

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Електротехніка та енергоефективність
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота
другий (магістрський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності роботи трансформаторної
підстанції на ВАТ «Запоріжтрансформатор»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1419
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми 141.00.11 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

П.Г. Капустін

(ініціали та прізвище)

Керівник проф., доц., д.т.н. Артемчук В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра _____ електротехніки та енергоефективності _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістрський) рівень _____
Спеціальність _____ 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« 03 » _____ 12 _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Капустін Павло Геннадійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) _____ Підвищення енергоефективності роботи трансформаторної підстанції на ВАТ «Запоріжтрансформатор» _____

керівник роботи _____ Артемчук Віктор Васильович, д.т.н., доцент _____

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

затверджені наказом ЗНУ від « 14 » вересня 20 _____ року № 1306-с _____

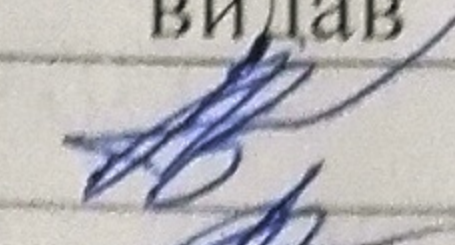
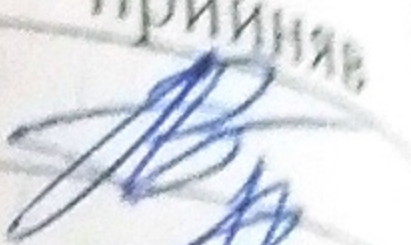
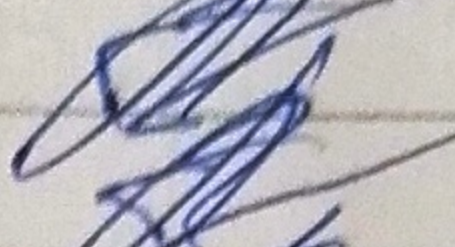

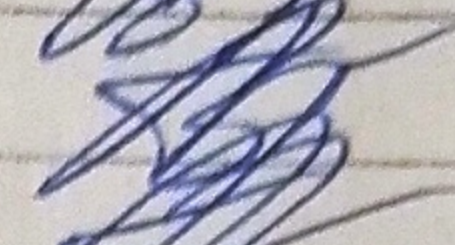

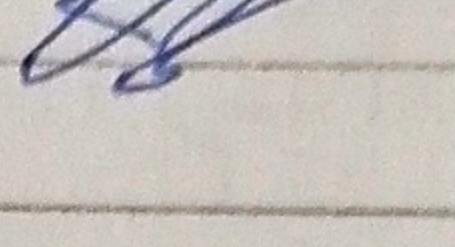
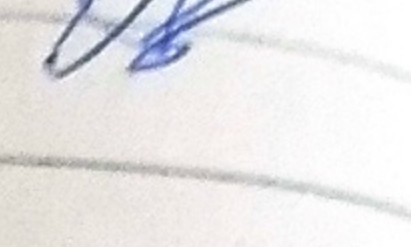
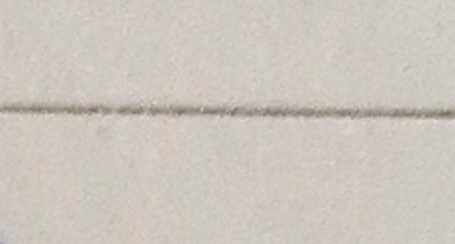
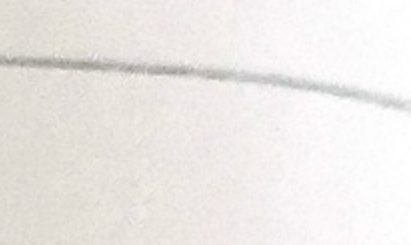
2 Строк подання студентом роботи _____ 01 грудня 2020 р. _____

3 Вихідні дані до роботи _____ потужність силового трансформатора наявний розподільний пристрій; коефіцієнт завантаження трансформатора _____

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____ Обґрунтування енергозберігаючих заходів щодо оптимізації роботи підстанції промислових підприємств; вибір засобів і методів компенсації реактивної потужності; регулювання напруги на підстанції _____

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____
1. Технологічне оснащення підприємства. 2. Розрахункові потужності споживачів. 3. Схема ТВО обробки активної частини трансформатора. 4 Умови проведення повнофакторного експерименту. 5. Характеристика довірчих інтервалів. 6. Тривалість процесу ТВО від різних факторів. 7. Злежність відносних втрат від коефіцієнта завантаження трансформатора _____

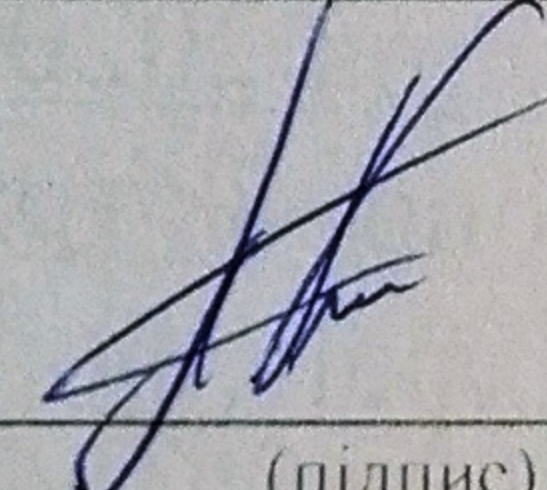
6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Артемчук В.В., професор		
Розділ 2	Артемчук В.В., професор		
Розділ 3	Артемчук В.В., професор		
Розділ 4	Артемчук В.В., професор		
Розділ 5	Артемчук В.В., професор		

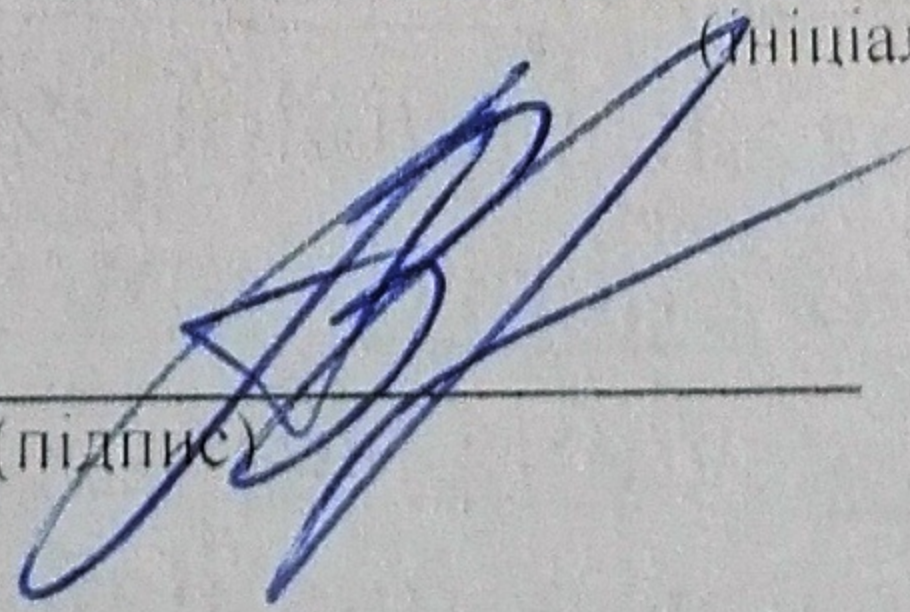
7 Дата видачі завдання 02.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства		
2	Заходи щодо підвищення енергоефективності активних частин трансформатора		
3	Методика вибору економічного режиму роботи трансформаторів		
4	Економічна ефективність від застосування оптимального режиму роботи трансформаторів		
5	Охорона праці та техногенна безпека		

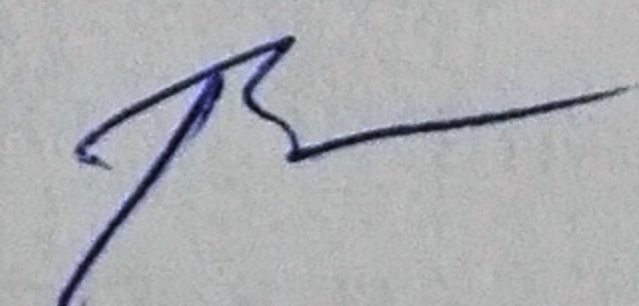
Студент 
(підпис)

П.Г. Капустін
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) 
(підпис)

В.В. Артемчук
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер 
(підпис)

С.В. Башлій
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Капустін П.Г. Підвищення енергоефективності роботи трансформаторної підстанції на ВАТ «Запоріжтрансформатор»

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник В.В. Артемчук. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут, 2020.

Пояснювальна записка складається з 82 сторінок, 19 малюнків, 17 таблиць, 13 джерел.

АНОТАЦІЯ. В даній роботі було розглянуто оптимізацію роботи знижувальних підстанцій ВАТ «Запоріжтрансформатор» за рахунок енергозберігаючих заходів. Проведено аналіз і техніко-економічне обґрунтування енергозберігаючих заходів для оптимізації роботи підстанції підприємства. А саме, вибір оптимального режиму роботи силових трансформаторів та розроблено математичну модель процесу термовакуумної обробки активних частин трансформатору.

Ключові слова: ЗНИЖУВАЛЬНА ПІДСТАНЦІЯ, СИЛОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР, РОЗПОДІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, КОМПЛЕКТНА ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, ТЕРМОВАКУУМНА ОБРОБКА

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Характеристика підприємства.....	8
1.1 Загальна характеристика підприємства.....	8
1.2 Обґрунтування енергозберігаючих заходів щодо оптимізації роботи трансформаторної підстанції підприємства	16
2 Заходи щодо підвищення енергоефективності активних частин трансформатора.....	20
2.1 Характеристика технологічного процесу.....	21
2.2 Регресійна модель енергоспоживання термовакуумної обробки активних частин трансформаторів	36
3 Методика вибору економічного режиму роботи трансформаторів....	47
4 Економічна ефективність від застосування оптимального режиму роботи трансформаторів.....	52
5 Охорона праці.....	56
Висновки.....	66
Перелік посилань.....	67
Додаток А.....	69
Додаток Б.....	72

ВСТУП

Знижувальні підстанції промислового підприємства призначені для перетворення напруги від рівня постачальної лінії до рівня розподільної мережі й подальшого розподілу електроенергії по споживачах.

Знижувальні підстанції промислових підприємств складаються із силових трансформаторів і розподільних пристроїв високої й низької напруги, у яких розміщені комутаційні апарати (високовольтні вимикачі розподільчому пристрої (РП) з напругою вище 1000 В і автоматичні вимикачі в РП з напругою менше ніж 1000 В).

Знижувальні підстанції промислових підприємств розділяються на підстанції внутрішньозаводських мереж електропостачання (головні знижувальні підстанції (ГЗП) і підстанції глибокого введення (ПГВ)) і підстанції цехових мереж (комплектні трансформаторні підстанції КТП).

Тому що знижувальні ПС промислового підприємства є частиною системи електропостачання підприємства, то до їхньої роботи пред'являються наступні вимоги:

- мінімізація втрат електроенергії при трансформації й розподілі електроенергії;
- забезпечення надійності електропостачання споживачів відповідно до їх категорії надійності по ПУЕ;
- забезпечення якості напруги у споживачів відповідно до вимог ДСТУ

Особливо актуальним у цей час є скорочення втрат електроенергії, що забезпечує економію енергоресурсів, зниження складової електроенергії в собівартості продукції, що в остаточному підсумку підвищує її конкурентоспроможність.

Оптимізація роботи знижувальних підстанцій пов'язана із проведенням комплексу заходів, як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації й спрямована на вирішення вище перерахованих завдань.

Оптимізаційні заходи розподіляються на заходи що пов'язані й не пов'язані з капітальними витратами на їхнє проведення.

Для ефективного режиму роботи знижувальних підстанцій промислового підприємства доцільно розробляти комплекс енергозберігаючих заходів на основі техніко-економічного розрахунку.

У даній магістерській роботі розглянуті заходи щодо оптимізації підстанцій заводу ВАТ «Запоріжтрансформатор».

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ПАТ «ЗАПОРІЖТРАНСФОРМАТОР»

1.1 Загальна характеристика підприємства

Виробничий процес на ЗТР є вертикально-інтегрованим і включає всі операції з виготовлення вузлів трансформаторів і реакторів, таких як магнітопровід, обмотки, баки, перемикаючі пристрої, інші вузли і деталі, а також збірку і випробування готових виробів.

Підприємство засноване у 1947 році. Поставляє обладнання у 88 країн світу. Виробнича потужність - 60000 МВА на рік. З моменту заснування вироблено більш як 162 тис. одиниць обладнання (> 2 млн МВА). Досвід виробництва і поставки обладнання на клас напруги 1150 кВ. Загальна площа заводу - 700000. Виробнича площа - 230000 .

Діюча на ЗТР система менеджменту дозволяє комплексно й успішно вирішувати питання, пов'язані з забезпеченням якості продукції, екології та безпеки праці. Система менеджменту сертифікована на відповідність міжнародним стандартам ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004, OHSAS 18001: 2007.

Підприємство випускає силові масляні трансформатори і автотрансформатори загального і спеціального призначення потужністю від 1000 кВА до 1250 МВА на класи напруги від 10 кВ до 1150 кВ (одно- і трифазні, двох- і трьохобмоточні, з розщепленими обмотками, з регулюванням під навантаженням і регулюванням без порушення), шунтуючі реактори і керовані шунтуючі реактори.

Силові масляні трансформатори і автотрансформатори загального і спеціального призначення:

- генераторні підвищувальні трансформатори;
- автотрансформатори;

- трансформатори для підстанцій магістральних (220 кВ - 1150 кВ) і розподільних (35 - 150 кВ) електричних мереж, а також для підстанцій промислових підприємств;

- трансформатори власних потреб електростанцій і підстанцій;

- пуско-резервні трансформатори;

- трансформатори для ліній електропередачі постійного струму і перетворювальних підстанцій;

- спеціальні трансформатори (пічні, фазоповоротні, лінійно-регулювальні, заземлюючі і інші).

Електричні реактори:

- шунтуючі реактори;

- нейтральні реактори;

Керовані шунтуючі реактори:

Проектування і виробництво устаткування виконується відповідно до вимог міжнародних і національних стандартів.

Магнітопровідне виробництво.

Для виготовлення магнітних систем на ПАТ «Запоріжтрансформатор» застосовується крем'яниста тонколистова анізотропна електротехнічна сталь з низькими і особливо низькими питомими втратами, у тому числі з лазерною обробкою. Поздовжній розкрій стали здійснюється на автоматичних лініях поздовжнього розкрою (рисунок 1.1) і з одночасною зачисткою спеціальним інструментом бічних кромek стрічок. Виготовлення пластин магнітних систем проводиться на високоточних автоматичних лініях поперечного розкрою з програмним управлінням TUR і GEORG (Німеччина), оснащених твердосплавним інструментом, в т.ч. V-штампами, з одночасним формуванням пакетів магнітних систем. Технічні можливості ліній та їх програмне забезпечення дозволяють виготовити необхідні форми пластин, у тому числі для схем шихтування у варіантах Step-Lap (зміщений стик). Для виготовлення магнітних систем трансформаторів потужністю до 80 МВА і автотрансформаторів потужністю до 150 МВА використовується автоматична

лінія збірки магнітопроводів. Виготовлення елементів магнітних систем шунтуючих реакторів виробляється на автоматичній лінії. Збірка магнітопроводів трансформаторів великої потужності проводиться на спеціальних стендах-кантувачах, що забезпечують можливість виготовляти магнітні системи масою до 350 т. Для складання магнітопроводів масою до 180 т. без верхнього ярма використовується складальний стенд. Для фіксації (опресування) стрижнів магнітопроводів використовується вертикальна бандажувальна машина.



