

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання  
Кафедра електроенергетики

Проект допущено до захисту  
Зав. кафедрою електроенергетики  
\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

**тема «Аналіз заходів енергозбереження та оптимізація  
електричної частини підстанції»**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав студент гр. ЕТдн-61гл \_\_\_\_\_ Б. Г. Бабич

Керівник \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент В.В. Волохін

Суми 2020

# Сумський державний університет

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

Кафедра електроенергетики

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою електроенергетики

І.Л. Лебединський

“ \_\_\_\_ ” 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### на кваліфікаційну роботу бакалавра

Бабича Богдана Геннадійовича

1. Тема роботи: «Аналіз заходів енергозбереження та оптимізація електричної частини підстанції»

затверджена наказом по університету №\_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченої роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: схема підстанції, параметри та характеристики елементів підстанції, добові графіки навантажень споживачів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити):

– Вступ;

– Аналіз сучасного стану об'єкта реконструкції;

– Розрахунок струмів короткого замикання;

– Розробка заходів щодо реконструкції електричної частини підстанції;

– Індивідуальне завдання;

– Висновки.

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

– схема підстанції 35/10 кВ до реконструкції;

– схема підстанції 35/10 кВ після реконструкції.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Аналіз режиму роботи об'єкту до реконструкції	27.04-04.05.2020
2	Розрахункова частина	05.05-15.05.2020
3	Розробка заходів щодо реконструкції	16.05-21.05.2020
4	Індивідуальне завдання	22.05-27.05.2020
5	Оформлення роботи	28.05-05.06.2020

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

## РЕФЕРАТ

с. 56, рис. 9, табл. 17, кресл. 2.

**Бібліографічний опис:** Бабич Б.Г. Аналіз заходів енергозбереження та оптимізація електричної частини підстанції [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Б.Г. Бабич; наук. керівник В.В. Волохін. - Суми: СумДУ, 2020. - 56 с.

**Ключові слова:** підстанція, силовий трансформатор, струми короткого замикання, вимикач, роз'єднувач, релейний захист;

подстанция, силовой трансформатор, токи короткого замыкания, выключатель, разъединитель, релейная защита;

substation, power transformer, short-circuit currents, switch, disconnector, relay protection.

**Короткий огляд:** Виконано аналіз роботи підстанції, перевірку потужностей силових трансформаторів, розрахунок добових навантажень та струмів короткого замикання. Проведено вибір комутаційного та вимірювального обладнання, релейного захисту силового трансформатора. Розглянуті організаційні заходи для безпечноного проведення робіт на підстанції, питання впливу електромагнітного поля на організм людини та засоби захисту робочого персоналу від впливу небезпечних і шкідливих факторів.

## Перелік умовних скорочень

ВВ – вакуумний вимикач;

ВРП – відкритий розподільчий пристрій;

ЕМП – електромагнітне поле ;

ЗРУ – закрита розподільча установка;

КЗ – коротке замикання;

КЛ – кабельна лінія;

КРУ – комплектна розподільча установка;

КРУЗ – комплектна розподільча установка зовнішня;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція зовнішнього встановлення;

МВ – масляний вимикач;

ОПН – обмежувач перенапруги нелінійний;

ПАТ – Публічне Акціонерне Товариство;

ПЛ – повітряна лінія електропередавання з неізольованими проводами;

ПС – підстанція;

РЕМ – районні електричні мережі;

РЗА – релейний захист та автоматика;

РП – розподільчий пункт;

РПН – регулювання напруги під навантаженням;

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. Сучасний стан та аналіз роботи підстанції.....	9
1.1. Схема зовнішнього і внутрішнього електропостачання підстанції.....	9
1.2 Аналіз режиму роботи .....	9
1.3 Характеристики обладнання підстанції.....	10
1.3.1. Силові трансформатори.....	10
1.3.2. Роз'єднувачі.....	12
1.3.3. Від'єднувачі .....	12
1.3.4. Короткозамикачі.....	13
1.3.5. Масляні вимикачі .....	13
1.3.6. Вакуумні вимикачі .....	14
1.3.7. Трансформатори струму.....	14
1.3.8. Трансформатори напруги .....	15
1.3.9. Запобіжники.....	16
1.3.10. Конденсатори в/ч зв'язку .....	16
1.3.11. Загороджувачі.....	17
2. Перевірка потужності трансформаторів та розрахунок струмів короткого замикання .....	18
2.1. Аналіз потужності силових трансформаторів.....	19
2.2. Розрахунок струмів короткого замикання.....	21
3. Вибір електричного обладнання та релейного захисту.....	25
3.1 Вибір високовольтних вимикачів.....	25
3.2. Вибір вимикачів 10 кВ.....	29
3.3. Вибір роз'єднувачів на стороні 35 кВ .....	31
3.4 Захист від перенапруг у високовольтній мережі .....	32
3.5. Вибір вимірювальних трансформаторів струму на стороні 35 кВ .....	34
3.6. Вибір вимірювальних трансформаторів струму на стороні 10 кВ .....	37
3.7. Вибір трансформаторів власних потреб .....	39

Змн.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.141.590 ПЗ			
Розроб.	Бабич			Аналіз заходів енергозбереження та оптимізація електричної частини підстанції	Літ.	Арк..	Аркушів	
Конс.	Волохін							
Керівник								
Н. Контр.								
Затверд.	Лебединський							
					СумДУ ЕТдн-61гл			

3.8 Вибір релейного захисту .....	40
4.Індивідуальне завдання.....	45
4.1 Організаційні заходи для безпечної проведення робіт на підстанції.....	45
4.2. Вплив електромагнітних полів на людину та заходи захисту.....	49
4.3 Засоби захисту робочого персоналу підстанції від впливу небезпечних факторів.....	52
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>55</b>
<b>СПИСОК ЛТЕРАТУРИ:</b> .....	<b>56</b>

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## ВСТУП

Внаслідок зміни в останні десятиріччя кліматичних умов значна кількість побудованих у 70-ті роки підстанцій є також вразливими до дії підвищених навантажень. Значною мірою це виявляється в осінньо-зимовий період.

Крім того, станом на сьогодні в енергосистемах системи передачі експлуатується 64% пристрій (від загальної кількості), які відпрацювали нормативний строк служби. Залишається на високому рівні відсоток пристрій, які експлуатуються 30-40 і більше років, а також відсоток мікроелектронних пристрій зі строком експлуатації більше 12 років, що є неприпустимим за сучасними вимогами до характеристик та їх інформативності. Назріла гостра необхідність реконструкції та модернізації захистів ПЛ та АТ, введених в експлуатацію в 60-70х роках, а також заміна напівпровідниковых захистів, введених в 70-80 роки, які повністю вичерпали свій нормативний ресурс, а також не відповідають сучасним нормам проєктування та можливості створення автоматизованих систем оперативного та протиаварійного керування.

Внаслідок цього виникає потреба докорінного технічного переоснащення та реконструкції ПС, оскільки проектний розрахунковий термін експлуатації більшості з них вже закінчився. Одним із таких об'єктів є підстанція 35/10 кВ, яка призначена для електропостачання підприємств міста та побутових електроспоживачів. В силу того, що на підстанції використовується застаріле фізично і морально обладнання, яке може привести до відмови і втрати живлення відповідальних споживачів, воно вимагає заміни на більш досконале і нове.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

## 1. Сучасний стан та аналіз роботи підстанції

### 1.1. Схема зовнішнього і внутрішнього електропостачання підстанції.

Досліджувана підстанція 35/10 кВ є понижувальною двотрансформаторною підстанцією. Споживачами електроенергії є в основному електроприймачі II і III категорій, кількість споживачів I категорії незначна. Живлення підстанції відбувається по лініях 35 кВ, від ПС 110/35/10. Схема даної ПС є тупиковою.

Відкриті розподільчі пристрої (ВРП) виконані за спрощеною схемою підстанції. На ВРП 35 кВ встановлено два силових трансформатори потужністю 6,3 МВА, кожен. Встановлені на лініях роз'єднувачі, далі на секції шин 35 кВ.

У ЗРП 10 кВ розміщені комірки КРУ. Конструктивною особливістю КРУ є металева шафа, розділена перегородками на відсіки: збірних шин, викочування візка, роз'єднувачів контактів, трансформаторів струму і кабельної збірки, приладової шафи. Від комірок КРУЗ живляться споживачі міста та промисловість.

На силових трансформаторах є можливість здійснення регулювання напруги від навантаження, не виводячи трансформатор з роботи. В комірках КРУЗ змонтовані масляні вимикачі типу МКП-35 кВ, ВМ-35 кВ, ВТ-35 кВ, ВМГ-10 кВ, ВМП-10 кВ, ВММ-10, ВК-10, ВМПЭ-10 і вакуумні типу ВВВ-10, ВВТЭЛ-10, ВБЗП-35, ВР35НСМ.

