТАБЛИЦА В.1 - ХАРАКТЕРИСТИКА РАСЧЕТНЫХ СТЕРЖНЕЙ

```

-----
! НОМЕР ! ЧИСЛО КОНЦЕНТРОВ ! ЧИСЛО ПРЕССУЮЩИХ !
! СТЕРЖНЯ ! НА СТЕРЖНЕ ! КОЛЕЦ НА СТЕРЖНЕ !
!-----+-----+-----!
! 1. ! 1. ! 1. !
!-----+-----+-----!
-----

```

ТАБЛИЦА В.2 - ПАРАМЕТРЫ КОНЦЕНТРОВ (РАЗМЕРЫ В ММ)

```

-----
!НО- ! СРЕД- ! РАДИ- ! ЧИСЛО ! ШИРИ- ! ЧИСЛО ! ЧИСЛО ! ВИД ОПОРЫ : !
!МЕР ! ИМЯ ! НИЙ ! АЛЬ- ! ! НА ! ! ! 0-НЕТ ОПОРЫ !
! ! ! ! НИЙ ! СТОЛ- ! ! ГРУПП ! ГРУПП ! 1-ОПОРА НА !
! КОН- ! КОН- ! ДИА- ! ! БОВ ! ПРО- ! ! ! СТЕРЖЕНЬ !
! ЦЕН- ! ЦЕН- ! МЕТР ! РАЗ- ! ! КЛА- ! КАТУ- ! КАНА- ! 2-ОПОРА НА !
! ТРА ! ТРА ! ! МЕР ! ПРО- ! ДОК ! ШЕК ! ЛОВ ! ЖЕСТКИЙ !
! ! ! ! ! КЛА- ! ! ! ! ЦИЛИНДР !
! ! ! ! ! ДОК ! ! И ЕК ! ! 3-НА КОНЦ. !
!-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----!
! 6. ! ОБМ1 ! 1000. ! 67. ! 32. ! 40. ! 5. ! 7. ! 0. !
!-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----!

```

```

-----
!НО- ! СУММАР- ! ЧИСЛО ! ! ЧИСЛО ! РАДИАЛЬНЫЕ ! РАДИАЛЬНЫЕ !
!МЕР ! НАЯ ! ! ! ! ! ! ! !
! ! ! ОПОРНЫХ ! ШИРИНА ! ОСЕВЫХ ! РАЗМЕРЫ ! РАЗМЕРЫ !
! КОН- ! ТОЛЩИНА ! ! ! ! ! ! !
! ЦЕН- ! ! РЕЕК ПО ! РЕЕК ! КАНАЛОВ ! ОСЕВЫХ ! СЛОЕВ !
! ТРА ! ОПОРНЫХ ! ! ! ! ! !
! ! ! ОКРУЖ- ! ! ВНУТРИ ! КАНАЛОВ ! КОНЦЕНТРА !
! ! РЕЕК И ! НОСТИ ! ! ! !-----+-----!
! ! ЦИЛИНД- ! ! ! КОНЦЕН- ! 1 ! 2 ! 2 ! 3 !
! ! РОВ ! ! ! ТРА ! ! ! ! !
!-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----!
! 6. ! 0. ! 32. ! 25. ! 0. ! 0. ! 0. ! 0. ! 0. !
!-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----!