Рисунок 1.1 - Лінія поздовжнього розкрою

Намотувальне виробництво. Намотування обмоток різних типів і конструкцій: гвинтових, безперервних, переплетених, - у тому числі зі зміцненого транспонованого проводу, здійснюється на цілій гамі горизонтальних і вертикальних намотувальних верстатах (рисунок 1.2.), що дозволяють виконувати намотування обмоток масою від кількох кілограмів до 20 т. з регулюванням натягу проводу. Висока якість обмоток забезпечується застосуванням спеціальних універсальних розтискних оправок, комплексної технології по стабілізації осьових розмірів з використанням дистанційовальних

прокладок з жорсткого електрокартону і жорстких електрокартонних циліндрів, вакуумним сушінням обмоток під постійним заданим тиском, циклічним пресуванням з використанням спеціальних пресувальних систем і т.п. На виробничих площах складального корпусу організована ділянка намотування обмоток класу напруги 400 кВ і вище. Ця ділянка оснащена спеціальним обладнанням, що дозволяє підтримувати оптимальні параметри мікроклімату, такі як температура повітря, відносна вологість, вміст пилу в повітрі. Крім технологічного обладнання для намотування обмоток ділянка оснащена електромостовим краном, транспортером на повітряних подушках для переміщення технологічного оснащення, барабанів з проводом і без проводу, обмоток і комплектуючих виробів. Розроблені технології намотування обмоток виключають до мінімуму виконання паяних з'єднань обмотувальних проводів, при цьому неминучі конструктивні з'єднання виконуються срібловміщувальними припоями з попередньою підготовкою місця пайки.



Рисунок 1.2 – Вертикальна намотка обмоток

Фарбування. Підготовка поверхні перед фарбуванням проводиться дробоструминним методом до ступеню Sa 2,5-3, відповідно до вимог стандарту ISO 12944. Фарбування виконується високотехнологічним устаткуванням безповітряного, комбінованого та пневматичного розпилення, у фарбувальних і фарбувально-сушильних камерах, обладнаних триступеневим сухим очищенням припливного і витяжного повітря, механізованими підйомними площадками.

Зварювальне виробництво.

Завод має власне зварювальне виробництво з повним циклом виготовлення, і повністю забезпечує власні потреби в баках та інших металопродукціях. Увесь металопрокат, що надходить у виробництво, проходить дробеметну обробку для видалення поверхневих окислів. Розкрій металопрокату виконується на ділянці термічного різання, який обладнаний машинами з програмним управлінням. Це дозволяє виконувати розкрій до 70 листів чорного і нержавіючого металопрокату на добу, товщиною від 7 до 65 мм, з одночасним плазмовим маркуванням і розміткою контурів під установлювані деталі. Механічна обробка деталей проводиться верстатним парком устаткування, що забезпечує виконання свердління, нарізки різьблень, токарної, фрезерної, стругальної, карусельної, штампувальної, згинальної й вальцювальної операцій. Основні зварювальні роботи виконуються напівавтоматичним дуговим зварюванням у середовищі захисного газу зварювальним обладнанням.

Металоконструкції, зварювання яких можливо проводити в нижньому положенні, виконують автоматичним способом під шаром флюсу методом ТВІН на порталній установці (рисунок 1.3).

Складальне виробництво. Складання трансформаторів здійснюється на стендах, що оснащені механізованими підйомними стелажми, паячно-зварювальним устаткуванням, гідрообладнанням для пресування обмоток, комплектом вантажопідйомного та спеціального оснащення. Вантажно-

розвантажувальні роботи здійснюються за допомогою електромостових і консольних кранів вантажопідйомністю до 500 т.



Рисунок 1.3 – Портальна зварювальна установка

Також, використовується технологія переміщення трансформаторів на повітряній подушці, що забезпечує мобільність і оперативність виконання складальних процедур. Спеціальна вантажопідйомне оснащення забезпечує проведення в складальних цехах повного контрольного складання трансформатора з установкою всіх комплектуючих (радіатори, охолоджувачі, насоси, фільтри, вентилятори, прилади контролю та ін.).

Випробування продукції. Підприємство має в розпорядженні власну випробувальну базу, що дозволяє робити комплекс випробувань всієї номенклатури виробів, що виробляються, в обсязі, передбаченому національними, міждержавними і міжнародними стандартами, а також спеціальними вимогами замовників. Випробувальна лабораторія на ПАТ «Запоріжтрансформатор» атестована на відповідність стандарту ДСТУ ISO/IEC-17025. У процесі виготовлення трансформатора виконується велика кількість випробувань і перевірок матеріалів, комплектуючих виробів, окремих деталей, вузлів і складальних одиниць. До повного складання окремо

випробовуються обмотки, магнітні системи, в процесі складання проводяться операційні випробування, при необхідності, визначається характер розподілу імпульсних напруг між обмотками та їх частинами, проводяться випробування активних частин на механічну міцність і інші види випробувань. У зібраному вигляді трансформатори піддаються приймально-здавальним, типовим, періодичним і спеціальним випробуванням. Випробувальні станції та лабораторії заводу укомплектовані випробувальним і вимірювальним обладнанням та приладами, що забезпечують виконання всіх необхідних випробувань, у тому числі випробувань грозовими і комутаційними імпульсами, випробувань однохвилинною і тривалою напругою промислової частоти з вимірюванням часткових розрядів, випробувань на нагрів, вимірювань рівня звуку і вібрацій, механічних випробувань, випробувань трансформаторних оли.

Апаратне виробництво. Це виробництво забезпечує виготовлення великої номенклатури вузлів і виробів, таких як перемикаючі пристрої РПН і ПБВ, шафи управління трансформаторів, у тому числі з системами моніторингу, відсічні та запобіжні клапани, дискові затвори, вентилятори для систем охолодження та іншої високотехнологічної продукції. Високоточне механічне виробництво деталей приводів перемикаючих пристроїв забезпечує парк близько 50 одиниць сучасних верстатів з ЧПК. Наявне універсальне обладнання дозволяє виконувати всі види металообробки, в тому числі, заготівельні, згинально-штампувальні, холодно-висаджувальні, шліфувальні, токарні, фрезерувальні та інші види обробки.

Деревообробне виробництво. Виробництво деревинно-стружкового пластику (ДСП) і деталей з нього, а також паперово-бакелітових виробів. Деталі складної конфігурації, як наприклад труби, коліна, муфти, фланці, виготовляються методом «формування». Наявна база сучасного технологічного обладнання дозволяє виробляти пресуючі і ємнісні кільця, рейки, дистанційні прокладки, циліндри, кутові шайби, ярмову ізоляцію і т.п. Використання технологій, пов'язаних із застосуванням каліброваних по

товщині дистанційовальних елементів обмоток і жорстких циліндрів з електроізоляційного картону, дозволяє забезпечувати стабільний осьовий розмір обмоток і високу електродинамічну стійкість. Ізоляційне виробництво забезпечує виготовлення всієї номенклатури ізоляційних деталей і складальних одиниць, що застосовуються для виробництва трансформаторів і реакторів. Як матеріал для виготовлення ізоляційних деталей на підприємстві широко застосовується ламінатний картон. Застосування даного матеріалу забезпечує високу якість ізоляційних деталей, жорсткість допусків на їх товщину, а також скорочення технологічних циклів виготовлення ізоляції. Виготовлення прокладок для лабіринтового руху оливи, а також ізоляції складної форми з електроізоляційного картону товщиною 0,5 мм, проводиться на лазерній машині. Обробний центр з ЧПУ Biesse Group, виробляє фігурний розкрій ламінатного картону (рисунок 1.4) з отриманням готових ізоляційних деталей: пресувальних, опорних і ємнісних кілець, східчастих деталей, сегментів, секторів вирівняльної ізоляції та ін.



Рисунок 1.4 – Лінія розкрою ламінатного картону

Поздовжньо-фрезерний верстат SCM Group s.p.a, з системою швидкої зміни інструмента дозволяє виготовляти профільні деталі ізоляції (рейки) з

ламінатного картону з поліпшеними якісними і точносними характеристиками. Верстат забезпечує за один прохід обробку 3-х поверхонь заготовки та виготовлення профілю деталі. Зменшення ізоляційних відстаней в активній частині, в рамках реалізації програм вдосконалення конструкції трансформаторів, досягається за рахунок застосування лабіринтового руху оливи в обмотках, яке дозволяє значно поліпшити умови їх охолодження.

1.2 Обґрунтування енергозберігаючих заходів щодо оптимізації роботи трансформаторної підстанції підприємства

Як енергозберігаючі заходи по оптимізації роботи підстанції промислового підприємства можна запропонувати наступні:

- вибір оптимального режиму роботи трансформаторів, що забезпечує мінімізацію втрат активної електроенергії в трансформаторах;
- удосконалення процесів обробки масла і твердої ізоляції розподільних трансформаторів
- застосування компенсації реактивної потужності шляхом установки конденсаторних батарей у мережах з напругою до 1000 В і вище 1000 В, що забезпечує зниження втрат активної електроенергії в елементах електричної мережі;
- застосування регулювання напруги з метою забезпечення якості напруги у споживачів і зниження втрат активної електроенергії в елементах електричної мережі при підвищенні напруги в режимі максимального навантаження;
- застосування системи автоматизованого обліку й керування споживанням електроенергії, що забезпечує оптимізацію енергоспоживання й можливість застосування диференційованого обліку електроенергії по зонах добового графіка навантаження.

Вибір оптимального режиму роботи трансформаторів пов'язаний з відключенням частини трансформаторів у не завантажені зміни з метою забезпечення оптимального коефіцієнта завантаження трансформатора.

Обрана схема електричних з'єднань, ресурс роботи комутаційних апаратів, число й потужність трансформаторів КТП повинні забезпечувати можливість відключення частини трансформаторів. Тому що цей захід не вимагає капітальних витрат, то він повинне розглядатися в першу чергу.

Удосконалення процесів обробки масла і твердої ізоляції розподільних трансформаторів дозволяє не лише знизити витрати на підтримання трансформаторів у робочому стані, а й підвищити надійність, а також продовжити термін служби трансформаторів. Враховуючи значну кількість таких трансформаторів, впровадження нових технологій та обладнання може дати значний економічний ефект.

Компенсація реактивної потужності є одним з найбільш ефективних енергозберігаючих заходів, однак вимагає значних капітальних вкладень і витрат на експлуатацію пристроїв компенсації.

Рішення про установку пристроїв компенсації реактивної потужності приймається на основі забезпечення балансу реактивної потужності підприємства, у який включаються втрати реактивної потужності в елементах мережі електропостачання підприємства. Тому що протягом доби змінюються значення активної й реактивної електроенергії що споживається, то для забезпечення ефективного електроспоживання необхідно здійснити регулювання компенсації реактивної потужності, що дозволяє підтримувати оптимальний коефіцієнт реактивної потужності на границі балансової приналежності енергосистеми підприємства.

Регулювання напруги здійснюється за рахунок пристроїв регулювання під навантаженням (РПН) на силових трансформаторах ГПП і за рахунок пристроїв ПГВ на силових трансформаторах КТП, і призначена для забезпечення величини напруги у споживачів у нормативних межах.

Таким чином, запропоновані оптимізаційні заходи мають комплексний характер і повинні розроблятися з обліком їхнього взаємного впливу один на один на основі оптимізації техніко-економічних показників мережі електропостачання.

Застосування енергозберігаючих заходів з метою оптимізації роботи підстанцій, здійснюється для внутрішньозаводської схеми електропостачання заводу ВАТ «Запоріжтрансформатор».

Розрахункові навантаження споживачів наведені в таблиці 2.1. Для внутрішньозаводського електропостачання прийнята радіальна схема електропостачання із прокладкою кабелів марки ААШВ в траншеї.

Джерелом живлення для заводу є знижувальна підстанція із двома трансформаторами ТДНС-10000/35.

Таблиця 1.1 – Розрахункові потужності споживачів

№ КТП	Найменування цеху	$P_{роз}$, кВт	$Q_{роз}$, кВАР	Кіл-сть і потужність трансформаторів КТП, КВА	Марка та перетин КЛ, мм ² довжина, м
КТП 1	Термічний цех	3218,3	1790,6	2x2500	<u>2xААШВ</u> <u>3x150</u> 40
КТП 2	Механічний цех	612,3	696,1	1x630	<u>ААШВ 3x35</u> 250
КТП 3	Механоскладальний цех	714,2	810,3	1x1000	<u>ААШВ 3x35</u> 150
КТП 4	Інструментальний цех	845,1	875,2	2x630	<u>2xААШВ 3x35</u> 180
КТП 5	Насосна станція	292,1	212,3	2x250	<u>2xААШВ 3x35</u> 180
КТП 6	Ковальсько-пресовий цех	1218,5	1132,1	2x1000	<u>2xаашв 3x50</u> 200
КТП 7	Ливарний цех	1321,2	1076,2	2x1000	<u>2xААШВ</u> <u>3x150</u> 130
-	Печі ЕШП 2x250 КВА	4000	2276	-	<u>2xААШВ 3x120</u> 130
-	СД насосної станції 2x400 кВт	640,9	260,9	-	<u>2xААШВ 3x35</u> 200
		$\Sigma P_{роз}$ 12861,7 кВт	$\Sigma Q_{роз}$ 8868,8 кВАР		

Для РП-35 кВ застосована блокова схема з веденням через ПЛ-35 кВ виконаних дротом АС-50.

РП-10 кВ виконано за схемою секціонованої системи шин з чарунками РП типу КМ-1Ф с вакуумними вимикачами ВВЕ-10 ВЗ.

Для заданої схеми електропостачання, поставлене завдання розробити заходи оптимізації режимів роботи трансформаторів та удосконалення процесів обробки масла і твердої ізоляції розподільних трансформаторів термовакuumним засобом.

2 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНРГОЕФЕКТИВНОСТІ АКТИВНИХ ЧАСТИН ТРАНСФОРМАТОРА

2.1 Характеристика технологічного процесу

У промисловості, міському господарстві та інших галузях суспільного виробництва перебувають в експлуатації десятки тисяч розподільних трансформаторів потужністю від 25 до 1000 кВА напругою 6-10 кВ. На відміну від більш потужних трансформаторів високої напруги, рівень технічного обслуговування та ремонтів розподільних трансформаторів значно нижчий. Наприклад, обробка масла та твердої ізоляції проводиться на морально застарілому енергоємному та надзвичайно зношеному технологічному обладнанні. На невеликих підприємствах, що займаються ремонтом та обслуговуванням розподільних трансформаторів, сушіння трансформаторів проводиться гарячим повітрям за розімкненим циклом, що попри недостатню високу якість і значну енергоємність процесу, супроводжується інтенсивним забрудненням атмосферного повітря парами трансформаторного масла. Удосконалення процесів обробки масла і твердої ізоляції розподільних трансформаторів дозволяє не лише знизити витрати на підтримання трансформаторів у робочому стані, а й підвищити надійність, а також продовжити термін служби трансформаторів. Враховуючи значну кількість таких трансформаторів, впровадження нових технологій та обладнання може дати значний економічний ефект.

Термовакуумний спосіб обробки трансформаторного масла, потенційно забезпечує глибоке сушіння трансформаторного масла до вмісту вологи 10 г/т і менше. Однак, функційні можливості термовакуумного способу значно ширші. При термовакуумному способі одночасно з сушінням проводиться дегазація масла, що за потреби, включає видалення з масла небажаних легких фракцій, які утворюються при роботі і внутрішніх пошкодженнях трансформаторів. У багатьох випадках це сприяє підвищенню температури спалаху парів масла. Заповнення трансформаторів гарячим дегазованим

маслом покращує просочування твердої ізоляції, результати якої проявляються у підвищенні характеристик ізоляції трансформаторів. Термовакuumний спосіб належить до неперервних технологічних процесів, для його реалізації не потрібні достатньо дорогі та дефіцитні сорбенти. Термовакuumне сушіння твердої ізоляції розподільних трансформаторів споживає значно менше енергії порівняно із сушінням гарячим повітрям, забезпечує необхідний вміст вологи твердої ізоляції за більш низької температури, що подовжує термін служби трансформаторів. При термовакuumному способі легко контролювати технологічний процес і не допускати небезпечного перегріву твердої ізоляції.

Технологічний процес термовакuumної обробки ізоляції активних частин у вакуум-сушильній шафі складається з наступних режимів: підвищення температури в шафі; прогрів активної частини; сушка активної частини; зниження температури в шафі; заливка активної частини трансформаторним маслом; просочення активної частини маслом під вакуумом; просочення активної частини при атмосферному тиску.

Залежно від класу напруги та потужності трансформатора режими змінюються: для класу напруги до 35 кВ включно і потужності 6,3 МВ-А і нижче вони кілька спрощені, для великих потужностей і напруг вони складніші.

Завантаживши активну частину в сушильну шафу так, щоб відстань від нагрівальних пристроїв до неї було не менше 300 мм, під'єднують дроти від обмоток до прохідних введів шафи для вимірювання опору ізоляції; встановлюють термометри опору на активній частині і в шафі; в місцях, передбачених схемою, і виводять від них провідники до логометри. Герметично закривають шафа і вентиля, повідомляють шафа з атмосферою і вакуум-насосом.