До переваг даної схеми можна вінести простоту, економічність, досить високу надійність в електропостачанні.

### 1.2 Аналіз режиму роботи

В будівлі підстанції (введено в експлуатацію в 1972 році) розташовані закриті розподільчі пристрої 10кВ (ЗРП-10кВ) 1 і 2 СШ, які живляться від шинних мостів силових трансформаторів. Релейні шафи управління, сигналізації, власних потреб і захистів силових трансформаторів, вводів 35-10кВ, СМВ-10кВ знаходяться в окремому приміщенні будівлі. Також в окремих приміщеннях будівлі знаходяться майстерня ВВБ та побутове приміщення ВВБ.

Обладнання ЗРП-10кВ розташоване в окремих приміщеннях підстанції і складається з комірок типу КСВ-66 з вимикачами ВМГ-133, ВМГ-10, і розділено на дві секції, що живляться від трансформаторів.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	9
					БР 5.6.141.590 ПЗ	

Трансформатори власних потреб розташовані на ВРП-35кВ і огорожені сітчастими огорожами: ТВП-1 типу ТМ-25/10 потужністю 25 кВА, та ТВП-2 типу ТМ-25/10 потужністю 25 кВА. Масло-наповнені трансформатори з природним охолодженням, напругою 10/0,4 кВ, рік введення в експлуатацію ТВП 1-1983, ТВП 2-1984 рік.

Силові трансформатори 1Т типу ТМ 6300/35, 2Т типу ТМН-6300/35 –64-У1, потужністю 6300 кВА кожний. Масло-наповнені трансформатори, трифазні, двохобмоткові з природною циркуляцією масла. Трансформатори введені в експлуатацію 1Т-1973 році, 2Т-1980 року.

Відкритий розподільчий пристрій, розташований на території ПС і призначений для прийому електричної енергії напругою 35 кВ з боку повітряної лінії 35 кВ та підведення її до силових трансформаторів 1Т, 2Т. Він складається з СШ-35кВ, на якій розташовані шинні роз'єднувачі типу РНДЗ-35/600 в кількості 3 шт, масляних вимикачів МВ-35-1Т типу ВТД-35-630-10У1 в кількості 1 шт. і МВ-35-2Т типу ТВД-35-630-10У1, розрядників РВС-35-1Т в кількості 3 шт, РВС-35-2Т в кількості 3 шт.

Кабельний канал призначений для прокладання контрольних і силових кабелів від приміщення ЗРП-10кВ до обладнання ВРП-35 кВ, силових трансформаторів, масляних вимикачів МВ-35-1Т-2Т виконаний в землі з бетонних лотків.

Всі відхідні лінії 10 кВ, вводи 10 кВ силових трансформаторів обладнані пристроями обліку електроенергії по напрузі 10 кВ. Трансформатори власних потреб обладнані пристроями обліку електроенергії напругою 0,4 кВ, що дозволяє врахувати надходження електричної енергії на шини 10 кВ підстанції і віддачу електричної енергії як по стороні 10 кВ, так і по стороні 0,4 кВ.

### 1.3 Характеристики обладнання підстанції.

#### 1.3.1. Силові трансформатори.

Силові трансформатори, встановлені на підстанції, призначені для перетворення електричної енергії одного класу напруги в інший, а також зв'язку

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	10
					БР 5.6.141.590 ПЗ	

між окремими ділянками електричної мережі і регулювання напруги в мережі. Трансформатори напругою 35/10 кВ, трифазні, масло-наповнені, з регулюванням напруги під навантаженням (РПН). Основним елементом конструкції силового трансформатора є магнітопровід, на стрижнях якого насаджено обмотки. Магнітопровід з обмотками – це активна частина (розміщена в баку трансформатора і залита трансформаторним маслом). На кришці трансформатора встановлюються масло-наповнені вводи 35-10 кВ, внутрішня порожнина яких пов'язана з баком трансформатора. Також на кришці трансформатора змонтовані розширювачі для компенсації температурних змін рівня масла. Розширювачі з'єднані з баком трансформатора трубопроводом через газове реле, є елементом газового захисту трансформатора.

Табл. 1.-Технічні дані силових трансформаторів ПС

Диспетчерське найменування	1Т	2Т
Тип трансформатора	ТМ-6300/35	ТМН-6300/35
Потужність трансформатора, кВА	6300	6300
Схема і група з'єднань	Y <sub>0</sub> /Δ-11	Y/Δ-11
Тип регулювання напруги	ПБВ	РНТА-35/320
Номінальний струм, А	104,0/346,0	103,9/350,7
Напруга КЗ, %	7,5	7,5
Повна вага, т	16,9	19,925
Вага масла	4,80	5,90
Вага активної частини, т	8,10	8,016
Заводський номер	85366	112581
Рік виготовлення	1972	1980
Технічні дані ТВП		
Диспетчерське найменування	41Т	42Т
Тип трансформатора	ТМ-25/10	ТМ-25/10
Потужність трансформатора, кВА	25	25
Номінальний струм, А	1,44/36,1	1,44/36,1
Напруга КЗ, %	4,0	4,0
Схема і група з'єднань	Y/Y <sub>0</sub> -0	Y/Y <sub>0</sub> -0

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 1.3.2.Роз'єднувачі

Роз'єднувачі являють собою комутаційні апарати, основним призначенням яких є створення видимого розриву між ділянкою електроустановки, виведені в ремонт і суміжними струмопровідними частинами, що перебувають під напругою. Оскільки роз'єднувачі не мають дугогасильних пристройів, операції з ними (включення-відключення) виконуються в ланцюгах без струму, що знаходяться під напругою або без напруги.

Роз'єднувачі мають відносно просту конструкцію. На загальній металевій рамі згідно з напругою, на яке застосовуються роз'єднувачі, встановлені ізолятори. На ізоляторах розташовуються рухомі та нерухомі струмоведучі елементи. Рухомі елементи роз'єднувачів (ножі) з допомогою системи тяг пов'язані з приводом роз'єднувача. Роз'єднувачі застосовуються в електроустановках, розташованих як в приміщеннях, так і на відкритому повітрі. Найбільше застосування в електроустановках до 20 кВ. Для включення і відключення роз'єднувачів застосовуються ручні приводи важільного типу. Забезпечуються вони заземлюючими ножами, привід яких має блокування з приводом роз'єднувача.

### 1.3.3.Від'єднувачі

Від'єднувачі по своїй конструкції мають невелику відмінність від роз'єднувачів. Ножі від'єднувачів мають практично таку ж конструкцію, як і роз'єднувачів. Основне призначення – відділення пошкодженої ділянки від суміжної ділянки електричного ланцюга в без струмову паузу. Можливо також відключення від'єднувачами струмів намагнічення трансформатора і зарядних струмів ліній електропередач.

Від'єднувачі забезпечуються пружинними приводами, які працюють, як правило, на відключення. Включення проводиться вручну. У момент відключення від'єднувача дистанційно зі щита управління або автоматично механізм вільного розчеплення звільняється пружинами, під дією яких відбувається відключення. Час відключення становить 0,5 – 0,6 сек.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

#### 1.3.4. Короткозамикачі.

Короткозамикачі призначаються для створення штучного КЗ. Короткозамикачі на напругу 35 кВ – двополюсні, для створення КЗ між фазами. Конструктивно короткозамикач виконаний на стрижневому ізоляторі.

Рухомий контакт у вигляді ножа заземлені з'єднаний ізоляційної тягою з пружинним приводом. Короткозамикач встановлюються спільно з від'єднувачем на підстанціях, що споруджуються за спрощеними схемами, без вимикачів на стороні вищої напруги. Взаємодія короткозамикача і від'єднувачів відбувається наступним чином.

При пошкодженні силового трансформатора його захист подає оперативний струм на привід короткозамикача. Короткозамикач включається і створює штучне КЗ на лінії, яка відключається її захистом за допомогою вимикачів. Після відключення лінії від'єднувач пошкодженого трансформатора відключається і АПВ включає вимикачі живильної лінії.

#### 1.3.5. Масляні вимикачі.

На підстанціях 35 кВ знаходяться в експлуатації масляні вимикачі МКП-35 кВ, ВМ-35 кВ, ВТ-35 кВ, З-35 кВ на напругу 35 кВ і горшкові масляні вимикачі малої ємності типу ВМГ-10 кВ, ВМП-10 кВ на струми до 1500 А, ВМПЭ-10 на струми понад 1500 А, МГГ і МГ на напругу 6-10 кВ і струми до 6000 А, ВММ-10, ВК-10.