```

```

-----
!НО- ! ВЫСОТА ! ВЫСОТА ! КОЭФ- ! МИНИМАЛЬ ! ПРИЗНАК ! ПРИЗНАК ! ТЕМПЕ !
!МЕР ! ! ! ФИЦИ- ! НОЕ ! ! ! РАТУ- !
! ! ВЕРХ- ! НИЖНЕЙ ! ЕНТ ! ! МАТЕРИАЛА ! МАРКИ ! РА !
! КОН- ! НЕЙ ! ! ! ДАВЛЕНИЕ ! ! ! !
! ЦЕН- ! ! КОНЦЕ- ! ПРЕС- ! ! ПРОВОДА ! КАРТОНА ! ПРОВО !
! ТРА ! КОНЦЕ- ! ВОЙ ! СОВ- ! ПРЕССОВ- ! ! ! ДА !
! ! ВОЙ ! ! КИ ! КИ, ! 1-МЕДЬ ! 1-Б ! !
! ! ! ИЗОЛЯ- ! ! ! ! 2-АЛЮМИ- ! 2-В (УП- ! ПЕРЕД !
! ! ИЗОЛЯ- ! ЦИИ ! ! МПА ! НИЙ ! ЛОТ- ! !
! ! ЦИИ ! ! ! ! ! ! НЕН- ! К.З. !
! ! ! ! ! ! ! ! НЫЙ ! !
!-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----!
! 6. ! 163. ! 163. ! .50 ! 2.0 ! 1. ! 1. ! 105 !
!-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----!

```


ТАБЛИЦА В.7 - ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕТВЕЙ ПО УЧАСТКАМ

! НОМЕР ! КОНЦЕН- ! ТРА	! НОМЕР ! НАЧАЛЬНОЙ ! КАТУШКИ ! УЧАСТКА	! ШАГ ПО ! НОМЕРАМ ! КАТУШЕК	! ЧИСЛО ! КАТУШЕК ! В УЧАСТКЕ	! НОМЕР ! ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ! ВЕТВИ
! 1.	! 1.	! 1.	! 1.	! 1.
! 1.	! 2.	! 1.	! 1.	! 2.
! 2.	! 1.	! 1.	! 1.	! 3.
! 2.	! 2.	! 1.	! 1.	! 4.
! 3.	! 1.	! 1.	! 1.	! 5.
! 3.	! 2.	! 1.	! 1.	! 6.
! 4.	! 1.	! 1.	! 1.	! 7.
! 4.	! 2.	! 1.	! 1.	! 8.
! 5.	! 1.	! 1.	! 1.	! 9.
! 5.	! 2.	! 1.	! 1.	! 10.
! 6.	! 1.	! 1.	! 1.	! 11.
! 6.	! 2.	! 1.	! 36.	! 12.
! 6.	! 38.	! 1.	! 1.	! 13.
! 7.	! 1.	! 1.	! 1.	! 14.
! 7.	! 2.	! 1.	! 1.	! 15.
! 8.	! 1.	! 1.	! 1.	! 16.
! 8.	! 2.	! 1.	! 1.	! 17.
! 8.	! 3.	! 1.	! 1.	! 18.
! 8.	! 4.	! 1.	! 1.	! 19.
! 8.	! 5.	! 1.	! 1.	! 20.
! 8.	! 6.	! 1.	! 1.	! 21.
! 8.	! 7.	! 1.	! 1.	! 22.
! 8.	! 8.	! 1.	! 1.	! 23.
! 8.	! 9.	! 1.	! 1.	! 24.
! 8.	! 10.	! 1.	! 1.	! 25.

ТАБЛИЦА В.8 - ТОКИ ВЕТВЕЙ ПО РЕЖИМАМ, А

! НОМЕР ! РЕЖИМА	! ОБОЗНАЧЕНИЕ ! РЕЖИМА	! НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ				
!	!	! 1	! 2	! 3	! 4	! 5
! 3.	! КЗ	! 4333.	! 4524.	! 10849.	! 11404.	! 18418.

! НОМЕР ! РЕЖИМА	! ОБОЗНАЧЕНИЕ ! РЕЖИМА	! НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ				
!	!	! 6	! 7	! 8	! 9	! 10
! 3.	! КЗ	! 19449.	! 25578.	! 28124.	! 29369.	! 35347.

! НОМЕР ! РЕЖИМА	! ОБОЗНАЧЕНИЕ ! РЕЖИМА	! НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ				
!	!	! 11	! 12	! 13	! 14	! 15
! 3.	! КЗ	! 32516.	! 4000.	! 26764.	! 22702.	! 27964.