Сушка є одним з найважливіших технологічних процесів виробництва трансформаторів. Вона має на меті видалення вологи з твердої ізоляції трансформатора, що складається в основному з волокнистих матеріалів

(картон, папір), для забезпечення якомога вищою електричної міцності ізоляції. На рис. 2.1 показано зміна електричної міцності електрокартону при різному вологовмісту

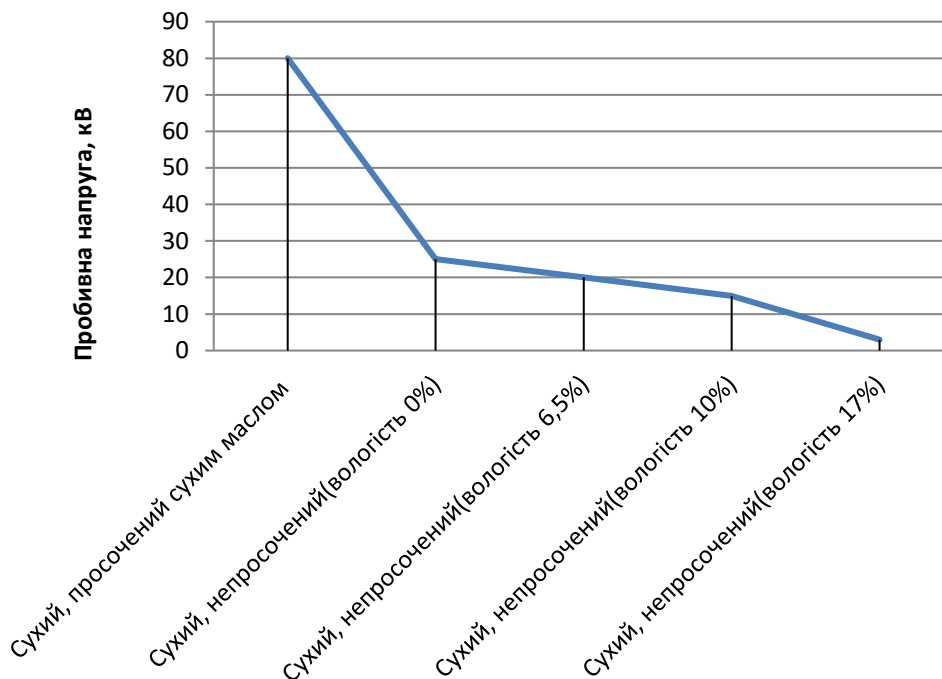


Рисунок 2.1 - Діаграма пробивних напруг електрокартону товщиною 2 мм, просоченого маслом і непросоченого при різному вмісті вологи

Для пробою добре висушеного і просоченого трансформаторним маслом електрокартону товщиною 2 мм необхідно напруга змінного струму порядку 80 кВ. Якщо картон повністю висушений, т. Е. Зміст вологи в ньому дорівнює нулю, але він не просочений маслом, його пробивна напруга нижче, ніж просоченого, в 3 рази і становить близько 24 кВ.

При зберіганні електрокартону на складі його вологість становить в середньому 6,5%, а пробивна напруга-18 кВ. Якщо вологість досягає 10%, пробивна напруга знижується до 13 кВ, т. Е. В 6 разів менше, ніж у сухого, просоченого маслом. Нарешті, якщо електрокартон зволожується (наприклад, при транспортуванні) і містить 17% вологи, його пробивна напруга становить 3 кВ, що в 8 разів менше, ніж у сухого непросоченого, і майже в 27 разів менше, ніж у просоченого маслом електрокартону.

Сушка заснована на використанні явищ вологостійкості і дифузії пара з нагрітої поверхні ізоляції.

Процес сушіння включає нагрів ізоляції конвекцією і випромінюванням, пароутворення і дифузії пара з поверхні ізоляції в навколишній простір, а також переміщення вологи з внутрішніх шарів ізоляції назовні.

У середині матеріалу волога переміщується в основному у вигляді пари з місць з великим вмістом вологи в місця з меншою її змістом (вологостійкість) і з місць з більш високою температурою в місця з нижчою температурою (тепловлагостійкість)

Тому для прискорення переміщення вологи на поверхню матеріалів необхідно забезпечити швидкий і хороший прогрів всієї активної частини трансформатора. Для прискорення сушки застосовується максимально допустима для волокнистої ізоляції трансформатора температура 100-110 ° С.

У процесі сушіння волога, що міститься в матеріалі, переміщується з його товщі до поверхні і потім з поверхні в навколишнє середовище.

Перехід вологи з поверхні матеріалу в навколишнє середовище обумовлений різницею тисків пара безпосередньо на поверхні матеріалу і в навколишньому середовищі: чим нижче тиск парів у навколишньому середовищі в порівнянні з тиском на поверхні, тим інтенсивніше буде відбуватися видалення вологи з поверхні матеріалу.

Вакуум служить для зниження температури пароутворення (залежність якої від абсолютного тиску показана на (рисунку 1.6) і видалення водяної пари з шафи для підтримки на низькому рівні відносної вологості повітря в сушильній шафі. Отже, для прискорення сушіння необхідно знижувати тиск парів в сушильній шафі - сушити під вакуумом і підвищувати тиск на поверхні матеріалу нагріванням.

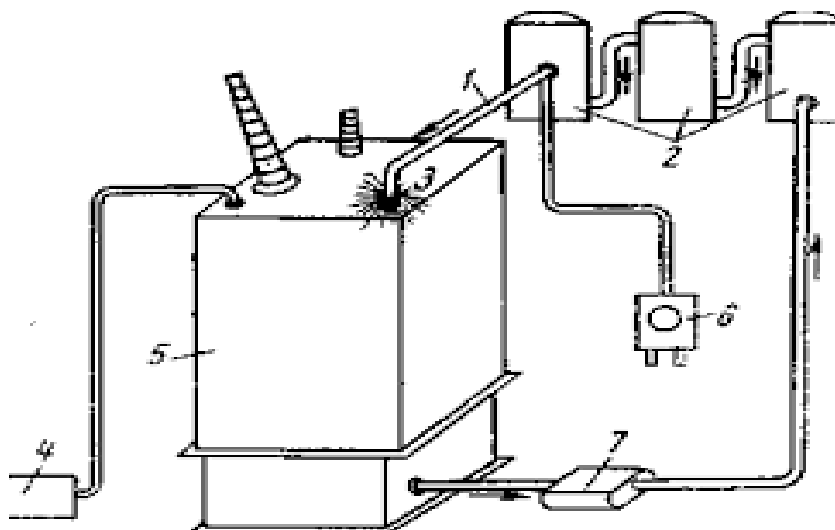
Для забезпечення високої електричної міцності ізоляційних матеріалів недостатньо витягти з них вологу.

Слідом за сушінням необхідно їх ретельно просочити трансформаторним маслом з тим, щоб воно проникло у всі пори і капіляри між волокнами, витіснивши з них повітря, що залишилося.

Існують три основні методи нагріву ізоляції активної частини трансформатора в процесі термовакuumної обробки: гарячим повітрям, гарячим маслом, в паровій фазі.

Цікавим є метод сушіння трансформаторів великої потужності у власному баку циркуляцією нагрітого масла під вакуумом [39]. На рисунку 2.2 показана схема сушіння трансформатора за цим методом.

Для остаточної сушки і просочення маслом ізоляції активної частини в баку трансформатора створюють вакуум, перевіряють всю систему на відсутність тяги і заливають невелику кількість масла. Потім це масло видаляють з нижньої частини бака, проганяють через систему підігріву і направляють знову на верхню частину. Інтенсивний потік масла, рівномірно розподілений пульверизаторами під кожною фазою, дуже швидко нагріває ізоляцію, не піддаючи її небезпеку надмірного перегріву.



1 - гнучкий шланг; 2 - нагрівачі масла; 3 - пульверизатор; 4 - вакуумний насос; 5 - трансформатор, що піддається сушінню; 6 - регулюючий пристрій; 7 - масляний насос.

Рисунок 2.2 - Схема сушіння трансформатора циркуляцією нагрітого масла під вакуумом

У міру того, як гаряче масло пульверізується в бак з викачаним повітрям, всяка волога, підхоплена маслом при протіканні його через ізоляцію, негайно випаровується і видаляється з системи. Коли трансформатор висушений, масло випускають і виробляють заливку маслом під вакуумом.

Найбільш ефективним способом прогріву є метод використання в якості теплоносія пари низькотемпературних фракцій нафтових дисцилярів. Застосовують гас, розчинники типу уайт-спіриту, легкі фракції трансформаторних масел.

При нагріванні парофазой температуру прогріву ізоляції можна підвищувати до 135°C без побоювання прискореного руйнування нормальної ізоляції.

Деякі зарубіжні фірми застосовують примусову циркуляцію через шафа нагрітого повітря, інші - додатковий внутрішній нагрів ізоляції постійним струмом в обмотках.

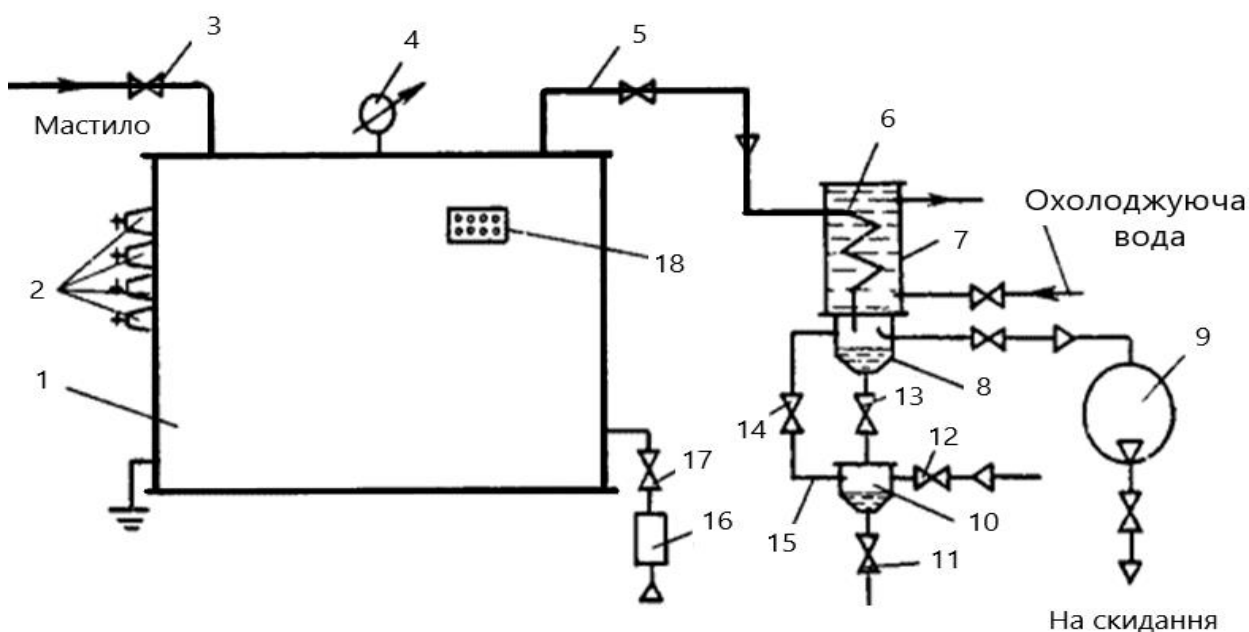
Сушку активних частин трансформаторів на вітчизняних заводах виробляють зазвичай в вакуум-сушильних шафах горизонтального або вертикального типу. Активні частини завантажують в шафу горизонтального типу візком в вертикальний шафа активні частини опускають за допомогою мостового крана.

Більш доцільно розміщення шаф в складальному цеху в підземних котлованах, щоб над землею виступала лише верхня частина шафи. Можна встановлювати шафи на рівні статі. Це створює труднощі для транспортування вузлів або зібраних трансформаторів всередині цеху, обмежуючи можливості їх перевезення над шафами, проте така установка шаф набагато дешевше.

Для створення в сушильній шафі 1 (рис. 2.2) вакууму до нього через охолоджувальну (конденсаційну) колонку 7 і труби приєднаний вакуумний насос 9, викачують з шафи пари вологи і повітря.

Колонка являє собою металевий теплообмінник, що служить для перетворення в конденсат відкачуваних парів, а також для охолодження відсисається гарячого повітря, щоб уникнути перегріву вакуум-насоса. При

роботі вакуум-насоса в посудині 8 колонки створюється вакуум, а так як порожнину цього судини з'єднана зі змійовиком 6, а змійовик за допомогою труби 5 - з шафою, то при закритих вентилях 14, 13, 3 і 17 в шафі створюється вакуум. Відсмоктувати пари, проходячи через змійовик, що охолоджується зовні проточною водою, конденсуються і випадають у вигляді опадів в посудині 5; відсмоктується охоложене повітря викидається вакуум-насосом назовні.



2 – прохідні вводи; 8 – посудина; 10 – проміжний бачок колонки; 11; 12; 13; 14 – вентиль; 15 – труба; 18 – затискач щитка

Рисунок 2.3 - Схема термовакуумної обробки активної частини

Щоб не зірвати вакуум в шафі при зливі конденсату, користуються проміжним бачком колонки, сполученим трубою через вентиль з посудиною при закритих вентилях 13, 12 і 11 відкривають вентиль 14, створюючи в бачку залишковий тиск таке ж, як і в посудині відкривають вентиль 13 і зливають конденсат в бачок; потім закривають вентиля 14 і 13. Далі для зняття в бачку вакууму відкривають вентиль 12, після цього відкривають вентиль 11 і зливають через нього конденсат, користуючись мірним посудиною для обліку його кількості. Для вимірювання температури до затискачів щитка всередині

шафи під'єднують провідники термометрів опору, встановлених в окремих точках активної частини і шафи, зовні - провідники логометра. Для вимірювання опору ізоляції до прохідних введів 2, розташованим на стінці шафи, всередині під'єднують відводи обмоток і провідник від заземленого остова, зовні - провідники мегаомметра.

Вакуум в шафі знімають подачею повітря через осушувач 16 і вентиль 17; масло для просочення ізоляції залипають в шафу, відкривши вентиль, 3 маслопроводу бака з трансформаторним маслом. Вакуум в шафі контролюють вакуумметром 4.

Контроль за ходом термовакуумної обробки активної частини ведеться цілодобово. Робоче місце чергового оснащено: логометром, дистанційним вакуумметром з межами вимірювання 0-100 кПа залишкового тиску, мегаомметр на 1000 і 2500 В, годинами, мірним посудиною, журналом для щогодинної записи параметрів термообробки і інструкцією обов'язків чергового.

Для отримання найменшого залишкового тиску з вакуум-сушильного шафи відкачують повітря дві - три групи вакуум-насосів. Перша група насосів (типів ВН-6, ВН-12, ВВН-50) знижує тиск в шафі, починаючи з атмосферного, до 100-150 мм рт. ст. Друга група насосів (типів ВН-300, ВН-500 і ін.) Знижує залишковий тиск до 1 - 5 мм рт. ст. Для збору вологи, що міститься в пароповітряної суміші, що відкачується, а також для захисту насосів від вологи між вакуум-сушильною шафою і насосами в трубопровід врізають конденсаційні колонки.

Для просочення маслом активної частини високовольтного трансформатора шафа з'єднують з мастилопроводом. Зазвичай введення маслопроводу для заливки маслом поміщається у верхній частині шафи, а зливний - в дні шафи.

Для зменшення втрат тепла зовнішня поверхня вакуум-сушильної шафи і кришка повинні бути обладнані теплоізоляцією 10. Перед накладенням теплоізоляції до баку і балках жорсткості 11 на зовнішній поверхні бака

приварюється дротова арматура 12 (сітка), а на неї наноситься шар совеліта товщиною 60-70 мм, створює високоякісне теплоізоляційне покриття. Щоб уникнути його руйнування на зовнішню поверхню теплоізоляції приклеюється шар холщевой матерії. В якості теплоізоляції застосовують також шлаковату.