У масляних вимикачах всіх типів масло застосовується для гасіння дуги, а у вимикачах з великою ємністю масла воно застосовується ще й в якості ізоляції струмоведучих частин. Вимикачі з малим об'ємом масла мають баки, які знаходяться під напругою та ізольовані від землі. В процесі відключення масляного вимикача між його контактами виникає електрична дуга. Під дією високої температури відбувається розкладання масла та інтенсивне виділення газу з утворенням газового міхура в області розмикання контакторів.

У газовому баку міститься до 70 % водню, що позитивно позначається на процесі гасіння дуги. Великий тиск у газовому баку також сприяє процесу гасіння дуги. Для збільшення здатності відключення масляних вимикачів застосовуються

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	13
					БР 5.6.141.590 ПЗ	

дугогасильні камери з автогазовим дуттям, в яких відбувається розмикання контактів.

### 1.3.6. Вакуумні вимикачі.

Вакуумні вимикачі – це комутаційні апарати, розрив контактів в яких проводиться в камерах, які перебувають під вакуумом. Відповідно, за рахунок цього, спрощується конструкція цих вимикачів в порівнянні з масляними вимикачами, підвищується комутаційний і механічний ресурс, а також значно спрощується їх експлуатація.

На підстанціях 35 кВ знаходяться в експлуатації вакуумні вимикачі 10-35 кВ наступних типів: ВВВ-10, ВВТЭЛ-10, ВБЗП-35, ВР35НСМ. Ці вимикачі є швидкодіючими, триполюсними комутаційними апаратами, призначеними для комутацій в трифазних електричних колах напругою 6-10 кВ та 35 кВ, як в нормальніх режимах, так і в аварійних з можливістю відключення номінальних струмів короткого замикання.

Рівень масла в полюсах вимикача повинен бути посередині масло показника (приблизно 24 л в кожний полюс при  $t_{окр.ср.} = +10-20^{\circ}\text{C}$ ). Після проведення 40 відключень струму КЗ в межах 12-20кА необхідно провести перевірку електричної міцності ізоляції трансформаторного масла в полюсах. Масло слід перевіряти з періодичністю 1 раз в рік в перші два роки експлуатації і один раз на кожні три наступні роки. Масло необхідно замінити, якщо воно має пробивну міцність 15 кВ.

### 1.3.7. Трансформатори струму.

Вимірювальні трансформатори струму призначені для живлення контрольно-вимірювальних приладів струму і струмових ланцюгів релейного захисту і автоматики. Застосування трансформаторів струму дозволяє знизити велике значення первинних струмів до таких значень у вторинній обмотці, які зручні для живлення приладів і реле, а також провести розв'язку по напрузі між силовими ланцюгами вторинної комутації. Максимальне значення вторинного струму в нормальному режимі не перевищує 5А.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

За конструкцією трансформатори струму складаються з одного або декількох сердечників, набраних з листів або стрічки електротехнічної сталі, обмоток, первинної та вторинної. Трансформатор струму первинної обмотки, що має мале число витків (може бути і один виток) більшого перерізу, включається послідовно в первинне коло. Струмові обмотки приладів і реле включаються в коло вторинної обмотки послідовно. Режим роботи трансформаторів струму повинен бути близький до режиму КЗ. При розмиканні вторинної обмотки трансформатора на затискачах обмотки наводиться значна ЕРС (кілька кВ), яка представляє велику небезпеку для обслуговуючого персоналу. Крім цього, за рахунок зростання магнітного потоку у багато разів збільшуються втрати в сердечнику трансформатора струму, що може привести до його перегріву і виходу з ладу. Тому розмикання вторинних обмоток трансформаторів струму без попереднього відключення первинних колів категорично заборонено.

На підстанціях 35 кВ знаходяться в експлуатації трансформатори струму ТФН-35М, ТФЗМ 35А-У1 – багатовіткові, масло-наповнені, з фарфоровою ізоляцією, ТФНД-35М, ТФЗМ 35Б-ІУ1 – з обмотками для диференційного захисту ланкового типу на струми від 50 до 1000 А. Вторинний струм 5 А. Первина обмотка ізольована від вторинної з допомогою паперової ізоляції і обидві обмотки поміщені в порцеляновий ізолятор, залитий маслом.

### 1.3.8. Трансформатори напруги.

Вимірюальні трансформатори напруги призначені для підключення контрольно-вимірюальних приладів, приладів обліку електроенергії, обмоток напруги реле захисту, автоматики і управління. Трансформатори напруги відокремлюють вторинні кола і прилади, включені у вторинні обмотки, від високої напруги первинної обмотки. Трансформатори напруги НТМИ-6-10 кВ, НАМИ-6-10 кВ, ЗНОМ-35 кВ, НАМИ-35 кВ крім основної функції – контролю напруги, мають також можливість контролю наявності замикання на землю в мережах 6-35 кВ, за рахунок додаткової обмотки.

Трансформатори напруги складаються із сталевого шихтованого сердечника з електротехнічної сталі, первинної і вторинної обмотки. Своєю первинною

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	15
					БР 5.6.141.590 ПЗ	

обмоткою трансформатори напруги підключаються до шин високої напруги. У вторинну обмотку прилади і реле включаються паралельно. Потужність трансформаторів напруги невелика (від десятків до сотень вольт-ампер).

Для забезпечення необхідної точності режим їх роботи повинен приблизитись до режиму холостого ходу. Трансформатори напруги виконуються однофазними або трифазними, двох-обмоткові або трьох-обмоткові, з масляним охолодженням або природним повітряним, для внутрішньої або зовнішньої установки.

### 1.3.9. Запобіжники.

Для захисту електричних кіл і окремих частин електроустановок, а також при порушенні їх нормальних режимів роботи, застосовуються спеціальні апарати – запобіжники. В даний час випускаються високовольтні запобіжники з заповненням кварцовим піском серії: ПК – запобіжник кварцовий, ПКУ – посиленний, ПКН – зовнішньої установки, ПКЕ – для установок, схильних до коливань та вібрації, ПКТ і ПКТУ – для захисту кіл трансформаторів напруги на 3, 6, 10, 35 кВ. В марці запобіжника до дробової риски зазначено напруга в кВ, а після риски – найбільший номінальний струм в амперах. В електроустановках до 1000 В найбільш поширеними запобіжниками є ПР-2 і ПН-2.

### 1.3.10. Конденсатори в/ч зв'язку.

Конденсатори в/ч зв'язку є одним з елементів каналу зв'язку. Застосування конденсаторів пояснюється на властивості зміни ємнісного опору в залежності від частоти струму, що тут протікає. Для струмів високої частоти (200-300 кГц) цей опір дуже малий, для струму промислової частоти (50 Гц) значно вище. Таким чином, конденсатор не пропускає через себе струми промислової частоти, і не перешкоджає проходженню через нього струмів високої частоти, на яких відбувається передача інформації по каналу в/ч зв'язку через лінію електропередач від одного пристрою зв'язку до іншого.

Конденсатор складається з фарфорового полого ізолятора, закритого з обох боків металевими кришками. Всередині цього ізолятора набраний пакет окремих паперових конденсаторів, з'єднаних послідовно і скріплених в один блок. Нижня

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	16
					БР 5.6.141.590 ПЗ	

і верхня кришки ізолятора є висновками конденсатора. Весь вільний простір усередині ізолятора і блок конденсатора залиті конденсаторним маслом, для компенсації температурних змін об'єму масла в корпусі ізолятора, в його верхній частині вкладені, приблизно 10 штук, дискових мембраних коробок, компенсаторів тиску, які стискаються при розширенні обсягу олії і розширюються при зменшенні обсягу олії. Кришки ізолятора закриті герметично.

Верхня частина кришки конденсатора є контактом, до якого приєднаний спуск з лінії; нижня кришка є контактом, який через фільтр приєднання з'єднується з контуром заземлення. Сам конденсатор встановлюється на металевій або ж/б конструкції на статтю ізоляторі.

### 1.3.11. Загороджувачі.

Загороджувач ВЧЗ-300-0.15, ВЧЗ-100-0.15 являє собою котушку з алюмінієвого або мідного дроту, розраховану на проходження номінального струму лінії, безкаркасну, скріплена дерев'яними рейками для додання їй жорсткості. Паралельно початку і кінця цієї котушки підключений блок конденсаторів (елемент налаштування). Загороджувач включається послідовно з лінією. Індуктивність котушки загороджувача і ємність блоку конденсаторів, створюють коливальний контур, настроєний на певну потрібну частоту (200-300 кГц) і на відміну від конденсатора в/ч зв'язку, не пропускають струм високої частоти до обладнання підстанції, щоб виключити загасання в/ч сигналу на обладнанні ПС. А струми промислової частоти (50 Гц) пропускаються безперешкодно. Загороджувач підвішується на гірляндах ізоляторів на приймальному порталі, можливо на опорах ВЛ при необхідності, або встановлюється прямо на верхню кришку конденсатора.