Додаток Г

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ И ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ
В ОБМОТКАХ РЕАКТОРА
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

РАСЧЕТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ОБМОТОК 75 ГРАД.

ТАБЛИЦА Г.1 - ПАРАМЕТРЫ КОНЦЕНТРОВ

НО- МЕР	ИМЯ	ТИП	СРЕД- НИЙ ДИА- МЕТР, ММ	ВЫСО- ТА, ММ	ЧИСЛО ГРУПП КАТУ- ШЕК	МАТЕ- РИАЛ ПРО- ВОДА 0- МЕДЬ, 1- АЛЮ- МИНИЙ	ЧИСЛО ГРУПП ПРО- В ОДОВ В ГРУП- ПОВЫХ ТРАН- СПОЗИ- ЦИЯХ	ЧИСЛО ПА- РАЛ- НЫХ ПРО- В ОДОВ НАП- РАВ- ЛЕНИИ	ПОТЕ- РИ В ОТВО- ДАХ В % ОТ ОС- НОВ- НЫХ РАД- НЫХ :
6.	ОБМ1	2.0	1000.0	1300.0	5.0	.0	1.0	1.0	.0

ТИП КОНЦЕНТРА:
1-ВИНТОВОЙ,
2-НЕПРЕРЫВНЫЙ,
3-ПЕРЕПЛЕТЕННЫЙ,
4-ШИННЫЙ,
5-ЛИСТОВОЙ

ТАБЛИЦА Г.2 - ПАРАМЕТРЫ ТИПОВ КАТУШЕК В КОНЦЕНТРЕ

ЧИСЛО ВИТКОВ В КАТУ- ШКЕ	ВЫСОТА ПРОВО- ДА ПО ЛУ, ММ	ШИРИНА ПРОВО- ДА ПО ЛУ, ММ	ТОЛЩИ- НА ИЗО- ЛЯЦИИ ДА НА 2 СТО- РОНЫ, ММ	ВЫСОТА ЭЛЕ- МЕН- ТАРНО- ПРО- КА, ММ	ШИРИНА ЭЛЕ- МЕН- ТАРНО- ПРО- КА, ММ	ЧИСЛО ЭЛЕ- МЕН- ТАРНЫХ ПРО- ВОДНИ- КОВ В ВИТКЕ	ЧИСЛО ПАРАЛ- КАТУ- ШЕК В ОСЕВОМ НАПРА- ВЛЕНИИ (ХОДОВ)
1.00	10.00	67.00	.00	10.00	67.00	1.	1.
8.94	16.00	5.60	.96	16.00	5.60	1.	1.
9.94	16.00	5.60	.96	16.00	5.60	1.	1.

ТАБЛИЦА Г.3 - ПАРАМЕТРЫ ГРУПП КАТУШЕК

НОМЕР ТИПА	КОЛИЧЕСТВО
1.0	1.0
2.0	1.0
3.0	34.0
2.0	1.0
1.0	1.0


```

-----
:НО- :ОБО-:ЧА- :           НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ           :
:МЕР :ЗНА-:СТО- :           ВЕТВИ                               :
:РЕ- :ЧЕ- :ТА   :           :                                   :
:ЖИМА:НИЕ :           :                                   :
:   :РЕЖИ: :-----:                                   :
:   :МА   :   : 11 : 12 : 13 : 14 : 15 :
-----

```

```

: 1. :НОМ : 50.: -180.0:   .0: -94.1: 37.6: -11.4:
: 2. :НОМ : 50.: -709.1: 90.0: -594.8: -509.4: -629.1:
-----

```

```

-----
:НО- :ОБО-:ЧА- :           НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ           :
:МЕР :ЗНА-:СТО- :           ВЕТВИ                               :
:РЕ- :ЧЕ- :ТА   :           :                                   :
:ЖИМА:НИЕ :           :                                   :
:   :РЕЖИ: :-----:                                   :
:   :МА   :   : 16 : 17 : 18 : 19 : 20 :
-----