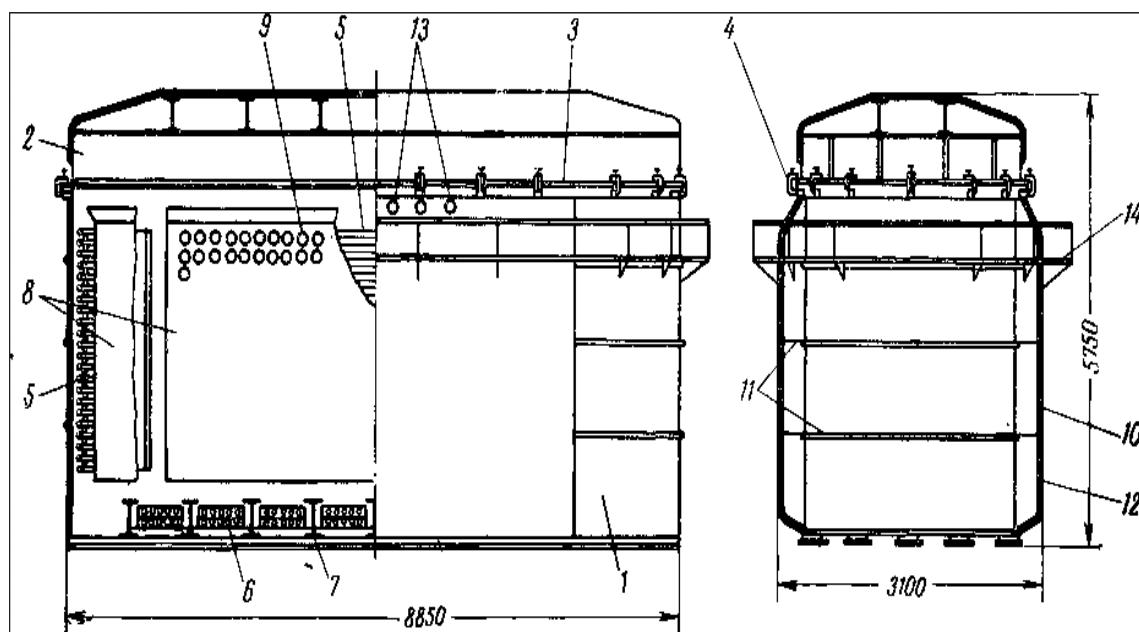
Для вимірювання опору ізоляції трансформатора під час сушіння в стінці шафи передбачені отвори, які герметично закриваються складовими уведеннями 13 на напругу 10 кВ. Якщо шафа встановлюють на рівні підлоги, то навколо нього монтують майданчик з огорожею 14.

Приєднавши кінці вимірювальних проводів, що йдуть до введів 10 кВ і до кінців обмоток активної частини, закривають вакуум-сушильну шафу кришкою і починають сушку. Якщо в процесі сушки вимірювати вміст вологи (вологість) в ізоляції і потім побудувати графік сушки, т. е. залежність вологості від часу, то отримаємо криву, зображену на рисунку 2.5. На ділянці АБ вміст вологи змінюється незначно, так як спочатку відбувається тільки нагрівання, а на ділянці БВ відбувається власне сушка, вологість спочатку зменшується швидко, потім повільно, а в точці В сушка закінчується, так як вологість ізоляції стала рівною вологості навколишнього середовища, позначеної пунктирною лінією.

Режими сушіння залежать від класу напруги та потужності трансформатора, його конструкції і призначення. Однак всі режими сушіння можна розділити на три основних етапи: 1) прогрів активної частини; 2) сушка активної частини; 3) просочення ізоляції маслом.

Час, необхідний для прогріву завантаженої в сушильну шафу активної частини трансформатора, і тривалість всього процесу сушіння залежать від маси трансформатора і конструкції ізоляції, і тому час встановлено різним для різних типів трансформаторів. Так, для трансформаторів потужністю до 100 кВ-А час прогріву встановлено 3 год, для 100-6300 кВ-А - 5 год; для трансформаторів 110 кВ час прогріву становить 10-28 год в залежності від числа обмоток і потужності; для трансформаторів 220 кВ 32-36 год, 500 кВ-48 ч. У період прогріву через кожні 4 год в шафі створюють вакуум 20 мм рт. ст.

приблизно на 15 хв для видалення парів вологи. Після закінчення нагрівання починається період власне сушіння. Вакуум створюють поступово, знижуючи тиск в шафі на 20 мм рт. ст. в годину. Тиск знижують до мінімально можливого, створюючи максимально глибокий вакуум, але не нижче 740 мм рт. ст. для трансформаторів класу 35 кВ і 755 мм рт. ст. для класів 220 кВ і вище. При цьому вакуумі і прогріванні активних частин починається інтенсивне виділення вологи, і до кінця сушки воно припиняється. Вакуум-сушильну шафу для трансформаторів великих потужностей через кожну годину вимірюють яка кількість виділилася вологи (конденсату) та опір ізоляції.



1 - бак зварної; 2 кришка; 3 - рама, 4 - струбцина; 5 і 6 - нагрівачі;
7-швелер; 8 - щит запобіжний; 9 - отвір в щиті; 10 - покриття теплоізоляційні; 11 - балки жорсткості; 12 - сітка; 13 - вводи, 14 - майданчик з огорожею.

Рисунок 2.4 - Вакуум-сушильна шафа для трансформаторів великих потужностей

Сушка трансформаторів 35 кВ вважається закінченою, якщо три виміри з проміжком в 1 год вказують на відсутність вологи, або чотири виміри показують сталість опору ізоляції Для трансформаторів більш високих класів

напруги (110 кВ і вище) встановлено додаткове умова закінчення сушки: відсутність конденсату протягом 6 годин поспіль, і тангенс кута діелектричних втрат не повинен перевищувати 3-4% при 100 °С.

Вимірювання $\text{tg}\delta$ обмоток є більш об'єктивним методом оцінки зволоженості ізоляції, так як дозволяє судити про кількісний вміст залишкової вологи в ізоляції.

Для контролю режиму сушіння трансформаторів без масла застосовують прилад типу ЕВ-3, який широко використовується також для оцінки зволоження трансформатора при ревізії і монтажі. За ходом сушіння ведеться спостереження і в журнал заносяться наступні дані: час, температура в шафі (по Термометрична сигналізатора), тиск пара, величина вакууму, кількість виділеної вологи, показники електричних характеристик ізоляції. За даними вимірів будують криві режиму сушки, як показано на рисунку 2.5

Практика останніх років підтверджує, що процес сушіння слід вести при можливо більш глибокому вакуумі. Уже при залишковому тиску 0,1 мм рт. ст і температурі 80 ° С час сушіння становить всього 15- 20% циклу сушіння при залишковому тиску 5 мм рт ст.

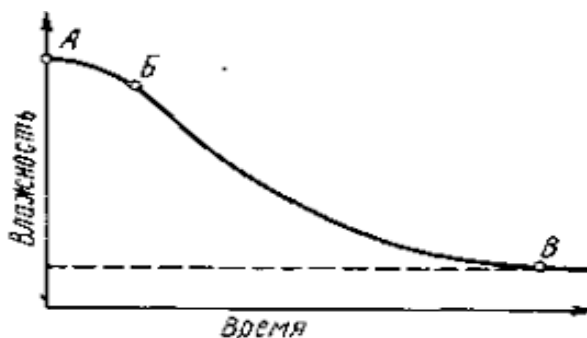


Рисунок 2.5 - Графік сушки волокнистого матеріалу - залежність вмісту вологи в матеріалі від часу в процесі сушіння

На провідних заводах, що виготовляють високовольтні трансформатори, реконструюють існуючі вакуум-сушильні шафи з метою досягнення залишкового тиску в десяті і соті частки мм рт. ст. Устаткування вакуум-сушильних шаф для отримання таких низьких залишкових тисків - складне технічне завдання.

Рекомендуються наступні величини залишкових тисків для трансформаторів різних класів напруги:

До 10 кВ Не вище 5 мм рт. ст.

35-150 кВ. . . Не вище 1 мм рт. ст.

220-500 кВ ... Не вище 10-1 мм рт. ст.

750 кВ і більше. . Чи не вище 10 ~ 2 мм рт. ст.

Просоченням маслом ізоляції трансформаторів напругою до 35 кВ включно проводиться після третьої збірки шляхом заливки масла в бак при атмосферному тиску. Для трансформаторів 110 кВ і вище для більш повного видалення повітря з ізоляції застосовують просочення їх маслом під вакуумом.

Після закінчення сушіння, не знімаючи вакууму, знижують температуру в шафі до 80-85 ° С, заливають шафа маслом, електрична міцність якого повинна бути не нижче 50 кВ (виміряна в стандартному пробійники), і витримують в шафі під вакуумом протягом 3-5 ч. Після цього вакуум знижують і знову вимірюють опір ізоляції і її $\tan \delta$. Потім зливають масло з шафи, витримують активну частину в шафі протягом 2-4 ч, знімають вакуум і вивантажують активну частину з шафи.

Для того щоб ступінь зволоження активної частини, що знаходиться в цеху на наступних технологічних операціях, не перевищило допустимих меж, час перебування активної частини на повітрі обмежена 16 годинами для напруги 35 кВ і вище.

Заливка трансформаторів у власному баку здійснюється без застосування вакууму для напруги до 150 кВ включно і під вакуумом для 220 кВ і вище.

Сушіння та просочування маслом трансформаторів мають вирішальне значення для забезпечення необхідної електричної міцності їх ізоляції.

Технологічний метод, що забезпечує високу якість сушіння ізоляції і обробки в процесі третьої збірки не просочені маслом активної частини, з подвійною сушінням ізоляції трансформатора впроваджений на ЗТЗ. За цим методом ізоляція активної частини сушиться в вакуум-сушильній шафі за

раніше описаним режимам до сталих значень характеристик при мінімальних залишкових тисках. Потім активна частина трансформатора («суха», що не просочена маслом) вивантажується із сушильної шафи, і на ній виробляються операції третьої збірки і обробки. Зібраний у власному баку трансформатор без введів з відкритими заглушками знову завантажується в вакуум сушильну шафу і досушується при мініальному залишковому тиску до нормованих характеристик ізоляції. Після термовакуумної обробки в бак трансформатора заливають масло. Активна частина може підсушуватися і поза шафи в своєму баку з наступним zalиванням масла.

Технологія подвійної сушки при «сухий» збірці скорочує перебування активної частини трансформатора на повітрі в 3-4 рази і тим самим значно знижує ступінь зволоження ізоляції, сприяє збереженню рівня якості ізоляції, отриманого в процесі сушіння. Крім того, при просочуванні у власному баку економічніше витрачається трансформаторне масло, зменшується забруднення ізоляції; обробка «сухий» активної частини робить збірку чистішою, покращує умови праці.

Недоліком описаного процесу є подовження загального циклу сушіння в 1,5-1,8 рази, в результаті чого знижується виробнича потужність сушильного господарства. Розробка і впровадження прогресивних методів нагрівання активної частини трансформатора в власному баку можуть усунути цей недолік.

Методи сушки ізоляції активних частин трансформатора. Циркуляція гарячого сухого масла. Масло, нагріте до 80-85°C, циркулює через осушувальну установку (вакуум-дегазоційну) для сушки і фільтрації. Механізм сушки: дифузія вологи з зовнішніх шарів у відносно сухе масло, і подальше її видалення з масла в масло-сушіння установці. Теоретично, ізоляція може бути висušена до 1 - 1,5% (в залежності від розчинності води в даному маслі), якщо: середня температура масла - 70-75 °C, вжиті заходи для її вирівнювання інтенсивним перемішуванням і вологовміст масла в баку

менше 10 г/т. Ефективність методу значно зменшується зі зниженням температури масла в баку.

Метод холодного вакууму. Нагрівання трансформатора здійснюється під час вакуумування при залишковому тиску 0,05-0,1 мм рт. ст., при цьому ізоляція повинна мати температуру не нижче 20°C. Метод вимагає застосування спеціальної пастки для виморожування водяної пари, щоб підвищити ефективність роботи вакуумних насосів і створити додаткове дифузионне витяг водяної пари з бака. Сушка може бути закінчена, коли виділення води в пастці досягне 3-5 г / год на тонну ізоляції. Згідно кривим рівноважного вологовмісту, для досягнення вмісту вологи твердої ізоляції 0,5% вакуум повинен бути не гірше 0,1 мм рт. ст., а температура не нижче 30 °С.

Термовакuumна дифузія. За даною технологією виробляється підсушування ізоляції трансформаторів класів напруги 110-750 кВ.

Схема підсушування - згідно рис. 2.6 Трансформатор нагрівається до температури 80-85 °С і надійного прогріву ізоляції одним з двох методів:

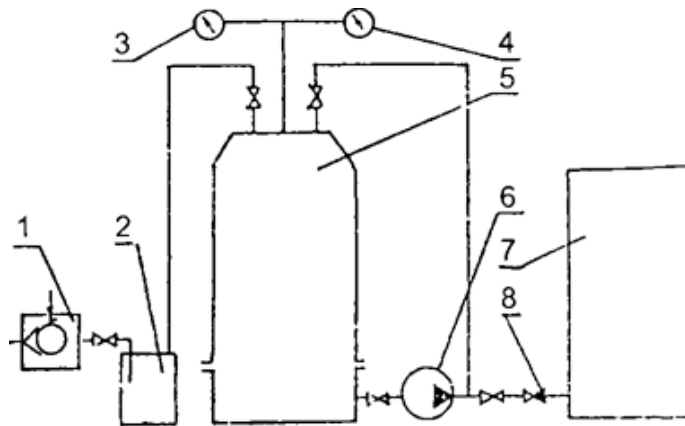
- циркуляцією гарячого масла;
- циркуляцією струму в обмотках.

Потім масло зливається під вакуумом, і трансформатор піддається вакуумуванню тривалістю до 48 годин при залишковому тиску, відповідному вологовмісту по рівноважному стану вологи, і до припинення виділення води в конденсаційної колони. Результати вважаються задовільними, якщо вміст вологи зразків товщиною 1 мм не перевищує 1%.

Метод розбрикування масла. Трансформатор нагрівається розбрикуванням масла до температури, близько 100 °С, при залишковому тиску менше 5 мм рт. ст. (Рис. 2.7).

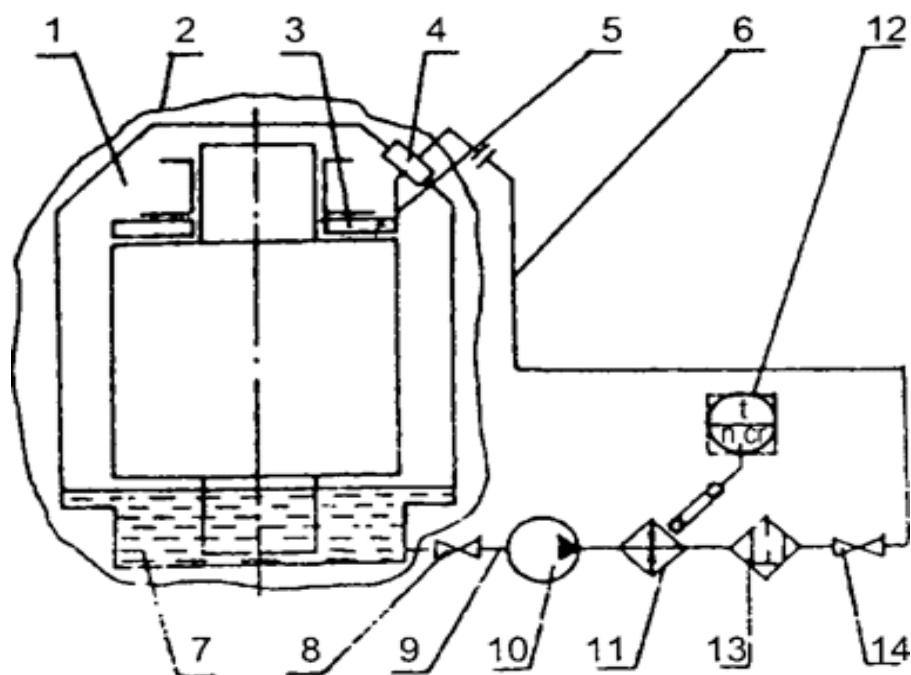
В одному варіанті, обробка триває кілька днів до зменшення виділення води в конденсаторі менше 50 г/год на тонну ізоляції. Потім процес сушіння триває при температурі 85 °С до виділення води менше 5 г/год на тонну ізоляції. В іншому варіанті, сушка при розбрикуванні масла при залишковому

тиску 1 - 2 мм рт. ст. триває до припинення виділення води в конденсаційній колони. Цей варіант може застосовуватися при сушінні сильно зволоженою ізоляції.