Конденсатори в/ч зв'язку з фільтром приєднання і загороджувачі встановлюються по обох кінцях лінії, по якій організовується канал/год зв'язку. Якщо лінія має відпайки, а канал в/ч зв'язки там не потрібен, то з цих кінців лінії ставиться тільки загороджувач.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## **2. Перевірка потужності трансформаторів та розрахунок струмів короткого замикання**

Як говорилося раніше обладнання, встановлене на підстанції фізично і морально застаріло, з цієї причини відбуваються часті аварійні ситуації. На даний момент на підстанції застосовується схема з вимикачами на стороні вищої напруги.

Модернізовані підстанції різних типів електричних з'єднань зобов'язані забезпечувати роботу без участі людини, іншими словами обладнання та схема, в якій воно встановлено, повинні зберігати виконання всього функціоналу підстанції в режимі після аварії завдяки засобам автоматики без будь-якого втручання людини.

Експлуатаційна практичність схеми підстанції дуже важлива, так як одним із завдань схеми, є доступність обслуговування персоналу для огляду обладнання без перебоїв в електропостачанні, а також простоту і чіткість побудови схеми, що знижують можливість помилкових дій персоналу .

Економічна доцільність електричних з'єднань підстанції визначається сумарними витратами за умови забезпечення схемою всього комплексу технічних і експлуатаційних вимог, що пред'являються до неї. Прийнято рішення для збільшення надійності замінити вентильні розрядники типу РВП на обмежувачі перенапруги типу ОПН.

Для електропостачання власних потреб передбачена заміна двох трансформаторів на більш потужніші два трансформатори потужністю по 40кВА типу ТМ-40/10 та ТМЗ-40/10.

Згідно з плану проводиться оновлення на підстанції, здійснюється заміна в комірках 10 кВ та 35 кВ масляних вимикачів на вакуумні, які є більш надійними і значно простішими в експлуатації. З боку високої напруги також замінено вакуумні вимикачі на досконаліші.

Одним із завдань реконструкції буде заміна застарілих елементів релейного захисту на сучасні – мікропроцесорні прилади захисту.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

## 2.1.Аналіз потужності силових трансформаторів.

Від підстанції живляться споживачі всіх категорій. Розраховуємо двохтрансформаторну підстанцію, до якої підключене навантаження потужністю  $S=5.2 + j3.8$  МВА. На підстанції встановлено два трансформатори типу ТМ 6300/35.

Визначаємо номінальну потужність встановлених трансформаторів:

$$S_{\text{ном.нав}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{5,2^2 + 3,8^2} = 6.44 \text{ MVA}$$

Перевіримо встановлені трансформатори на підстанції на здатність без пошкоджень витримати заданий графік навантажень.

Табл. 2. – Навантаження споживачів протягом доби.

Години	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	11-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
$S_n, \%$	50	40	60	80	95	90	80	90	110	120	110	105
$S_{\text{сп}}, \text{MVA}$	3.22	2.57	3.86	5.15	6.11	5.79	5.15	5.79	7.08	7.72	7.08	6.76

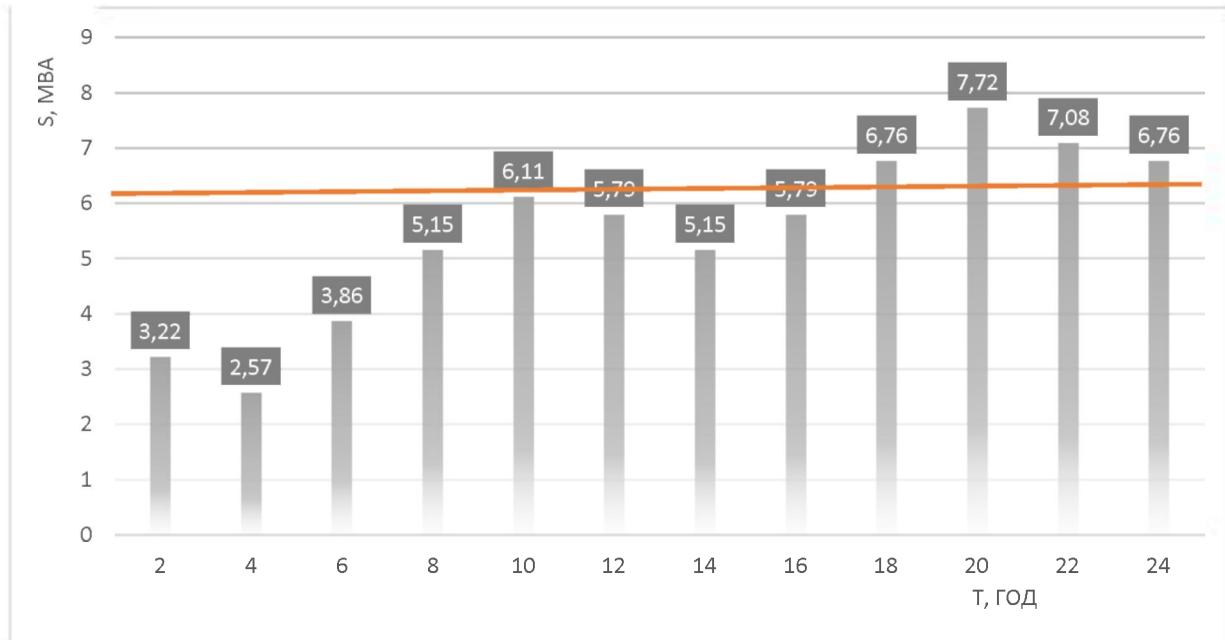


Рис.1 – Графік навантаження

На графіку навантаження проводиться лінія номінальної потужності трансформатора 6.3 МВА, яка поділяє графік на дві частини: недовантаження і

перевантаження після чого графік перетворюється в еквівалентний двоступінчастий.

Початкове навантаження еквівалентного графіка визначається за формулою:

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{ном}}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + \dots + S_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

де  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – власне навантаження першого, другого,  $n$ -го ступеня графіка навантаження, розміщеного нижче лінії номінальної потужності трансформатора;  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , тривалість ступеня.

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{ном}}} \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + S_3^2 \cdot t_3 + S_4^2 \cdot t_4 + S_5^2 \cdot t_5 + S_6^2 \cdot t_6 + S_7^2 \cdot t_7 + S_8^2 \cdot t_8}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8}}$$

$$K_1 = \frac{1}{6.3} \sqrt{\frac{3.22^2 \cdot 2 + 2.57^2 \cdot 2 + 3.86 \cdot 2 + 5.15^2 \cdot 4 + 6.11^2 \cdot 2 + 5.79^2 \cdot 4}{16}} = 0.825$$

Аналогічно визначаємо другий ступінь еквівалентного графіка, але при цьому беруться ступені, розміщені вище лінії номінальної потужності трансформатора:

$$K_2 = \frac{1}{6.3} \sqrt{\frac{S_9^2 \cdot t_9 + S_{10}^2 \cdot t_{10} + S_{11}^2 \cdot t_{11} + S_{12}^2 \cdot t_{12}}{t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12}}}$$

де  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – навантаження вище лінії номінальної потужності трансформатора.

$$K_2 = \frac{1}{6.3} \sqrt{\frac{7.72^2 \cdot 2 + 7.08^2 \cdot 4 + 6.76^2 \cdot 4}{8}} = 1.25$$

Максимальне перевантаження трансформатора визначається за формулою:

$$K_{\max} = \frac{S_{\max}}{S_{\text{ном}}} = \frac{7.72}{6.3} = 1.22$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

де  $S_{\text{MAX}}$  – максимальне навантаження трансформатора за графіком навантаження.

Визначене попереднє значення  $K_2$  порівнюється зі значенням  $0.9 \cdot K_{\text{max}}$  вихідного графіка.

Попереднє значення  $K_2 = 1.25 > 0.9 \cdot K_{\text{max}} = 0.9 \cdot 1.22 = 1.09$

$$K'_2 = 1.25$$

час перенавантаження  $t_{\text{год}} = 8$  годин.

За ГОСТ 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) та часу перевантаження  $t_{\text{год}}$  знаходимо значення для трансформаторів із системою охолодження М.

$$K_{2\text{табл}} = 1.38 > 1.25.$$

З чого робимо висновок, силові трансформатори не перевантажуються, і знаходяться в хорошому стані, тому їх заміна в рамках реконструкції не доцільна.

## 2.2. Розрахунок струмів короткого замикання.

Розрахунок струмів короткого замикання проводимо для вибору електрообладнання, засобів захисту, розрахунку заземлюючих пристройів. Для розрахунку струмів короткого замикання необхідно скласти схему заміщення для першого джерела живлення.