```

```

: 1. :НОМ : 50.: 85.0: -18.9: -37.7: -42.0: -40.5:
: 2. :НОМ : 50.: -205.4:-1049.1:-1626.8:-1903.9:-2004.9:
-----

```

```

-----
:НО- :ОБО-:ЧА- :           НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ           :
:МЕР :ЗНА-:СТО- :           ВЕТВИ                               :
:РЕ- :ЧЕ- :ТА   :           :                                   :
:ЖИМА:НИЕ :           :                                   :
:   :РЕЖИ: :-----:                                   :
:   :МА   :   : 21 : 22 : 23 : 24 : 25 :
-----

```

```

: 1. :НОМ : 50.: -40.5: -41.8: -37.8: -28.6: 102.7:
: 2. :НОМ : 50.: -2009.2:-1920.0:-1668.4:-1124.7: -229.0:
-----

```

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ И ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ
В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРА
ПОТЕРИ ПО РЕЖИМАМ

ТАБЛИЦА Г.6

! N	!ИМЯ	!ЕДИ-	! НИЦЫ!	ВЕЛИЧИНА ПОТЕРЬ				! ПОЛНЫХ !					
				ОСНОВНЫХ !	ВИХРЕВЫХ ОТ	ОСЕВОГО !	РАДИАЛЬ-		ОТ ЦИРКУ-!				
!ЖИ-	!ЖИМА!	!ИЗМЕ!	!	ПОЛЯ !	НОГО ПОЛЯ!	ЛИРИЮ-	!	!					
!МА !	!	!РЕН.!	!	!	!	ЩИХ ТОКОВ!	!	!					
! 1.!	!НОМ	!КВТ	!	.00	!	.00	!	.00	!	.00	!		
!	!	! %	!	100.00	!	6.99	!	2.12	!	.00	!	109.11	!
! 2.!	!НОМ	!КВТ	!	2.22	!	.17	!	.40	!	.00	!	2.79	!
!	!	! %	!	100.00	!	7.66	!	17.99	!	.00	!	125.64	!

ТАБЛИЦА Г.9 - ПАРАМЕТРЫ ГРУПП КАТУШЕК

: НОМЕР	: КОЛИЧЕСТВО:
: ТИПА	:
: 1.0	: 2.0
: 2.0	: 2.0
: 3.0	: 2.0
: 4.0	: 2.0
: 5.0	: 2.0
: 6.0	: 2.0
: 7.0	: 10.0

ТАБЛИЦА Г.10 - ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕТВЕЙ ПО УЧАС

: НОМЕР	: НОМЕР	: ШАГ ПО	: ЧИСЛО	: НОМЕР
: КОНЦЕНТРА	: НАЧАЛЬНОЙ	: НОМЕРАМ	: КАТУШЕК	: ЭЛЕКТРИ-
:	: КАТУШКИ	: КАТУШЕК	: В УЧАСТКЕ	: ЧЕСКОЙ
:	: УЧАСТКА	:	:	: ВЕТВИ
: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0
: 1.0	: 2.0	: 1.0	: 1.0	: 2.0
: 2.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 3.0
: 2.0	: 2.0	: 1.0	: 1.0	: 4.0
: 3.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 5.0
: 3.0	: 2.0	: 1.0	: 1.0	: 6.0
: 4.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 7.0
: 4.0	: 2.0	: 1.0	: 1.0	: 8.0
: 5.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 9.0
: 5.0	: 2.0	: 1.0	: 1.0	: 10.0
: 6.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 11.0
: 6.0	: 2.0	: 1.0	: 36.0	: 12.0
: 6.0	: 38.0	: 1.0	: 1.0	: 13.0
: 7.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 14.0
: 7.0	: 2.0	: 1.0	: 1.0	: 15.0
: 8.0	: 1.0	: 1.0	: 1.0	: 16.0
: 8.0	: 2.0	: 1.0	: 1.0	: 17.0
: 8.0	: 3.0	: 1.0	: 1.0	: 18.0
: 8.0	: 4.0	: 1.0	: 1.0	: 19.0
: 8.0	: 5.0	: 1.0	: 1.0	: 20.0
: 8.0	: 6.0	: 1.0	: 1.0	: 21.0
: 8.0	: 7.0	: 1.0	: 1.0	: 22.0
: 8.0	: 8.0	: 1.0	: 1.0	: 23.0
: 8.0	: 9.0	: 1.0	: 1.0	: 24.0
: 8.0	: 10.0	: 1.0	: 1.0	: 25.0