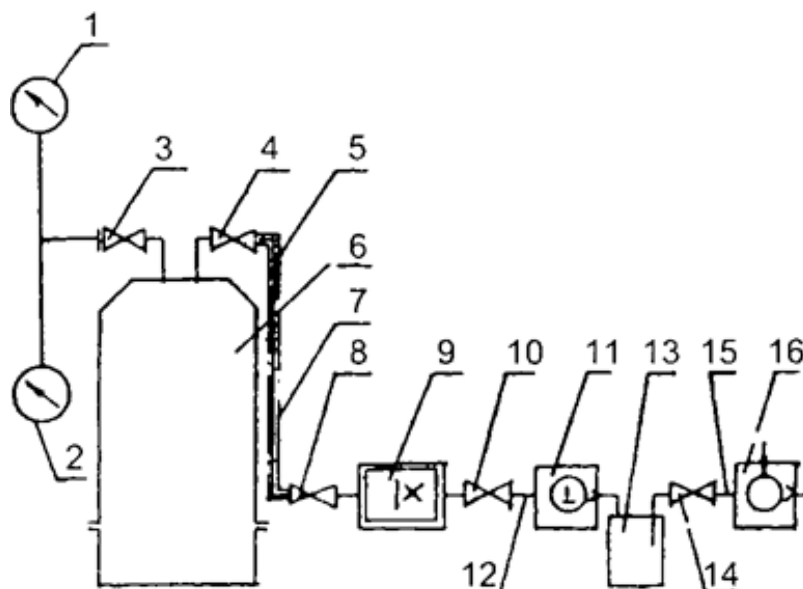
1 - насос вакуумний попереднього розрідження, 2 - проміжний бак 0,05 м³, 3 - вакуумметр механічний, 4 - вакуумметр, 5 - трансформатор, 6 - маслонасосів, 7- ємність зливу масла, 8- зворотний клапан.

Рисунок 2.6 - Схема підсушування шляхом термодифузії



1 - трансформатор; 2 - теплова ізоляція; 3 - розпилювач масла; 4 - колектор; 5 - маслопровід гнучкий; 6 - маслопровід Ду 100 мм; 7 - масло трансформаторне; 8 - запірна арматура; 9 - патрубок Ду 125; 10 - маслонасосів; 11 - маслонагрівач; 12 - термометр сигналізує; 13 - фільтр; 14- запірна арматура Ду 100 мм.

Рисунок 2.7 - Схема нагріву трансформатора



1 - вакуумметр механічний; 2 - вакуумметр електронний; 3, 4 запірні арматура Ду 100 мм; 5, 12, 15 - вакуум провід Ду 100; 6 - трансформатор; 7- теплоізоляція; 8, 10, 14- затвор вакуумний Ду 100 мм; 9 - установка «Іній»; 11 - насос вакуумний ДВН; 13 - проміжний бак 0,05 м³; 16 - насос вакуумний попереднього розрідження.

Рисунок 2.8 - Схема вакуумування трансформатора

Зміст вологи зразків ізоляції після закінчення сушіння повинно бути не більше 1%.

Циклічна сушка трансформатора. Нагрівання здійснюється розбризуванням гарячого масла при змінному вакуумі і періодичної продувки сухим гарячим повітрям до досягнення температури ізоляції 80-90 °С (в залежності від ступеня вологості).

Подальша сушка виконується двома етапами:

- 1) вакуумування з досягненням залишкового тиску 0,15-0,5 мм рт. ст.
- 2) нагрівання-омивання в умовах розбризування гарячого масла.

Вакуумна система під'єднується до пастки виморожування, в якій контролюється виділення конденсату. Процес може складатися з 3-8 циклів, залежно від вмісту вологи. За допомогою такого методу може бути висушена ізоляція, що має вміст вологи 6-8%.

Сушка трансформатора гарячим повітрям. Чисте сухе повітря, нагріте до температури 100 °С, пропускається через бак трансформатора і нагріває муздраттеатр і обмотки.

Витрата повітря повинен бути таким, щоб різниця температур вхідного і вихідного повітря була невеликою. Рекомендується витрата повітря близько 600 м³ /год на 1 м² поверхні бака. Цей метод рекомендується для трансформаторів, баки яких не розраховані на повний вакуум.

Критерії закінчення сушіння ізоляції трансформатора

1. Досягнення встановленої температури в більшості зволжених зон ізоляції трансформатора і досягнення залишкового тиску, який відповідає встановленим кінцевому значенню вмісту вологи в рівноважних умовах.

2. Закінчення виділення конденсату або стабілізація його виділення в спеціальній пастці при встановлених параметрах сушіння на рівні 3-5 г / год.

3. Стабілізація значення опору ізоляції на рівні характерному для сухої ізоляції.

2.2 Регресійна модель енергоспоживання термовакuumної обробки активних частин трансформаторів

Завдання планування експерименту формулюється математично таким чином: треба отримати деяке уявлення про поверхню відгуку чинників, яку в загальному випадку можна представити у вигляді функції або математичної моделі:

$$M\{y\} = \eta = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k); \quad (2.1)$$

де y – параметр оптимізації (вихід процесу), що підлягає вивченню (наприклад, показник стійкості інструменту, точність операції, продуктивність і т. д.); x_i – змінні чинники, від яких залежить відклик і які можна варіювати при постановці експерименту (наприклад, конструктивні, геометричні і фізико-механічні параметри інструменту, режими різання, властивості оброблюваного матеріалу і т. ін.). Отже, завдання полягає в

знаходженні якоїсь наближеної залежності математичного очікування результату (виходу) процесу від параметрів (чинників).

Математична модель потрібна для передбачення напрямку градієнта, тобто напрямки, при русі по якому параметр оптимізації збільшується швидше, ніж у будь-якому іншому напрямку. Передбачається, що функція відгуку безперервна, диференційована двічі і має не більше за один екстремум. За цих умов можна використати процедуру пошуку оптимуму, ґрунтовану на кроковому принципі: на основі коротких випробувань будується математична модель, остання використовується для оцінки градієнта, далі ставляться нові досліди тільки в цьому напрямку. Так потрапляють в "майже стаціонарну область".

Точність, з якою степеневий ряд описує той або інший процес, залежить від порядку (міри) ряду, тобто від того, з яким показником міри представлені останні члени ряду. Представлення невідомій нам функції відгуку поліномом є найбільш зручним. Для скорочення числа дослідів на першій стадії дослідження приймають поліном першого ступеня або лінійну модель. Така модель добре передбачає напрям найшвидшого поліпшення параметра оптимізації. Крім того, вона цілком придатна для опису якого-небудь процесу у вузькому інтервалі змінних.

Математичний опис об'єкту в околиці точки, що відповідає основним значенням чинників, може бути отримано варіюванням кожного з чинників на двох рівнях, що відрізняються від основного (нульового) рівня на величину кроку варіювання [27, 28].

Повним факторним експериментом називається експеримент, що реалізовує усі можливі комбінації рівнів незалежних чинників, що не повторюються, кожен з яких варіюється на двох рівнях. Число цих комбінацій $N = 2^k$. Повнофакторний експеримент базується на тому, що будь-яку досліджувану неперервну функцію $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, яка має всі похідні в точці з координатами $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$ розкладаються в ряд Тейлора:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_H x_H + \beta_{21} x_1 x_2 + \dots + \beta_{(n-1)} x_{(n-1)} x_n + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 \dots + \beta_{nn} x_n^2; \quad (2.2)$$

де β_0 – значення функції відгуку на початку координат $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$.

$$\beta_i = \frac{dy}{dx}; \quad \beta_{\dot{y}} = \frac{d^2 y}{dx_1 dx}; \quad \beta_{\ddot{y}} = \frac{1}{2} \frac{d^2 y}{dx_1^2}; \quad (2.3)$$

В подальшому за результатами експерименту поліном змінюється рівняння регресії:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2; \quad (2.4)$$

де b_0, b_i, b_{ij} – коефіцієнти регресії, x_i – кодована змінна, що вводиться для спрощення обчислень та є відповідною величиною, тобто:

$$x_i = \frac{x_1 - x_{01}}{0,5\Delta x_i}; \quad \Delta x_i = x_{imax} - x_{imin}; \quad x_{0i} = \frac{x_{imax} - x_{imin}}{2}; \quad (2.5)$$

Максимальне значення x_{imax} відповідає $x_i = +1$, а мінімальне x_{imin} відповідає $x_i = -1$.

У повнофакторного експерименту матриця планування є ортогональною, її коефіцієнти регресії лінійного поліному записуються такими виразами:

$$b_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_j; \quad b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ji} y_j; \quad b_{is} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{jr} x_{js} y_j; \quad (2.6)$$

Далі визначимо для проведення експерименту умови згідно (2.5), побудуємо матрицю планування експерименту, таблиці (2.1), (2.2).

При вивченні теплових процесів мають місце лінійні, неповні квадратичні або квадратичні залежності, знаходження яких зв'язане із застосуванням повнофакторного експерименту (ПФЕ). При проведенні ПФЕ планування здійснюється на двох рівнях – верхньому (+1) і нижньому (-1).

Число дослідів N залежить від числа чинників k і визначається по формулі $N = 2^k$. Так, для двох чинників $N = 2^2 = 4$, для трьох $N = 2^3 = 8$, для чотирьох $N = 2^4 = 16$ і так далі.

Таблиця 2.1 – Умови проведення повно факторного експерименту

Фактори (параметри)		Умови варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Код	-1	0	+1	
Максимальна температура при ТВО, °С	x_1	115	120	125	5
Залишковий тиск у ВСШ, мм рт. ст..	x_2	2	2,5	3	0,5
Частота струму перетворювача частоти, Гц	x_3	10	12,5	15	2,5
Кількість одночасно завантажених однотипних активних частин на один перетворювач частоти, шт	x_4	1	2	3	1

У матриці панування (таблиця 2.2) кожен рядок відноситься до одного з експериментів, у вертикальних стовпцях вказують номер експерименту, вид і рівень кодованих змін (x_i), а також результати спостережень – значення вихідної величини (y).

Таблиця 2.2 – Матриця планування експерименту для 4-х факторів

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	y_1
2	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	y_2
3	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	y_3
4	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	y_4
5	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	y_5
6	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	y_6

Продовження таблиці 2.2												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	y_7
8	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	y_8
9	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	y_9
10	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	y_{10}
11	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	y_{11}
12	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	y_{12}
13	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	y_{13}
14	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	y_{14}
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	y_{15}
16	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	y_{16}

Здобуття вихідної інформації для статистичної обробки здійснюється при експериментах, що проводяться на лабораторних, рідше на промислових установках. Розрізняють пасивні і активні експерименти. До пасивних експериментів відносяться такі, які виконуються без залучення спеціальних математичних методів планування. До пасивних відносяться також експерименти, що проводяться в умовах, коли немає можливості направленою варіювання змінними, а здійснюється фіксація їх поточних знань.

Таблиця 2.3 – Результати проведення повнофакторного експерименту

№ з/п	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	2	3	4	5	6
1	125	3	15	3	8
2	125	2	15	3	9
3	115	3	15	3	7
4	115	2	15	3	7,5
5	125	3	10	3	8,5
6	125	2	10	3	9,5
7	115	3	10	3	7,5

Продовження таблиці 2.3					
1	2	3	4	5	6
8	115	2	10	3	8
9	125	3	15	1	7
10	125	2	15	1	8
11	115	3	15	1	6
12	115	2	15	1	6,5
13	125	3	10	1	7,5
14	125	2	10	1	8,5
15	115	3	10	1	6,5
16	115	2	10	1	7

Значення y_1 - y_{16} які отримані підстановкою даних з таблиці 2.1 до матриці планування експерименту (таблиця 2.2). За складеною моделлю:

$$y = b_0 \cdot x_1 + b_1 \cdot x_2 + b_2 \cdot x_3 + b_3 \cdot x_4 + b_4 \quad (2.7)$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення функції

№ з/п	Значення функції	Розрахункове значення функції	Відхилення	Похибка, %
1	2	3	4	5
1	8	8,03125	-0,03125	-0,39062
2	9	8,84375	0,15625	1,736111
3	7	6,84375	0,15625	2,232143
4	7,5	7,65625	-0,15625	-2,08333
5	8,5	8,59375	-0,09375	-1,10294
6	9,5	9,40625	0,09375	0,986842

Продовження таблиці 3.4				
1	2	3	4	5
7	7,5	7,40625	0,09375	1,25
8	8	8,21875	-0,21875	-2,73438
9	7	7,09375	-0,09375	-1,33929
10	8	7,90625	0,09375	1,171875
11	6	5,90625	0,09375	1,5625
12	6,5	6,71875	-0,21875	-3,36538
13	7,5	7,65625	-0,15625	-2,08333
14	8,5	8,46875	0,03125	0,367647
15	6,5	6,46875	0,03125	0,480769
16	7	7,28125	0,21875	2,916667

За даними таблиці 2.4 знаходимо рівняння регресії, оцінюємо його в програмному забезпеченні, пакеті DataFit, [29].

DataFit це інструмент, використовуваний для виконання нелінійної регресії (кривій), статистичного аналізу даних і побудови графіків залежностей.

Результати розрахунків зведені до таблиць 2.5 – 2.7

Таблиця 2.5 - Характеристика оптимального рівняння

Показник	Значення
Сума залишків	-2,13E-14
Середні залишки	-1,33E-15
Залишкова сума квадратів (абсолютна)	0,296875
Залишкова сума квадратів (відносна)	0,296875
Стандартна помилка (розрахункова)	0,164282
Коефіцієнт множинної кореляції, R^2	0,977778
Часка дисперсії, що пояснюється	97,78%
Скорегований коефіцієнт множинної детермінації	0,969696
Статистика Дарбін - Уотсона	1,657894

Таблиця 2.6 - Коефіцієнт регресії

Коефіцієнт	Величина	Похибка	<i>t</i> -критерій
b_0	0,11875	8,21E-03	14,456832
b_1	-0,8125	8,21E-02	-9,891517
b_2	-0,1125	1,64E-02	-6,847973
b_3	0,46875	4,11E-02	11,413289
b_4	-4,09375	1,031680	-3,968041

Таблиця 2.7 – Характеристика довірчих інтервалів

Довірчий інтервал	Змінна	Величина	Похибка	Нижня межа	Верхня межа
1	2	3	4	5	6
68% довірчий інтервал	b_0	0,11875	8,55E-03	0,110195	0,127304
	b_1	-0,8125	8,55E-02	-0,898049	-0,726950
	b_2	-0,1125	1,71E-02	-0,129609	-9,54E-02
	b_3	0,46875	4,28E-02	0,425975	0,511524
	b_4	-4,09375	1,074495	-5,168245	-3,019254
90% довірчий інтервал	b_0	0,11875	1,48E-02	0,103998	0,133501
	b_1	-0,8125	0,147517	-0,960017	-0,644982
	b_2	-0,1125	2,95E-02	-0,142003	-8,30E-02
	b_3	0,46875	7,38E-02	0,394991	0,542508
	b_4	-4,09375	1,852794	-5,946544	-2,240955
95% довірчий інтервал	b_0	0,11875	1,81E-02	0,100670	0,136829
	b_1	-0,8125	0,180792	-0,993292	-0,631707
	b_2	-0,1125	3,62E-02	-0,148658	-7,63E-02
	b_3	0,46875	0,090396	0,378353	0,559146
	b_4	-4,09375	2,270728	-6,364478	-1,823021

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6
99% довірчий інтервал	b_0	0,11875	2,55E-02	9,32E-02	0,144261
	b_1	-0,8125	0,255113	-1,067613	-0,557386
	b_2	-0,1125	5,10E-02	-0,163522	-6,15E-02
	b_3	0,46875	0,127556	0,341193	0,596306
	b_4	-4,09375	3,204192	-7,297942	-0,889557

За результатами проведених розрахунків отримали регресійну модель (2.8) технологічного процесу термовакуумної обробки активних частин трансформаторів:

$$y=0,11875 \cdot x_1 + (-0,8125) \cdot x_2 + (-0,1125) \cdot x_3 + 0,46875 \cdot x_4 + (-4,09374999) \quad (2.8)$$

Модель можна вважати адекватною, враховуючи отриману оцінку. За допомогою отриманої регресійної моделі проведемо аналіз впливу вхідних факторів: максимальної температури ТВО, залишкового тиску в ВСШ, частоти струму перетворювача, кількість одночасно завантажених активних частин на один перетворювач в проведення ТВО активних частин трансформаторів.