Визначаємо струм короткого замикання (КЗ) в точках К-1, К-2, на шинах підстанції 35/10 кВ.

За завданням маємо наступні вихідні дані:

1. Опір системи  $X_C = 5 \Omega$ ;
2. Довжина ПЛ від якої живиться підстанція становить  $L = 1.99 \text{ km}$ ;
3. Трансформатори T1 і T2 потужністю по 6300кВА

Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ наведена на Рис. 2.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

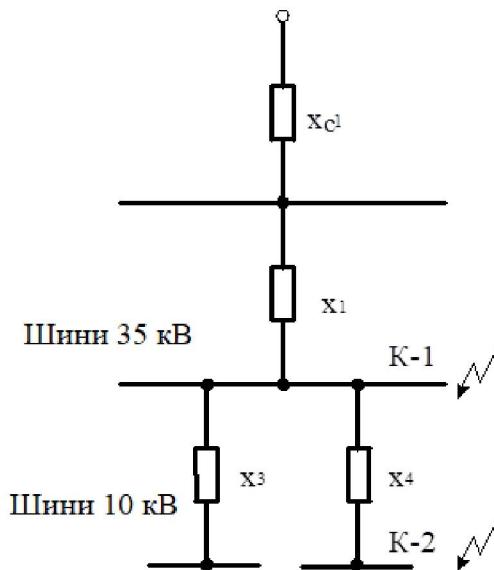


Рис. 2- Схема заміщення

Знаходимо опір ПЛ 35 кВ:

$X_L = R_o \cdot L$ , де  $L$ - довжина лінії, км.

$R_o = 0.46$  Ом/км для проводу АС-70 який встановлено на цій лінії.

$$X_L = 0.46 \cdot 1.99 = 0.91 \text{ Ом}$$

Опір короткого замикання двох-обмоткового трансформатора  $X_T$ , Ом, знаходять за формулою:

$$X_T = \frac{U_{K3} \% \cdot U_{nom}^2}{100 \cdot S_{nom}}$$

$$X_{T1} = X_{T2} = \frac{7.5 \cdot 37^2}{100 \cdot 6.3} = 16.29 \text{ Ом}, \text{ де } U_{K3} - \text{напруга КЗ трансформатора, \%};$$

$U_{nom}$  - номінальна напруга трансформатора зі сторони ВН, кВ;

$S_{nom}$  - номінальна потужність трансформатора, МВ·А.

Номінальні напруги трансформаторів можуть бути більшими  $U_{nom}$  мереж, які підключені до обмоток трансформаторів на 5 % - 10 %.

Розрахуємо струм КЗ для точки К-1:

Для цього просумуємо опір системи і опір повітряної лінії:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_L = 5 + 0.91 = 5.91 \text{ Ом}$$

Періодична складова СКЗ у точці К-1:

$$I_{K3} = \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 5.91} = 3.61 \text{ кA}$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Знаходимо ударний струм КЗ для точки К-1 за наступною формулою:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K3},$$

де  $K_y$ - ударний коефіцієнт,  $K_y = 1,61$

$$i_y = 1.41 \cdot 1.61 \cdot 3.61 = 8.23 \text{ кA}$$

Періодична складова СКЗ  $K_2$  приведена до напруги вищої сторони:

$$I_{K2}^B = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot (X_\Sigma + X_T)} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot (5.91 + 16.29)} = 0.962$$

Реальний СКЗ у точці  $K_2$ :

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{37}{10.5} = 0.962 \cdot \frac{37}{10.5} = 3.39 \text{ кA}$$

Знаходимо ударний струм КЗ для точки К-2:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K3}$$

$$i_y = 1.41 \cdot 1.61 \cdot 3.39 = 7.72 \text{ кA}$$

Припустимо, що амплітуда ЕДС і періодична складова СКЗ незмінні за часом, тому через час, який дорівнює часу відключення:

$$I_{\eta\tau 1} = I_{K1} = 3.61 \text{ кA для точки } K_1.$$

$$I_{\eta\tau 2} = I_{K2} = 3.39 \text{ кA для точки } K_2.$$

Аперіодична складова СКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{kn} \cdot e^{-\frac{t}{Ta}}$$

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot e^{-\frac{t_1}{Ta1}} = \sqrt{2} \cdot 3,61 \cdot e^{-\frac{0.06}{0.025}} = 0.469 \text{ кA.}$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot I_{K2} \cdot e^{-\frac{t_2}{Ta2}} = \sqrt{2} \cdot 3,39 \cdot e^{-\frac{0.1}{0.05}} = 0.649 \text{ кA.}$$

де  $Ta$  - постійна часу загасання аперіодичної складової.

Для  $K_1$ :  $Ta = 0.025 \text{ с}$ , для  $K_2$ :  $Ta = 0.05 \text{ с}$ .

Інтеграл Джоулія :

$$B_{K1} = I_{K1}^2 \cdot (t + Ta) = 3.61^2 \cdot (0.06 + 0.025) = 1.111 \text{ кA}^2 \text{с}$$

$$B_{K2} = I_{K2}^2 \cdot (t + Ta) = 3.39^2 \cdot (0.1 + 0.05) = 6.898 \text{ кA}^2 \text{с}$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист
					БР 5.6.141.590 ПЗ 23

Табл. 3 – Значення струмів короткого замикання

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу, кА	Ударний СКЗ $i_y$ , кА	СКЗ у момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіод. складова СКЗ, $i_a$ кА	Інтеграл Джоуля $B_K$ , $kA^2c$
Шини 35 кВ ( $K_1$ )	3.61	8.23	3.61	0.469	1.111
Шини 10 кВ ( $K_2$ )	3.39	7.72	3.39	0.649	6.898

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3. Вибір електричного обладнання та релейного захисту

#### 3.1 Вибір високовольтних вимикачів.

Вибір вимикачів виконуємо за наступними параметрами:

1. За напругою електроустановки:

$$U_{\text{ном}} \geq U_c ,$$

де  $U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга вимикача,

$U_c$  – номінальна напруга мережі в місці установки вимикача.

2. За максимальним робочим струмом:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{max} ,$$

де  $I_{\text{ном}}$  – номінальний струм вимикача;  $I_{max}$  – струм тривалого режиму роботи вимикача.

Струм тривалого режиму роботи для найбільш навантаженого вимикача визначається виразом:

$$I_{max} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} ,$$

3. Перевірка здібності відключення періодичної складової КЗ:

$$I_{\eta\tau} \leq I_{\text{відкл.ном}} ,$$

де  $I_{\text{відкл.ном}}$  – номінальний струм відключення вимикача;

$I_{\eta\tau}$  – діюче значення періодичної складової струму КЗ в колі вимикача в момент  $t$  початку розходження дугогасильних контактів вимикача.

4. Перевірка відключення аперіодичної складової струму КЗ:

$$I_{a\tau} \leq I_{a.\text{ном}} ,$$

де  $I_{a\tau}$  – розрахункове значення аперіодичної складової струму КЗ в колі вимикача в момент розходження контактів;

$I_{a\text{ном}}$  – нормальне значення аперіодичної складової струму відключення, що визначається наступним виразом:

$$I_{a\text{ном}} = \sqrt{2} \frac{\beta_{\text{норм}}}{100} \cdot I_{\text{відкл.ном}},$$

$$I_{a\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \frac{45}{100} \cdot 25 = 15.9$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

5. Перевірка по здатності включення:

$$I_{\text{розр}} < I_{\text{прСКВ}}$$

6. Перевірка на електродинамічну стійкість струму КЗ :

$$i_{\text{уд.розр}} < i_{\text{прСКВ}} = i_{\text{дин}},$$

Де  $I_{\text{прСКВ}}$  і  $i_{\text{уд.розр}}$  – діюче і миттєве значення граничного наскрізного струму вимикача, допустимого при КЗ;

$i_{\text{дин}}$  – значення струму електродинамічної стійкості вимикача;

$I_{\text{розр}}$  та  $i_{\text{уд.розр}}$  – розрахункові значення струмів КЗ у колі вимикачів (на стороні ВН підстанції)

7. На термічну стійкість вимикач перевіряють за умови:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r,$$

де  $I_T$  – струм термічної стійкості, кА;

$t_r$  – допустимий час дії термічного струму стійкості, с;

$I_T$  та  $t_r$  – справочні дані;

$B_K$  – Інтеграл Джоуля;

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормальног і післяаварійного режимів. Визначення струмів виконується для випадку установки на підстанції силового трансформатора. Розрахованого відповідно до графіка навантаження підстанції [3].