ТАБЛИЦА Г.11 - ТОКИ ВЕТВЕЙ ПО РЕЖИМАМ, А

		НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ					
НО-	ОБО-:ЧА-						
МЕР	ЗНА-:СТО-						
РЕ-	ЧЕ-:ТА						
ЖИМА:	НИЕ						
		РЕЖИ:					
		МА	1	2	3	4	5
1.	НОМ	50.	2.6	3.3	-6.0	-5.6	-16.2
2.	НОМ	50.	-97.4	-101.7	-244.1	-256.5	-414.1

		НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ					
НО-	ОБО-:ЧА-						
МЕР	ЗНА-:СТО-						
РЕ-	ЧЕ-:ТА						
ЖИМА:	НИЕ						
		РЕЖИ:					
		МА	6	7	8	9	10
1.	НОМ	50.	-15.5	-45.0	-36.2	5.5	-65.7
2.	НОМ	50.	-437.3	-573.8	-631.2	-660.8	-792.5

		НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ					
НО-	ОБО-:ЧА-						
МЕР	ЗНА-:СТО-						
РЕ-	ЧЕ-:ТА						
ЖИМА:	НИЕ						
		РЕЖИ:					
		МА	11	12	13	14	15
1.	НОМ	50.	-180.0	.0	-94.1	37.6	-11.4
2.	НОМ	50.	-709.1	90.0	-594.8	-509.4	-629.1

		НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ					
НО-	ОБО-:ЧА-						
МЕР	ЗНА-:СТО-						
РЕ-	ЧЕ-:ТА						
ЖИМА:	НИЕ						
		РЕЖИ:					
		МА	16	17	18	19	20
1.	НОМ	50.	85.0	-18.9	-37.7	-42.0	-40.5
2.	НОМ	50.	-205.4	-1049.1	-1626.8	-1903.9	-2004.9

		НОМЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ					
НО-	ОБО-:ЧА-						
МЕР	ЗНА-:СТО-						
РЕ-	ЧЕ-:ТА						
ЖИМА:	НИЕ						
		РЕЖИ:					
		МА	21	22	23	24	25
1.	НОМ	50.	-40.5	-41.8	-37.8	-28.6	102.7
2.	НОМ	50.	-2009.2	-1920.0	-1668.4	-1124.7	-229.0

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ И ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ
В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРА ПОТЕРИ ПО РЕЖИМАМ

ТАБЛИЦА Г.12

! N !	ИМЯ !	ЕДИ- !	ВЕЛИЧИНА ПОТЕРЬ !					
			ОСНОВНЫХ !	ВИХРЕВЫХ ОТ !	ОТ ЦИРКУ- !	ПОЛНЫХ !	ОСЕВОГО !	РАДИАЛЬ- !
!	ЖИ- !	ЖИМА !	ИЗМЕ !	!	ПОЛЯ !	НОГО ПОЛЯ !	ЩИХ ТОКОВ !	!
! 1. !	НОМ !	КВТ !	.00 !	.00 !	.00 !	.00 !	.00 !	.00 !
!	!	! % !	100.00 !	50.25 !	7.16 !	.00 !	157.51 !	!
! 2. !	НОМ !	КВТ !	1.60 !	.66 !	.01 !	.00 !	2.28 !	!
!	!	! % !	100.00 !	41.44 !	.56 !	.00 !	142.00 !	!