З рисунку 2.9 робимо висновок, що тривалість термовакуумної обробки суттєво залежить від максимальної температури наприкінці процесу ТВО.

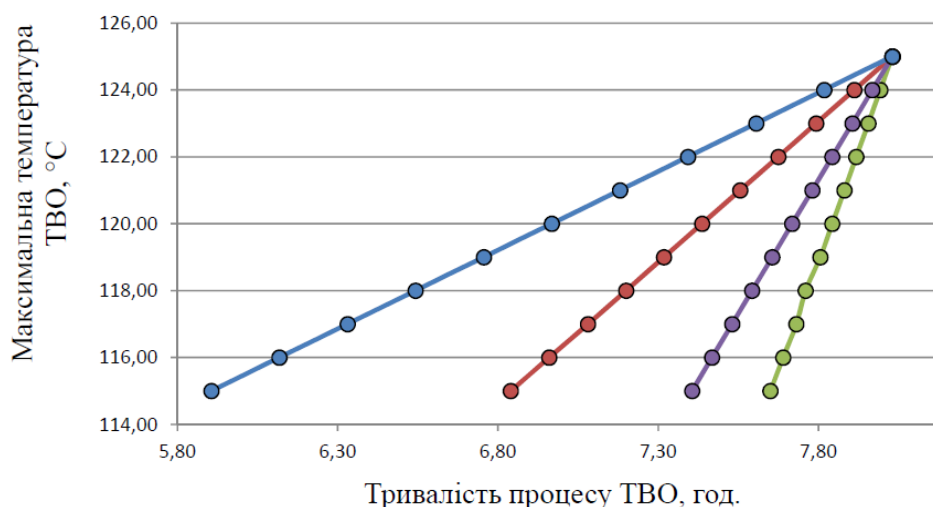


Рисунок 2.9 – Тривалість процесу ТВО в залежності від змін температури ТВО

Беручи до уваги показники фізичних експериментів, що проводилися на дільниці ТВО допускається зниження кінцевої температури до 115 °С.

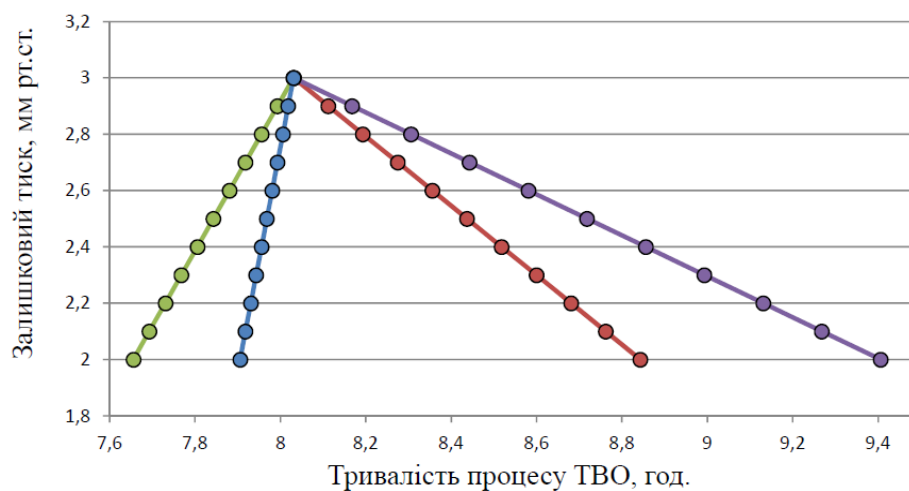


Рисунок 2.10 – Тривалість процесу ТВО в залежності від залишкового тиску в ВСШ

З рисунку 2.10 робимо висновок, що тривалість термовакуумної обробки суттєво залежить від максимальної температури наприкінці процесу ТВО та залишкового тиску в ВСШ. Беручи до уваги показники фізичних експериментів, що проводилися на дільниці ТВО допускається зниження залишкового тиску в ВСШ до 3 мм рт. ст.

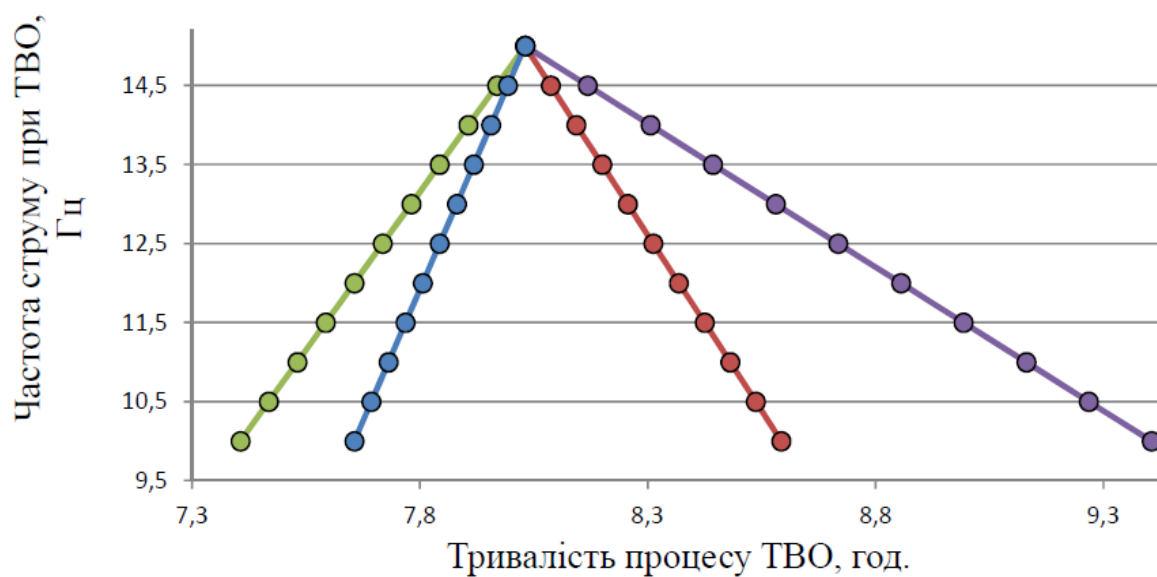


Рисунок 2.11 – Тривалість процесу ТВО в залежності від частоти струму при ТВО

З рисунку 2.11 робимо висновок, що тривалість термовакуумної обробки несуттєво залежить від частоти струму перетворювача. Частота впливає на інтенсивність нагріву до максимальної температури наприкінці процесу ТВО.

Беручи до уваги показники фізичних експериментів, що проводилися на дільниці ТВО допускається зниження частоти струму перетворювача до 10 Гц.

З рисунку 2.12 робимо висновок, що тривалість термовакуумної обробки суттєво залежить від максимальної температури наприкінці процесу ТВО та кількості одночасно завантажених активних частин на одному перетворювачі ВСШ. При завантаженні в інтервалі від однієї до трьох активних частин час проведення ТВО змінюється в більший бік, але існує виробнича потреба іноді в максимальному завантаженні ВСШ для збільшення обсягу виробництва.

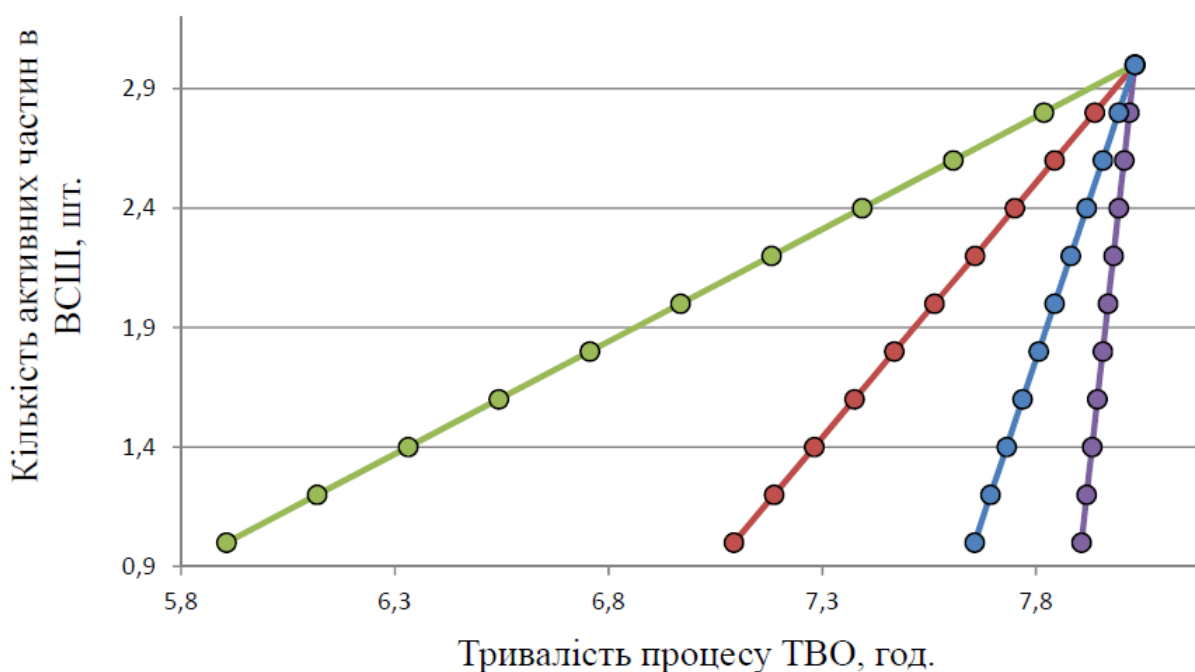


Рисунок 2.12 – Тривалість процесу ТВО в залежності від кількості активних частин в ВСШ

Опираючись на висновки за рисунками 2.9 – 2.12, проведемо розрахунок оптимальних параметрів ТВО активних частин трансформаторів

Розрахунки режимів ТВО зведено до таблиці 2.8 (Додаток А)

3 МЕТОДИКА ВИБОРУ ЕКОНОМІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Економічний режим роботи трансформаторів характеризується мінімальними відносними втратами активної потужності й активної електроенергії при забезпеченні оптимального коефіцієнта завантаження трансформаторів. Втрати активної потужності трансформатора складаються із втрат холостого ходу й навантажувальних втрат (втрат активної потужності в обмотках трансформаторів). Втрати холостого ходу є постійною складовою й не залежать від величини навантаження. Навантажувальні втрати пропорційні квадрату навантаження. Таким чином, залежність втрат потужності від величини навантаження може бути представлена у вигляді, кВт:

$$\Delta P_T = \Delta P'_x + \frac{\Delta P'_k}{S_{номТ}^2} \cdot S_{нт}, \quad (3.1)$$

де $\Delta P'_x$, $\Delta P'_k$ – наведені втрати потужності холостого ходу й к.з. трансформатора відповідно, кВт;

$S_{номТ}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$S_{нт}$ – потужність навантаження трансформатора, кВА.

Наведені втрати потужності трансформатора враховують втрати активної потужності в трансформаторі й в інших елементах мережі, що викликані передачею додаткової реактивної потужності, що обумовлена втратами реактивної потужності в трансформаторі.

Наведені втрати потужності трансформатора визначаються по формулах, кВт:

$$\Delta P'_{x} = \Delta P_x + \kappa_{ин} \frac{I_x S_{номГ}}{100}, \quad (3.2)$$

$$\Delta P'_{\kappa} = \Delta P_{\kappa} + \kappa_{зв} \frac{U_{\kappa} S_{номГ}}{100}, \quad (3.3)$$

де I_x , U_{κ} – струм холостого ходу та напруга к.з. (каталожні дані трансформатора), %;

$\kappa_{зв}$ – коефіцієнт зміни втрат трансформатора.

Значення $\kappa_{зв}$ перебуває в межах (0,005÷0,05) залежно від віддалення трансформатора від джерела живлення.

Для оцінки економічності режиму роботи трансформаторів доцільно використовувати відносні втрати потужності трансформатора (ΔP_{Tx}), в.о.:

$$\Delta P_{Tx} = \frac{\Delta P_T}{S_{HT}}, \quad (3.4)$$

$$\Delta P_{Tx} = \frac{\Delta P'_{x}}{S_{HT}} + \frac{\Delta P'_{\kappa}}{S_{номГ}^2} S_{HT}. \quad (3.5)$$

Для визначення величини навантаження, при якій ΔP_x є мінімальними, необхідно встановити значення екстремуму функції $\Delta P_{Tx} = f(S_{HT})$ за умови:

$$\frac{d\Delta P_{Tx}}{dS_{HT}} = 0 \quad (3.6)$$

$$-\frac{\Delta P'_{x}}{S_{HT}^2} + \frac{\Delta P'_{\kappa}}{S_{номГ}^2} = 0, \quad (3.7)$$

звідки

$$S_{HT\ опт} = S_{номГ} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P'_{x}}{\Delta P'_{\kappa}}}. \quad (3.8)$$

У такий спосіб оптимальний коефіцієнт завантаження визначається по формулі:

$$K_{з\text{ опт}} = \frac{S_{HG\text{ опт}}}{S_{номТ}} = \sqrt{\frac{P_x}{P_k}}. \quad (3.9)$$

Як видно з рисунка 3.1 залежності відносних втрат потужності трансформаторів від величини навантаження мають екстремальний характер. Питомі втрати потужності в трансформаторах зменшуються при підвищенні номінальної потужності трансформатора.

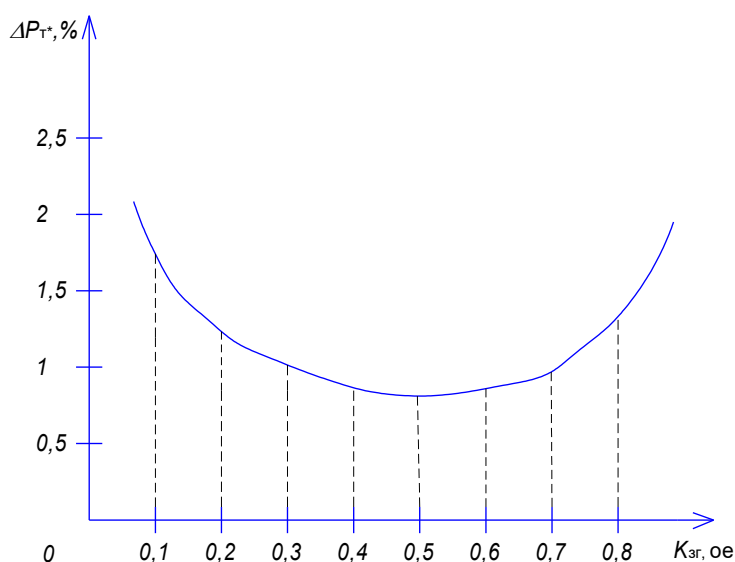


Рисунок 3.1 - Залежність відносних втрат потужності трансформатора від коефіцієнта завантаження трансформатора

$$\Delta P_{T^*} = \frac{\Delta P_T}{S_{нз}} \quad (3.10)$$

$$K_{з} = \frac{S_{нз}}{S_{номТ}} \quad (3.11)$$

Для спрощення розрахунків визначення оптимального режиму трансформаторів, при використанні 2-х трансформаторних КТП доцільно визначити граничну потужність навантаження, при якій втрати потужності в трансформаторах КТП рівні при роботі одного й двох трансформаторів. При значенні навантаження $S_{нз} < S_{нзтр}$, доцільно відключити один трансформатор.