Струм на боці 35 кВ :

$$I_{\text{max}}^{\text{ВН}} = \frac{1.4 \cdot S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{1.4 \cdot 6.3}{\sqrt{3} \cdot 37} = 0.138 \text{ кА.}$$

До установки на стороні 35 кВ підстанції приймаємо вимикач вакуумний ВВН-СЕЩ-Е-35-25/1000, що випускається виробником високовольтного обладнання ВАТ «Електрощит». Технічні характеристики вимикача наведені в табл. 4, а зовнішній вигляд вимикача зображений на рис. 3.

Привід у вимикача може бути встановлений як електромагнітний, так і пружинно-моторний (на замовлення).

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Табл. 4 – Характеристики вимикача ВВН-СЕЩ-Е-35-25/1000

Технічні параметри	ВВН-СЕЩ-Е-35-25/1000
Номінальна напруга, кВ	35
Номінальний струм, А	1000
Номінальний струм відключення, кА	25
Циклів ВО, при номінальному струмі	25000
Електродинамічна стійкість (кА)	64
Струм термічної стійкості, кА (с)	25 (3)
Власний час відключення, с	0.04
Повний час відключення, с	0.06
Власний час включення, с	0.11
Значення нормованого процентного вмісту аперіодичної складової, %	45



Рис. 3 – Загальний вигляд вимикача ВВН-СЕЩ-Е-35-25/1000

Особливості конструкції і переваги вимикачів ВВН-35:

- можливість установки різних приводів;
- можливість ручного взводу пружин для включення вимикача;
- простота конструкції і висока надійність;

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- високий комутаційний ресурс;
- для відводу тепла в полюсі ВВН-35 використовується ефект природної конвекції, через що конструкція вийшла більш дешевою і надійною;
- наявність лічильника числа циклів спрацьування вимикача;
- наявність індикатору положення вимикача -включений / відключений;
- наявність вбудованих в привід вимикача розщеплювачів;
- єдина конструкція для всіх типів вимикачів, вимикачі з електромагнітним і пружинно-моторним приводом мають однакові приєднувальні розміри;
- внутрішня поверхня камери вимикача - ребриста. Це покращує діелектричні характеристики вимикача і зменшує ймовірність пробою у внутрішній поверхні полюса вимикача;
- у блоці управління встановлені нагрівальні елементи - ТЕНи, які нагріваються до температури не більше 80 градусів, що усуває ймовірність виникнення пожеж та виключає можливість опіків при випадковому торканні ТЕНів обслуговуючим персоналом.

Результати перевірки вимикача ВВН-СЕЩ-Е-35-25/1000 представлена в табл. 5.

Табл. 5- Вибір вимикача на стороні 35 кВ

Умова Вибору	Розрахункові значення	Кatalожні значення
$U_C \leq U_H$	35 кВ	35 кВ
$I_{max} \leq I_{ном}$	138 А	1000 А
$I_{\eta\tau} \leq I_{відклном}$	3.61 кА	25 кА
$I_{\alpha\tau} \leq I_{аном}$	0.469 кА	15.9 кА
$I_{розр} \leq I_{прСКВ}$	3.61 кА	25 кА
$i_{уд.розр} \leq i_{прСКВ}$	8.23 кА	64 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1.111 кА <sup>2</sup> ·с	1875 кА <sup>2</sup> ·с

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.2. Вибір вимикачів 10 кВ.

В даний час при напрузі 6-10 кВ, все більшої популярності отримують комплектні розподільчі пристрої (КРП) з вакуумними вимикачами, іноді з елегазовими вимикачами. Переваги КРП з вакуумними вимикачами:

- мінімальні експлуатаційні витрати;
- високі параметри по вибухо- і пожежобезпеці;
- стійкість до механічних навантажень (удари, вібрації);
- малі габарити;
- екологічно чисті;
- малі часові терміни на монтаж.

Вимикач вибирається за такими ж параметрами, що і вимикач на високій стороні. До установки прийнятий вимикач ВВ/TEL-10-20/1000 У2 (рис. 4). В основі вакуумного вимикача ВВ / TEL-10-20 / 1000-У2 використовуються пофазні електромагнітні приводи з магнітною защіпкою. Електромагнітні приводи механічно об'єднані загальним, що не несе навантаження, валом-синхронізатором. Котушки електромагнітних приводів фаз вимикача з'єднуються паралельно і при виконанні команд підключаються до попередньо заряджених конденсаторів, розташованих в блоках управління типу (БУ/TEL) вимикача ВВ / TEL-10-20 / 1000-У2.



Рис. 4 – Вимикач ВВ / TEL-10-20 / 1000 У2

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розрахункові струми тривалого режиму 10 кВ :

$$I_{\max}^{\text{HH}} = \frac{1.4 \cdot S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{HH}}} = \frac{1.4 \cdot 6.3}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 0.485 \text{ кА.}$$

Табл. 6- Характеристики вимикача ВВ/TEL-10-20/1000 У2

Технічні параметри	ВВ/TEL-10-20/1000 У2
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	1000
Номінальний струм відключення, кА	20
Циклів ВО, при номінальному струмі	50000
Електродинамічна стійкість (кА)	52
Струм термічної стійкості, кА (с)	20 (3)
Власний час відключення, с	0.015
Повний час відключення, с	0.025
Власний час включення, с	0.055
Значення нормованого процента вмісту аперіодичної складової, %	40

Табл. 7 - Вибір вимикачів на стороні 10 кВ.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{max} \leq I_{\text{ном}}$	485 А	1000 А
$I_{\eta\tau} \leq I_{\text{відклном}}$	3.39 кА	20 кА
$I_{\alpha\tau} \leq I_{\text{аном}}$	0.649 кА	11.3 кА
$I_{\text{позр}} \leq I_{\text{прСКВ}}$	3.39 кА	20 кА
$i_{\text{уд.позр}} \leq i_{\text{прСКВ}}$	7.72 кА	52 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	6.898 кА <sup>2</sup> ·с	1200 кА <sup>2</sup> ·с

Всі каталожні і розрахункові величини задовольняють умовам.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист
					БР 5.6.141.590 ПЗ 30

### 3.3. Вибір роз'єднувачів на стороні 35 кВ

Роз'єднувачем є контактний апарат, призначений для комутаційних операцій (включення / виключення). Основне завдання апарату це ізоляція попередньо відключеної частини електричної системи, від суміжних частин розподільного пристрою, що знаходяться під напругою.

Застарілі роз'єднувачі РНДЗ-2-35/ 600 (роз'єднувач, зовнішньої установки, двоколонковий з двома заземлюючими ножами), встановлені на ВРП 35 кВ підлягають заміні при реконструкції. Роз'єднувачі виконані у вигляді окремих полюсів (частина їх змонтована пополюсно, а частина з'єднана трубчастими тягами в один триполюсний апарат). Термін служби роз'єднувачів закінчився, їх фарфорові ізолятори становлять загрозу руйнування в момент перемикання.

До установки на ВРП 35 кВ пропонується роз'єднувач типу РГП СЭЩ-35/1000 зображеній на рис. 5, так як даний вид роз'єднувача володіє необхідними технічними характеристиками.



Рис. 5- Роз'єднувач типу РГП-СЕЩ-35 кВ

Необхідно перевірити роз'єднувач РГП СЭЩ- 35/1000 на можливість установки на ВРП 35 кВ.

Розрахункові параметри при перевірці роз'єднувача наведені в таблиці 8.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 5.6.141.590 ПЗ

Лист

31

Табл. 8 - Вибір роз'єднувачів 35 кВ.

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	35 кВ	35 кВ
$I_{max} \leq I_{nom}$	138 А	1000 А
$i_{уд.розв} \leq i_{прСКВ}$	8.23 кА	50 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1.111 (кА) <sup>2</sup> с	1200 (кА) <sup>2</sup> с

Спираючись на отримані дані (таблиця 8), бачимо, що роз'єднувач РГП СЭЩ-35/1000, обраний правильно і придатний до встановлення.

### 3.4 Захист від перенапруг у високовольтній мережі.

Обмежувач перенапруг нелінійний (ОПН) - це елемент захисту без іскрових проміжків. Активна частина ОПН складається з легованого металу, при подачі напруги він поводиться як безліч послідовно з'єднаних варисторів. Принцип дії ОПН заснований на тому, що провідність варисторів нелінійно залежить від прикладеної напруги. При відсутності перенапруг ОПН не пропускає струм, але як тільки на ділянці мережі виникає перенапруження, опір ОПН різко знижується, чим і обумовлюється ефект захисту від перенапруги. Після закінчення дії перенапруги на вводах ОПН, його опір знову зростає. Перехід з «закритого» в «відкритий» стан займає одиниці наносекунд (на відміну від розрядників з іскровими проміжками, у яких цей час спрацьовування може досягати одиниць мікросекунд).