Значення граничного навантаження визначається з умов:

$$\text{для одного тр-ра} \quad \Delta P_T = \Delta P'_{\kappa} + \frac{\Delta P'_{\kappa}}{S^2_{номТ}} S^2_{НГТР}, \quad (3.12)$$

$$\text{для одного тр-ра} \quad \Delta P_T = 2 \cdot \Delta P'_{\kappa} + \frac{1}{2} \frac{\Delta P'_{\kappa}}{S^2_{номТ}} S^2_{НГТР}, \quad (3.13)$$

$$\Delta P'_{\kappa} + \frac{\Delta P'_{\kappa}}{S^2_{номТ}} S^2_{НГТР} = 2 \Delta P'_{\kappa} + \frac{1}{2} \frac{\Delta P'_{\kappa}}{S^2_{номТ}} S^2_{НГТР}, \quad (3.14)$$

$$\Delta P'_{\kappa} = \frac{1}{2} \frac{\Delta P'_{\kappa}}{S^2_{номТ}} S^2_{НГТР}, \quad (3.15)$$

$$\text{звідси} \quad S_{НГТР} = S_{номТ} \sqrt{2 \frac{\Delta P'_{\kappa}}{\Delta P'_{\kappa}}}. \quad (3.16)$$

При роботі n трансформаторів однакової потужності, гранична потужність при якій доцільно відключити один трансформатор визначається по формулі:

$$S_{НГТР} = S_{номТ} \sqrt{\frac{n_T (n_T - 1) \Delta P'_{\kappa}}{\Delta P'_{\kappa}}}. \quad (3.17)$$

Вибір економічного режиму роботи трансформаторів може бути уточнений при обліку реального значення електроенергії, що передається споживачеві через трансформатор. Втрати активної електроенергії в трансформаторі визначаються згідно (3.18), МВт·г:

$$\Delta W_T = (n_T \cdot \Delta P'_{\kappa} \cdot 8760 + \frac{1}{n_T} \frac{\Delta P'_{\kappa}}{S^2_{номТ}} S^2_{номТ} \cdot \tau_M) \cdot 10^{-3}. \quad (3.18)$$

Для одного трансформатора відносні втрати активної електроенергії визначаються по формулі:

$$\Delta W_{Tx} = \frac{\Delta W_T}{W} = \frac{\Delta P'_x \cdot 8760}{P_M \cdot T_M} + \frac{\Delta P'_\kappa \cdot P_M}{S_{номТ}^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \frac{\tau_M}{T_M}, \quad (3.19)$$

$$\frac{d\Delta W_{Tx}}{dP_M} = -\frac{\Delta P'_x \cdot 8760}{P_M^2 \cdot T_M} - \frac{\Delta P'_\kappa \cdot \tau_M}{S_{номТ}^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot T_M} = 0, \quad (3.20)$$

звідки
$$S_{нГомт} = \frac{P_M}{\cos \varphi} = S_{номТ} \sqrt{\frac{\Delta P'_x \cdot 8760}{\Delta P'_\kappa \cdot \tau_M}}. \quad (3.21)$$

Таким чином, зниження втрат електроенергії можна досягти, при відключенні одного трансформатора при зниженні навантаження до значення меншого, чим гранична потужність.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Визначаємо оптимальні режими роботи для трансформаторів КТП і ГЗП на підставі методики викладеної в розділі 4. Для вибору оптимального режиму роботи трансформаторів обраний термічний цех з найбільшим навантаженням, добовий графік якого (рисунок 4.1) подібний з добовим графіком споживання електроенергії заводу. Тому розрахунок економії електроенергії від застосування економічного режиму роботи трансформаторів для всіх цехів можна робити використовуючи значення економії електроенергії для термічного цеху у відсотках.

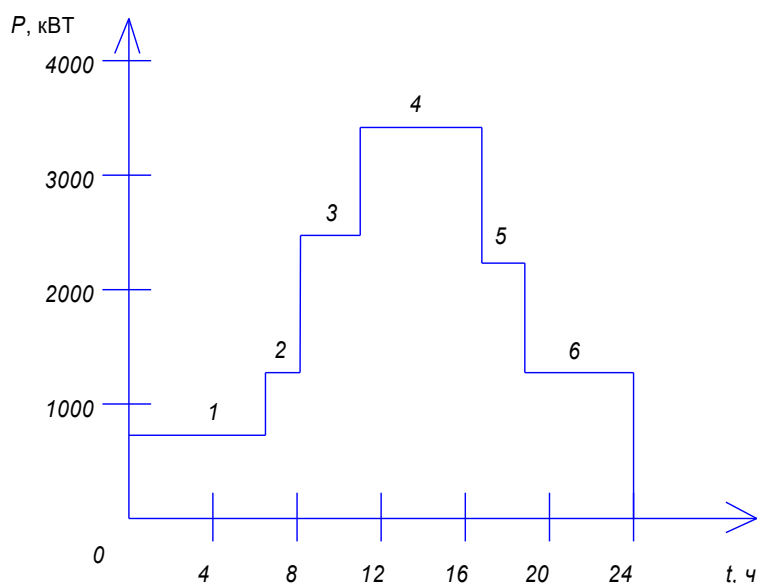


Рисунок 4.1 - Графік навантаження термічного цеху

Для живлення термічного цеху застосовується КТП 2x500 кВА з трансформаторами ТМЗ 2500/10.

Каталожні дані трансформаторів:

$S_{ном} = 2500$ кВа; $U_{ВН} = 10$ кВ; $U_{НН} = 0,4$ кВ; $I_x = 0,8$ %; $U_k = 6$ кВ; $\Delta P_x = 3,75$ кВт; $\Delta P_\kappa = 24$ кВт.

Дані для розрахунку втрат електричної енергії в трансформаторах КТП приводяться в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахунок втрат електроенергії в трансформаторах КТП термічного цеху

№ періоду	t_i , годин	$S_{роз}$, кВА	Режим роботи КТП із 2-а трансформаторами		Економічний режим роботи трансформатора	
			n_m	K_{32}	n_m	K_{32}
1	6	920,5	2	0,18	1	0,37
2	2	1302,6	2	0,26	1	0,52
3	2	2409,5	2	0,48	2	0,48
4	6	3218,3	2	0,64	2	0,64
5	2	2310,6	2	0,46	2	0,46
6	6	1016,3	2	0,2	1	0,4

Відповідно до формули (4.2):

$$\Delta P'_x = 3,75 + 0,01 \cdot \frac{0,8 \cdot 2500}{100} = 3,95 \text{ кВт},$$

$$\Delta P'_\kappa = 24 + 0,01 \cdot \frac{6 \cdot 2500}{100} = 25,5 \text{ кВт},$$

Відповідно до формули (3.10) визначаємо коефіцієнт завантаження:

$$k_{\text{зе.ном}} = \sqrt{\frac{3,95}{25,5}} = 0,39 ,$$

З формули (3.17) визначаємо значення граничного навантаження при якій доцільне відключення 1-го трансформатора:

$$S_{\text{зр.откл}} = S_{\text{ном.т}} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P'_x}{\Delta P'_k}} = 2500 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3,95}{25,5}} = 1391,5 \text{ кВА.}$$

Визначаємо втрати електричної енергії за добу при включенні 2-х трансформаторів.

$$\begin{aligned} \Delta W_I = 2(\Delta P'_x \cdot 24 + \sum k^2_{\text{зе}} \cdot \Delta P'_k) = 2(3,95 \cdot 24 + 0,18^2 \cdot 6 + \\ + 0,26^2 \cdot 2 + 0,48^2 \cdot 2 + 0,64^2 \cdot 6 + 0,46^2 \cdot 2 + 0,2^2 \cdot 6) \cdot 25,5 = 389 \quad \text{кВт}\cdot\text{год,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{II} = \sum n_i \cdot t_i \cdot 24 + \sum n_i \cdot k^2_{\text{зе}i} \cdot t_i \cdot \Delta P^2_k = (1 \cdot 14 + 2 \cdot 10) \cdot 3,95 + \\ + (0,37^2 \cdot 6 + 0,52^2 \cdot 2 + 2 \cdot 0,48^2 \cdot 2 + 2 \cdot 0,64^2 \cdot 2 + 2 \cdot 0,46^2 \cdot 2 + 0,4^2 \cdot 2) = 3557 \text{ кВт}\cdot\text{год} \end{aligned}$$

Економія електроенергії, виражена в % складе:

$$\delta \Delta W_{\%} = \frac{W_I - W_{II}}{W_I} \cdot 100\% = \frac{389 - 355,7}{389} \cdot 100\% = 8,6 \text{ \%} .$$

Сумарні втрати електричної енергії за рік у трансформаторах КТП і ГЗП становлять:

$$\Delta W_{T\Sigma} = \Delta W_{KTP\Sigma} + \Delta W_{GZP\Sigma} = 415,8 + 372,5 = 788,3 \text{ МВт}\cdot\text{год}$$

При зменшенні втрат електричної енергії при виборі економічного режиму роботи трансформаторів на 8,6%, економія електричної енергії для всіх цехів складе:

$$\Delta W = \frac{\delta \Delta W_{\%}}{100} \cdot \Delta W_{T\Sigma}$$

$$\Delta W = \frac{8,6}{100} \cdot 788,3 = 67,8 \text{ МВт}\cdot\text{год.}$$

Що дає економічний ефект $E = C \cdot \Delta W = 77,42 \cdot 67,8 = 1142$ тис.грн.

З огляду на те що цей енергозберігаючий захід не вимагає капітальних витрат, то вибір оптимального режиму роботи трансформаторів є економічно обґрунтованим.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.

Розробка заходів відносно забезпечення вимог нормативних документів виконується на підставі затверджених норм і правил, викладених у нормативних документах. Ці міри забезпечують ефективну безпечну й безаварійну роботу підприємства, що, в остаточному підсумку приводить до підвищення праці й поліпшенню якості продукції.

У дипломному проекті розробляються заходи щодо підвищення ефективності роботи підстанції. Із цією метою будується знижувальна підстанція 35/10 кВ. Тому заходу щодо охорони праці доцільно розробити саме для ПС 35/10кВ. Оцінка факторів виробничого й трудового процесу наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1-оцінка факторів виробничого й трудового процесу. Робоче місце - оператор.

	Фактори Виробничого середовища й трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас:шкідливі й небезпечні умови, характер праці.			Час дії фактору за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
	2	3	4	5	6	7	8
1	Вібрація локальна, дБ	<112	114	2			86
2	Шум, дБА	80	87	7			86

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Неіонізуючі випромінювання: радіочастотний діапазон, В/м діапазон промислової частоти, кВ/м	20 25	28 30		8		86
4	Мікроклімат у приміщенні: -температура повітря, х.п.°С Швидкість руху повітря, м/с -Відносна вологість повітря,%	16 0, 2-0,5 40-60	16 0,33 60		5		92 92 92
5	Тяжкість й напруженість праці	Середньої тяжкості (категорія 2б) праця помірковано напружена.					

Опалення й вентиляція. Виконання основних показників промислової санітарії виконане для ПС 35/10кВ. Метеорологічні умови повітряного середовища в приміщенні ЗРП-10кВ забезпечено у відповідності вимогам ГОСТ 12.1005-88 «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Згідно цих вимог температура в приміщеннях у теплу пору року не перевищує 26 °С, у холодну пору року температура в приміщеннях не нижче 18 °С. Вологість повітря забезпечується в межах 40-60%. З метою

виконання цих показників у приміщеннях ЗРП установлені приточно-витяжна вентиляція й пристрої опалення.

Освітлення. Освітлення території ПС 35/10кВ здійснюється відповідно до вимог СН і П-П-4-9 «Природне й штучне освітлення». Прийнято освітлення приміщень ЗРУ лампами накаливання із забезпеченням нормативної освітленості $E_{\text{норм}}=150$ лк для III класу зорових робіт. Для освітлення території ОРП-35кВ прийняті лампи СЗЛ прожекторного типу, які забезпечують нормативну освітленість $E_{\text{норм}}=50$ лк.

Виробничий шум. Виробнича вібрація. Вимоги по виконанню норм шуму регламентуються ГОСТ 12.1003-83 «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки». Тому що основним джерелом шуму на підстанції є трансформатори й відповідно до ГОСТ 12.2. 024-87 «ССБТ. Шум. Трансформатори масляні. Методи контролю» рівень шуму становить 63 дБ і є нижче нормативно припустимого, тому спеціальних мір проти шуму не передбачено.

Рівень безпечної вібрації визначається відповідно до ГОСТ 12.1. 012-90 «ССБТ. Вібро безпека. Загальні вимоги». Вібрація не перевищує припустимих норм, тому спеціальних мір проти вібрації на території ПС не передбачено.

Виробничі випромінювання. Спеціальних мір для захисту від впливу електромагнітного поля, відповідно до вимог ГОСТ 12.1. 006-84 «ССБТ. Електромагнітні поля різночастот. Припустимі рівні й вимоги до проведення контролю», не передбачено, тому що відсутні джерела високочастотного випромінювання.

Заходу техніки безпеки. При роботі знижувальної підстанції можливі такі потенційні небезпеки:

- можливість дотику або небезпечного наближення до струмоведучих частин устаткування;
- можливість поразки електричним струмом при однофазних КЗ, у наслідок появи напруги дотику або крокової напруги;
- перехід високої напруги на сторону низького;
- прямі удари блискавки;

імпульсні, комутаційні й атмосферні перенапруги;

- неправильні оперативні перемикання;
- короткі замикання в електроустаткуванні;
- зниження ізоляції електроустаткування.

З метою захисту персоналу й устаткування від потенційних небезпек при проектуванні підстанції вжиті заходи згідно вимог «Правил технічної експлуатації споживачів».

Основним захисним засобом, що використовується в електроустановках з напругою 6-10 кВ з ізольованою нейтраллю, є захисне заземлення, що виконується шляхом приєднання металевих корпусів устаткування до пристрою заземлення. Пристрій заземлення складається з поглиблених вертикальних електродів, які з'єднані горизонтальним поглибленим електродом. Як вертикальні електроди використані сталеві стрижні довжиною $l=4$ м і діаметром $d=0,012$ м. Вертикальні електроди розташовані по периметру підстанції і з'єднані на глибині $t=2$ м горизонтальним електродом (сталевою смугою з перетином $b \times S=0,03 \times 0,004$) (рисунок 5.1).

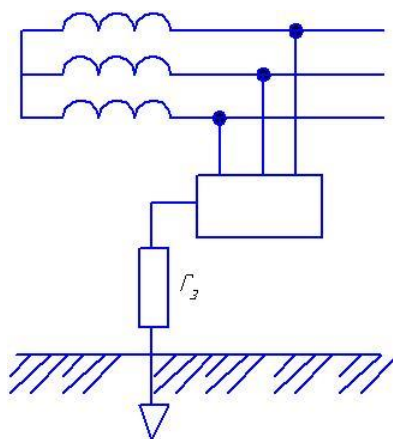


Рисунок 5.1 - Принципова схема захисного заземлення

Нормативний опір пристрою заземлення для спільного захисту електроустановок 6-35 кВ з ізольованою нейтраллю згідно ПУЕ становить $R_{зном}$

=4 Ом. Розрахунок пристрою заземлення складається з вибору кількості вертикальних електродів, забезпечуючи виконання умови:

$$R_{з\ в} \leq R_{з\ норм} \quad (5.1)$$

Для питомого опору ґрунту (суглина) $\rho = 100$ Ом·м визначаємо розрахункові значення усталеного опору:

для вертикальних електродів

$$\rho_{расч\ вэ} = K_{сез\ вэ} \cdot \rho = 1,4 \cdot 100 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

для горизонтальних електродів

$$\rho_{расч\ гэ} = K_{сез\ гэ} \cdot \rho = 2 \cdot 100 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір струмів витоку для вертикальних електродів

$$R_{вэ} = \frac{0,366 \rho_{расч\ вэ}}{l} \left[\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right] = \frac{0,366 \cdot 140}{4} \left[\lg \frac{2 \cdot 4}{0,012} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 4}{4 \cdot 2 - 4} \right] = 42,29 \text{ Ом}$$

Попередньо визначаємо кількість вертикальних електродів

$$n_{вэ} = \frac{R_{вэ}}{R_{норм} \eta_{вэ}} \quad (5.2)$$

де $n_{вэ} = 0,71$ попередньо прийнятий коефіцієнт використання вертикальних електродів

$$\eta_{вэ} = f \left(n_{вэ}, \frac{l_{гэ}}{l} \right) \quad (5.3)$$

$\eta_{вэ}$ прийнято для $n_{вэ} = 10 \div 12$ і $l_{гэ}/l = 1 \div 2$

$$\eta_{вэ} = \frac{42,29}{4 \cdot 0,71} = 14,89 \quad n_{вэ} = 14$$

З огляду на те що довжина периметра становить $P = 104$ м, визначаємо довжину між вертикальними електродами:

$$e_{ze} = \frac{P}{n_{ze} - 1} = \frac{104}{14 - 1} = 8 \text{ м},$$

$$\frac{e_{ze}}{e} = \frac{8}{4} = 2, \eta_{ve} = 0,73.$$

Визначаємо сумарний опір вертикальних електродів:

$$R_{ze\Sigma} = \frac{R_{ze}}{n_{ze} \cdot \eta_{ze}} = \frac{42,29}{14 \cdot 0,73} = 4,14 \text{ Ом.}$$

Опір горизонтальних електродів при $\eta_{ге} = 0,34$, $L_{ге} = P = 104 \text{ м}$:

$$R_{ze\Sigma} = \frac{0,366 \cdot \rho_{розр.ze}}{L_{ze} \cdot \eta_{ze}} \lg \frac{L_{ze}^2}{\delta \cdot 0,004} = 16,47 \text{ Ом},$$

$$R_{zy} = \frac{R_{ze\Sigma} \cdot R_{ze}}{R_{ze\Sigma} + R_{ze}} = \frac{4,14 \cdot 16,47}{4,14 + 16,47} = 3,31 < 4 \text{ Ом.}$$

отже, остаточно приймаємо $n_{вз}=14$.