Переваги обмежувачів ОПН перед вентильними розрядниками:

- необмежений комутаційний ресурс;
- високий рівень обмеження перенапруг;
- безінерційне відстеження перепадів напруги;
- висока швидкість спрацьовування ОПН при перенапругах;
- стабільність характеристик протягом усього терміну служби;
- ОПН не вимагають обслуговування, не ушкоджуються при транспортуванні;
- висока надійність при експлуатації;
- стійкість до атмосферних опадів і забруднень;

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- мала вага та габарити ;

Тому рішення заміни вентильних розрядників на ОПН виявилося, як економічним, так і дуже надійним, що безумовно важливо в наш час. Вибір виконуємо по номінальній напрузі:

ОПНп-35/40,5/10/550 на 35 кВ,

ОПНп-10/12,7/1УХЛ1 на 10 кВ.

Табл. 9 – Параметри вибраних ОПН

Назва параметрів	ОПНп- 35/40,5/10/550	ОПНп- 10/12,7/1УХЛ1
Клас напруги мережі, кВ	35	10
Найбільш тривала допустима робоча напруга, $U_{нд}$ , кВ	43	12,7
Номінальний розрядний струм 8/20мкс, $I_n$ , кА	10	10
Остаточна напруга Воста, кВ, не більше:		
При комутаційному імпульсі струму		
125A,30/60МКС	91,5	30,2
250A,30/60МКС	96,6	31,5
500A,30/60МКС	99,6	33,5
При грозовому імпульсі струму		
5000A,8/20МКС	122,6	37,5
10000A,8/20МКС	129,9	40,6
20000A,8/20МКС	146	45,8
Питома енергія ОПН, кДж / кВ $U_{нд}$ , не менш	5,4	3,24
Пропускна здатність на прямокутному імпульсі струму 2000 мкс, А	550	550

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------



Рис. 6 – Обмежувач перенапруги

35 кВ



Рис. 7 – Обмежувач перенапруги

10 кВ

### 3.5. Вибір вимірювальних трансформаторів струму на стороні 35 кВ

Виконується наступним чином:

1) по номінальному первинному струму:

$$I_{max} \leq I_{nom}$$

2) по номінальній напрузі:

$$U_C \leq U_{nom}$$

3) перевіряють на термічну стійкість:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_r,$$

4) перевіряють на електродинамічну стійкість:

$$i_{уд.розр} < i_{прСКВ} = i_{дин}$$

5) перевіряють на допустиме навантаження вторинного колоа:

$$Z_{H.розр} \leq Z_{H.nom}$$

До установки на ВРП 35 кВ було обрано трансформатор струму ТОЛ-СЕЩ 35.

Необхідно перевірити трансформатор струму ТОЛ-35 на можливість установки на ВРП 35 кВ. Перевірку трансформаторів струму необхідно проводити за основними параметрами. Дані контрольно-вимірювальних приладів представлені в табл. 10. Для вимірювання основних показників на стороні ВН до установки приймається Меркурій - 230 ART.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Умови вибору трансформатора струму зведені в табл. 12.



Рис. 8- Трансформатор струму ТОЛ-35УХЛ1

Табл. 10- Параметри обраного трансформатора струму

Технічні параметри	ТОЛ-35УХЛ1
Номінальна напруга, кВ	35
Найбільша робоча напруга, кВ	40.5
Номінальний первинний струм, А	300
Номінальний вторинний струм, А	5
Електродинамічна стійкість (кА)	63
Струм термічної стійкості, кА (с)	15 (3)
Клас точності	0.5
Номінальне навантаження вторинної обмотки при $\cos\phi=0,8$ ; ВА:	30
Номінальна частота , Гц	50

Табл. 11- Дані контрольно-вимірювальних приладів

Клас точності	Прилади	Тип	S приладу, В·А
0.5	Амперметр	Меркурий-230 ART	0,3

Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{0.3}{5^2} = 0.012 \text{ Ом}$$

Для ТОЛ-СЭЩ 35 в класі точності 0,5:  $Z_{2,\text{ном}} = 1.2 \text{ Ом}$

Допустимий опір проводу:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{Н.ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_k$$

$$Z_{\text{пр}} = 1.2 - 0.012 - 0.1 = 1.088 \text{ Ом}$$

На території підстанції використовується кабель з алюмінієвими жилами, довжина яких становить  $l = 65 \text{ м}$ , схема з'єднання трансформатора струму - неповна зірка, внаслідок цього:  $l_{\text{позр}} = \sqrt{3} \cdot l$ , тоді:

$$q = \rho \cdot \frac{l_{\text{позр}}}{Z_{\text{пр}}} = \frac{0.0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 65}{1.088} = 2.92 \text{ мм}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж  $4 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих жил, обираю  $4 \text{ мм}^2$ .

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l_{\text{позр}}}{F}$$

Де  $\rho$ - питомий опір алюмінію,  $0.0283 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}}{\text{м}}$ ,

$F$ - перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0.0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 65}{4} = 0.79 \text{ Ом}$$

Таким чином, загальний опір струмового кола становить:

$$Z_{\text{Н.позр}} = Z_{\text{прил}} + Z_k + Z_{\text{пр}} = 0.012 + 0.1 + 0.79 = 0.902 \text{ Ом},$$

$0.902 \leq 1.2$ , що задовольняє умовам вибору.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Табл. 12- Умови вибору трансформатора струму на стороні 35 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні Значення
$U_C \leq U_H$	35 кВ	35 кВ
$I_{max} \leq I_{ном}$	138 А	300 А
$i_{уд.розв} \leq i_{прСКВ}$	8.23 кА	63 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1.111 (кА) <sup>2</sup> с	675 (кА) <sup>2</sup> с
$Z_{H.розв} \leq Z_{H.ном}$	0.902 Ом	1.2 Ом

### 3.6. Вибір вимірювальних трансформаторів струму на стороні 10 кВ

На низькій стороні контроль за роботою двообмоткового трансформатора ведуть за допомогою наступних приладів:

- амперметр;
- ватметр;
- варметр;
- лічильник активної енергії;
- лічильник реактивної енергії.

Дані з цих приладів представлені в табл. 13.

Табл. 13- Дані приладів

Прилад	Тип	$S_{приладу}$ , В·А
Амперметр	Э-335	2
Ваттметр	Д350	0.5
Варметр	Н-395	3
Лічильник активної енергії	САЗУ	5
Лічильник реактивної енергії	СР4У	5

Для встановлення обираємо трансформатор ТОЛ–СЕЩ – 10 кВ (зображеній на рис.9), який нижче перевіримо:

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист
					37



Рис.9 –Трансформатор струму типу ТОЛ – СЕЩ – 10 кВ

Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{15.5}{5^2} = 0.62 \text{ Ом}$$

Для ТОЛ-СЭЩ 10 в класі точності 0,5:  $Z_{2,\text{ном}} = 1.2 \text{ Ом}$

Допустимий опір проводу:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{н.ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_k$$

$$Z_{\text{пр}} = 1.2 - 0.62 - 0.1 = 0.48 \text{ Ом}$$

Довжина кабелю становить  $l = 50 \text{ м}$ , схема з'єднання трансформатора струму - неповна зірка, тоді:

$$q = \rho \cdot \frac{l_{\text{розр}}}{Z_{\text{пр}}} = \frac{0.0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 50}{0.48} = 5.1 \text{ мм}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності для алюмінієвих жил, обираю  $6 \text{ мм}^2$ .

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l_{\text{розр}}}{F}$$

де  $\rho$ - питомий опір алюмінію,  $0.0283 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}}{\text{м}}$ .

$F$ - перетин жил,  $\text{мм}^2$ ,

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0.0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 50}{6} = 0.40 \text{ Ом}$$

Таким чином, загальний опір струмового кола становить:

$$Z_{\text{н.розр}} = Z_{\text{прил}} + Z_k + Z_{\text{пр}} = 0.62 + 0.1 + 0.40 = 1.12 \text{ Ом},$$

$1.12 \leq 1.2$ , умова виконується.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Табл. 14 – Умови вибору трансформатора струму на стороні 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні Значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{max} \leq I_{nom}$	485 А	1000 А
$i_{уд.розв} \leq i_{прСКВ}$	7.72 кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	6.898 (кА) <sup>2</sup> с	2976 (кА) <sup>2</sup> с
$Z_{H.розв} \leq Z_{H.nom}$	1.12 Ом	1.2 Ом

Вибраний трансформатор струму ТОЛ – СЕЩ – 10 кВ підходить за умовами.

### 3.7. Вибір трансформаторів власних потреб

Споживачами власних потреб є оперативні кола, електродвигуни системи охолодження силових трансформаторів, освітлення і електроопалення приміщень, електропідігрівання комутаційної апаратури та ін.

Сумарна розрахункова потужність приймачів власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Потужності приймачів власних потреб наведені у табл. 15.