Для неможливості дотику до струмоведучих частин або наближення до них, електричні апарати на ОРП-35 кВ встановлені на нормативній висоті, і струмоведучі частини мають внутрішнє огороження, а в ЗРП-10 кВ все устаткування в металевих шафах, куди немає доступу стороннім особам.

Захист від комутаційних, атмосферних і імпульсних перенапруг виконується за допомогою вентилярних розрядників РВС 35 на території ОРП-35 кВ, РВО-10 для захисту ЗРП-10 кВ, для захисту ПЛ-35 кВ застосовані трубчасті розрядники.

Захист від блискавки виконується 4 блискавковідводами стрижневого типу, установленими на лінійних порталах, висота блискавковідводів $H=19 \text{ м}$. Зона захисту від блискавки належить до типу Б и виконується на розрахунковій висоті $h_p=6,3 \text{ м}$.

В електроустановках 6-35 кВ виконується контроль ізоляції на окремих приєднаннях (шляхом установки струмового реле у вторинному ланцюзі трансформатора струму нульової послідовності) і на збірних шинах за

допомогою реле напруги у вторинній обмотці трансформатора напруги з'єданого в розімкнутий трикутник. Сигнал про ушкодження ізоляції подається в систему попереджувальної світлової й звукової сигналізації.

При ушкодженні ізоляції в електроустановках 0,4 кВ власних потреб спрацьовують захисні апарати - автоматичні вимикачі, які відключають ушкоджену лінію. Захист від коротких замикань виконується релейним захистом, що діє на відключення ушкодженої ділянки. Попередженню коротких замикань допомагає витримування мінімальне можливих ізоляційних відстаней по ПУЕ.

Для попередження неправильних оперативних перемикачів служить застосування електромагнітного блокування роз'єднувачів і механічного блокування в шафах КРП КМ 1Р, що не дозволяє вкотити або викотити візок з вимикачем при його включеному положенні. Крім технічних заходів щодо техніки безпеки вжиті організаційні заходи, які складаються:

- з виконання правил техніки безпеки при виконанні ремонтних робіт або обслуговуванні встаткування й при оформленні наряду-допуску на виконання робіт;

- із застосування відповідних плакатів і табличок, сигнальних кольорів і знаків, захисних мір і пристроїв (діелектричних рукавичок, покажчиків напруги, пристроїв з подвійною й посиленою ізоляцією й т.п.);

- з постійного підвищення кваліфікації оперативного персоналу шляхом щорічної перевірки знань по техніці безпеки й підтвердження кваліфікаційної групи.

Заходу щодо електробезпечності, відповідно до ГОСТ 12.1. 030-81 «ССБТ. Електробезпечність. Захисне заземлення, занулення», розглянуті докладно в розділі техніки безпеки.

Заходи пожежної безпеки. Пожежна безпека на ПС відповідає вимогам ГОСТ 12.1. 004-91 «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Пожежна безпека досягається такими мірами:

як вимикачі прийняті апарати, які не містять масла (вакуумні ВБПЗ-35 на ОРУ-35 кВ і ВВЕ-10 у ЗРП-10 кВ;

трансформатори встановлені на спеціальних платформах із гравійним відсіпанням призначеної для поглинання надлишків трансформаторного масла.

Будинок ЗРП-10 кВ згідно СН і П 2.09. 02-85 «Виробничі будинки промислових підприємств» належить до категорії Г, і згідно СН і П 201.02-85 «Протипожежні норми проектування будинків і споруджень» виконується II ступеня вогнестійкості.

Стінки кабельних каналів також виконуються II ступеня вогнестійкості з неспалених матеріалів.

Індивідуальні міри пожежогасіння розташовані на протипожежних щитах (2 щити на ОРУ-35 кВ, по 1 щиту в приміщенні ЗРП-10 кВ). На кожному протипожежному щиті встановлений: вогнегасник ОХП10, 2 вогнегасники ОУВ, багор, лопати, ящик з піском.

Прийнятий комплекс мер по техніці безпеки, промисловій санітарії й цивільній обороні забезпечують ефективну роботу підприємства.

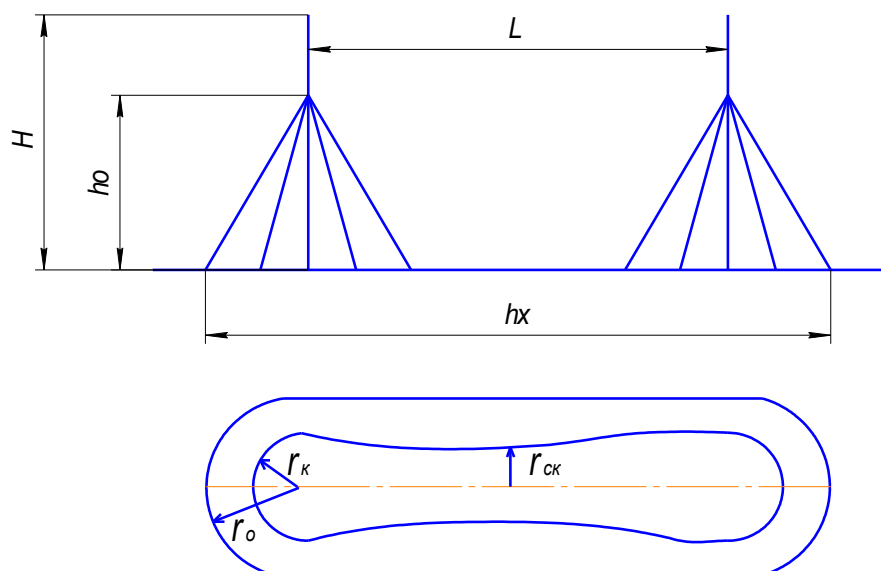
Захист від блискавки на території ПС 35/10 кВ здійснюється за допомогою 4-х стрижневих блискавковідводів, установлених на лінійних порталах. Розрахунок зони захисту здійснюється для розрахункової висоти $h_p = 5,5$ м – габарит трансформатора ТДНС-10000/35 (найвища точка РП-35 кВ).

Зона захисту багаторазового блискавковідводу здійснюється як зона захисту подвійного блискавковідводу, розрахована для сусідніх блискавковідводів, узятих попарно.

Для зони захисту типу Б.

При $h \leq L \leq 2h$ визначаємо:

$$h_o = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 18 = 16,6 \text{ м.}$$



H - висота блискавковідводу; h_o – висота конусоподібної частини блискавковідводу; L - відстань між блискавковідводами; h_x – розрахункова висота; r_o – радіус блискавковідводу на поверхні; r_x – радіус блискавковідводу на розрахунковій висоті; $r_{ск}$ – звуження зони блискавковідводу на розрахунковій висоті

Рисунок 5.2 - Зона захисту подвійного блискавковідводу

Радіус основи конуса:

$$r_o = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ м.}$$

Радіус блискавковідводу на розрахунковій висоті:

$$r_x = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \left(18 - \frac{5,5}{0,92} \right) = 18 \text{ м.}$$

Висота блискавковідводу в місці зниження зони захисту:

$$h_c = h_o = 16,6 \text{ м.}$$

Звуження блискавковідводу на висоті h_x :

$$r_{cx} = r_o = 27 \text{ м.}$$

ВИСНОВКИ

Як енергозберігаючі заходи по оптимізації роботи підстанції підприємства ВАТ «Запоріжтрансформатор» у роботі детально розглянуто наступні:

1. Удосконалення процесів обробки масла і твердої ізоляції розподільних трансформаторів дозволяє не лише знизити витрати на підтримання трансформаторів у робочому стані, а й підвищити надійність, а також продовжити термін служби трансформаторів. Враховуючи значну кількість таких трансформаторів, впровадження нових технологій та обладнання може дати значний економічний ефект. В якості напрямку зниження електричної енергії обрано процес термовакuumної обробки (ТВО), а саме: максимальна температура при ТВО, залишковий тиск у вакуум-сушильній шафі, частота струму перетворювача частоти, кількість одночасно завантажених однотипних активних частин на один перетворювач частоти. З цією метою розроблено математичну модель процесу ТВО активних частин трансформатора. За допомогою математичної моделі отримані оптимальні параметри ТВО активних частин трансформаторів. Після корегування дій в процесі ТВО, обсяг споживання електроенергії знизився на 12705,71 кВт·год, тобто на 13%.

2. Вибір оптимального режиму роботи трансформаторів пов'язаний з відключенням частини трансформаторів у не завантажені зміни з метою забезпечення оптимального коефіцієнта завантаження трансформатора. Обрана схема електричних з'єднань, ресурс роботи комутаційних апаратів, число й потужність трансформаторів КТП повинні забезпечувати можливість відключення частини трансформаторів. Тому що цей захід не вимагає капітальних витрат. Зменшення втрат електричної енергії при виборі економічного режиму роботи трансформаторів на 8,6%, економія електричної енергії для всіх цехів складає 67,8 МВт·год.

Таблиця А1 – Скореговані параметри ТВО активних частин трансформаторів

Технічні характеристики трансформаторів	№ п/п	Тип трансформатора	Струм обмотки LV. А		Струм обмотки LV. А								
			10 кВ	6 кВ	1,44	2,31	2,75	3,64	5,77	9,24	14,4	23,0	36,3
Перший етап ТВО	Тривалість нагріву, часів	Контрольна температура в обмотці, °С	Струм нагріву при початковому тиску	Обирається із розрахунку 0,8 – 1,2 номінального струму обмотки ВН для рівномірного нагріву активної частини до контрольної температури									
				100									
				2									
Другий етап ТВО	Тривалість нагріву	Контрольна температура в обмотці, °С	Струм нагріву при робочому тиску	Обирається із розрахунку 0,5 – 0,9 номінального струму обмотки ВН для рівномірного нагріву активної частини до контрольної температури									
				115									
				До 3 мм рт. ст.									
Третій етап ТВО	Тривалість нагріву	Контрольна температура в активній частині без струму	Тиск у ВСШ	До 2 мм рт. ст.									
				80 ± 10									
				2,5	2,5	2,5	3	3	3	3	5	5	

Таблиця А2 - Характеристика обладнання

№ п/п	Найменування електроприймача	Потужність обладнання , кВт	Коефіцієнт використан ня	Cosφ	Період використан ня, %
1	2	3	4	5	6
1	Електричні печі неавтоматизовані	40	0,6	0,95	100
2	Електричні печі неавтоматизовані	30	0,6	0,95	100
3	Електричні печі неавтоматизовані	40	0,6	0,95	100
4	Електричні печі неавтоматизовані	30	0,6	0,95	100
5	Електричні печі неавтоматизовані	40	0,6	0,95	100
6	Електричні печі неавтоматизовані	30	0,6	0,95	100
7	Електричні печі неавтоматизовані	40	0,6	0,95	100
8	Електричні печі неавтоматизовані	30	0,6	0,95	100
9	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
10	Електричні печі неавтоматизовані	30	0,6	0,95	100
11	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
12	Вентилятор	14	0,65	0,8	100
13	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
14	Вентилятор	14	0,65	0,8	100
15	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
16	Вентилятор	14	0,65	0,8	100
17	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
18	Вентилятор	14	0,65	0,8	100
19	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
20	Кран	20,7	0,15	0,5	25
21	Насос	10	0,7	0,8	100

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6
22	Електричні печі неавтоматизовані	40	0,6	0,95	100
23	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
24	Електричні печі неавтоматизовані	40	0,6	0,95	100
25	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
26	Електричні печі неавтоматизовані	40	0,6	0,95	100
27	Електричні печі неавтоматизовані	25	0,6	0,95	100
28	Вентилятор	12	0,65	0,8	100
29	Електричні печі неавтоматизовані	25	0,6	0,95	100
30	Вентилятор	12	0,65	0,8	100
31	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
32	Вентилятор	12	0,65	0,8	100
33	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
34	Електричні печі неавтоматизовані	12	0,6	0,95	100
35	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
36	Електричні печі неавтоматизовані	12	0,6	0,95	100
37	Верстат	14	0,14	0,45	100
38	Електричні печі неавтоматизовані	12	0,6	0,95	100
39	Верстат	14	0,14	0,45	100
40	Електричні печі неавтоматизовані	12	0,6	0,95	100
41	Верстат	14	0,14	0,45	100
42	Електричні печі неавтоматизовані	12	0,6	0,95	100
43	Верстат	14	0,14	0,45	100
44	Електричні печі неавтоматизовані	12	0,6	0,95	100
45	Верстат	4,5	0,14	0,45	100
46	Верстат	10	0,14	0,45	100
47	Верстат	4,5	0,14	0,45	100
48	Верстат	10	0,14	0,45	100

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6
49	Верстат	4,5	0,14	0,45	100
50	Верстат	10	0,14	0,45	100
51	Верстат	4,5	0,14	0,45	100
52	Верстат	10	0,14	0,45	100
53	Верстат	4,5	0,14	0,45	100
54	Верстат	10	0,14	0,45	100
55	Верстат	4,5	0,14	0,45	100
56	Верстат	10	0,14	0,45	100
57	Верстат	4,5	0,14	0,45	100
58	Кран	20,7	0,15	0,5	25
59	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
60	Електричні печі неавтоматизовані	15	0,6	0,95	100
61	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
62	Електричні печі неавтоматизовані	15	0,6	0,95	100
63	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
64	Електричні печі неавтоматизовані	15	0,6	0,95	100
65	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
66	Електричні печі неавтоматизовані	15	0,6	0,95	100
67	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
68	Електричні печі неавтоматизовані	15	0,6	0,95	100
69	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
70	Електричні печі неавтоматизовані	15	0,6	0,95	100
71	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
72	Вентилятор	40	0,65	0,8	100
73	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
74	Вентилятор	40	0,65	0,8	100
75	Вентилятор	7	0,65	0,8	100

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6
76	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
77	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
78	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
79	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
80	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
81	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
82	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
83	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
84	Насос	4,5	0,7	0,8	100
85	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
86	Кран	20,7	0,15	0,5	25
87	Насос	4,5	0,7	0,8	100
88	Електричні печі неавтоматизовані	30	0,6	0,95	100
89	Насос	4,5	0,7	0,8	100
90	Електричні печі неавтоматизовані	30	0,6	0,95	100
91	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
92	Електричні печі неавтоматизовані	30	0,6	0,95	100
93	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
94	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
95	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
96	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
97	Електричні печі неавтоматизовані	20	0,6	0,95	100
98	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
99	Верстат	20	0,14	0,45	100
100	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
101	Верстат	20	0,14	0,45	100
102	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6
103	Верстат	20	0,14	0,45	100
104	Електричні печі неавтоматизовані	10	0,6	0,95	100
105	Верстат	20	0,14	0,45	100
106	Верстат	14	0,14	0,45	100
107	Верстат	20	0,14	0,45	100
108	Верстат	14	0,14	0,45	100
109	Верстат	20	0,14	0,45	100
110	Верстат	14	0,14	0,45	100
111	Верстат	7	0,14	0,45	100
112	Верстат	14	0,14	0,45	100
113	Верстат	7	0,14	0,45	100
114	Верстат	14	0,14	0,45	100
115	Верстат	7	0,14	0,45	100
116	Верстат	14	0,14	0,45	100
117	Верстат	7	0,14	0,45	100
118	Верстат	14	0,14	0,45	100
119	Верстат	7	0,14	0,45	100
120	Верстат	14	0,14	0,45	100
121	Верстат	7	0,14	0,45	100
122	Кран	20,7	0,15	0,5	25
123	Верстат	7	0,14	0,45	100
124	Кран	20,7	0,15	0,5	25
125	Верстат	7	0,14	0,45	100
126	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
127	Верстат	7	0,14	0,45	100
128	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
129	Верстат	7	0,14	0,45	100

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6
130	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
131	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
132	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
133	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
134	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
135	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
136	Верстат	4,5	0,14	0,45	100
137	Вентилятор	7	0,65	0,8	100
138	Вентилятор	10	0,65	0,8	100
139	Верстат	4,5	0,14	0,45	100