Табл. 15 – Потужності приймача власних потреб

Електроприймачі	Встановлена потужність, кВт	Кількість приймачів	Сумарна потужність
Підігрів релейної шафи	0.7	5	3.5
Охолодження ТМ- 6300/35	3.05	2	6.1
Підігрів вимикачів на напрузі 35 кВ	4.4	2	8.8
Опалення ЗРП 10 кВ	10.3	1	10.3
Живлення шинок сигналізації	9.4	1	9.4
Пожежна сигналізація	4.1	1	4.1
Освітлення, вентиляція ЗРП	3.2	1	3.2
Освітлення ВРП	3	1	3
Всього			48.4

На підстанції передбачається установка двох трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умови :

$$S_{TBП} \geq S_{поз} / k_{пер},$$

де  $S_{TBП}$  - потужність трансформатора власних потреб, кВА.

$K_C$  – коефіцієнт попиту. Приймаємо рівним 0.8

$S_{поз}$  - потужність споживачів власних потреб, кВА.

$$S_{поз} = 0.8 \cdot 48.4 = 38.72 \text{ кВА}$$

При відключенні одного трансформатору другий буде завантажений на  $38.72 / 25 = 1.548 > 1.4 \text{ кВА}$ , що більше ніж допустиме значення, тому для живлення споживачів власних потреб беремо два трансформатори ТМ-40/10.

$$38.72 / 40 = 0.96 < 1.4 \text{ кВА}, \text{що задовольняє умові.}$$

Табл.16 – Технічні характеристики обраного трансформатора

Тип, Номінальна потужність, кВА	Схема та група з'єднання ВН	Uн, кВ	Pк, Вт	Pxx, Вт	Uк, %	Ixx, %
TM-40	Y/Yн-0 Δ/Yн-11 Y/Zн-11	6, 10	880 990 990	150	4,5	2,6

### 3.8 Вибір релейного захисту

Основним завданням релейного захисту на підстанції є виявлення пошкоджень або ненормальних режимів і по можливості швидка видача керуючого сигналу на відключення пошкодженої частини або сигналізація про виникнення ненормальних режимів.

Диференціальний захист на підстанції виконано на реле типу ДЗТ-11. На силовому трансформаторі в якості захисту від зовнішніх струмів короткого замикання, передбачений максимальний струмовий захист (МТЗ-35, МТЗ-6) на базі реле струму РТ-40 - на відключення. Захист від перевантаження виконаний на основі реле струму РТ-40.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист
					40

Як бачимо, пристрой релейного захисту на підстанції виконані на застарілій електромеханічній апаратурі. Ця апаратура фізично зношена, її характеристики відстають від сучасних вимог по точності, енергоспоживанню, можливості працювати в екстремальних умовах. Тому необхідно виконати модернізацію елементів РЗА на сучасну базу.

Встановимо блоки мікропроцесорного захисту фірми «ALSTOM».

Пристрої захисту фірми «ALSTOM» крім функцій безпосереднього захисту і автоматики виконують і додаткові функції:

- автоматичний безперервний контроль стану пристрою;
- вимір поточних величин струму, напруги, а також обчислення на їх підставі потужності, опору струмів і напруг прямої, зворотної послідовності, диференційного струму диф.захисту;
- реєстрація аварійних подій спрацювання пристрою захисту і автоматики;
- передача інформації на верхній рівень;
- управління пристроєм і вимикачем приєднання з верхнього рівня.

Пристрої серії MiCOM P632 забезпечують швидкодіючий трисистемний диференційний захист, використовуючи характеристику з трьома ділянками нахилу і два диференціальних органу з високою вставкою, спільно з функцією гальмування при кидках струму намагнічування трансформатора, гальмування при перенасичення і гальмування наскрізним струмом. Приведення амплітуд і векторної групи виконується просто введенням номінальних даних обмоток трансформатора і встановлених на них ТТ.

Крім того, в пристрої включено безліч допоміжних захисних функцій. Функції захисту, легко призначаються для роботи на певних обмотках. Пристрої P632 мають чотири групи вставок для простоти їх адаптації до умов, що змінюються режимами роботи системи, зручний інтерфейс користувача, а також різні інтерфейси обміну даними, забезпечують легкість зміни вставок всього пристрою і зчитування всіх реєстраторів, представлених у великій кількості. Кілька інтегрованих протоколів обміну даними дозволяють обмінюватися даними з системою управління підстанції або системою SCADA практично будь-якого

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

типу. MICOM P632 забезпечують гнучкість при інтеграції пристрой в систему захисту підстанції.

На підставі даних отриманих при ознайомленні з ПУЕ, було обрано такі типи захистів:

- MICOM P632 - диференційний захист СТ;
- MICOM P124 - для захисту від зовнішніх КЗ на стороні 35 кВ;
- MICOM P122 - для захисту від зовнішніх КЗ на стороні 10 кВ;

Захист від перевантаження трансформатора реалізований в реле MICOM P632 і MICOM P122.

Первинний номінальний струм трансформатора диференційного захисту:

$$I_{BH} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 37} = 98.3 \text{ A}$$

$$I_{HH} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 346.41 \text{ A}$$

Вставку по гальмуванню в цифрових мікропроцесорних терміналах, необхідно визначати, як відношення диференціального струму ( $I_d$ ) до гальмівного струму ( $I_t$ ).

Даний параметр виражається у відсотках:

$$\frac{I_d}{I_t} \geq K_H \cdot (K_a \cdot \varepsilon + \Delta U)$$

де  $K_H$  - коефіцієнт надійності;  $K_H = 1.2$ ;  $\varepsilon$  – похибка трансформаторів струму ( $\varepsilon = 10\%$ );  $K_a$  - коефіцієнт, що характеризує зростання похибки при великих струмах ( $K_a = 1.5$ );  $\Delta U$  - діапазон регулювання коефіцієнта трансформації трансформатора, що захищається,  $\Delta U = 9\%$ , для трансформаторів з РПН 35кВ.

$$\frac{I_d}{I_t} \geq 1.2 \cdot (1.5 \cdot 10 + 9) = 24.6\%$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Приймається 30% тормозна характеристика. Вказане значення виставляється в реле в якості вставки диференційного захисту.

Чутливості диференційного захисту оцінюється при струмі двофазного КЗ на виводах НН трансформатора по формулі:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{(0.3 \cdot I_{\text{ном.тр}})} \geq 2,$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{3120}{(0.3 \cdot 98.3)} = 105.79 \geq 2,$$

де  $I_{\text{кз}}^{(2)}$  – приведений до сторони ВН двофазний струм КЗ, А

$$K1: I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3.61 = 3.12$$

Гальмування при КЗ (трифазне) на шинах НН підстанції, визначається за формулою:

$$I_d = \frac{30 \cdot 3120}{98.3} = 952.18\%$$

Вставка виросла з 30% до 952.18% номінального струму

У разі перевищення струму КЗ понад  $2.5I_{\text{ном.тр}}$  спрацьовує диференційна струмова відсічка. Характеристика струмової відсічки трансформатора визначається:

$$I_{\text{c.z.to}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{k.max}}$$

де  $K_{\text{отс}}$  - коефіцієнт відстройки, приймається для цифрових реле 1,1 ... 1,2;  $I_{\text{k.max}}$  - струм трифазного короткого замикання в кінці елемента, який захищається, кА.

$$I_{\text{c.z.to}} = 1.2 \cdot 346.41 = 415.7 \text{ A}$$

Обчислимо струм спрацьовування реле:

$$I_{\text{c.p.}} = \frac{I_{\text{c.z.to}} \cdot K_{\text{cx}}}{n_T},$$

де  $I_{\text{c.p.}}$  - струм спрацьовування захисту (первинний);  $n_T$  - коефіцієнт трансформації ТТ;  $K_{\text{cx}}$  - коефіцієнт схеми:  $K_{\text{cx}} = 1$  при повному або неповному трикутнику  $K_{\text{cx}} = \sqrt{3}$ .

$$I_{\text{c.p.}} = \frac{415.7 \cdot 1}{60} = 6.92 \text{ A}$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Приймаємо до встановлення на пристрой  $I_{c.p.} = 5 \text{ A}$ , з дією на відключення.

Відповідно до вищесказаного, струм спрацьовування на первинній стороні трансформатора, буде:

$$I_{c.z.to} = 5 \cdot 60 = 300 \text{ A}.$$

Коефіцієнт чутливості:

$$K_q = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{k3}^{(3)}}{I_{c.z.y}}$$

де  $K_q$  - коефіцієнт чутливості захисту відповідно до основної зони.

$$K_q = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3610}{300} = 10.4 \geq 2$$

тобто умова виконуються.

Виберемо вставки для захисту від перевантаження, струм спрацьовування дорівнює:

$$I_{c.z.} \geq \frac{K_h}{K_B} \cdot I_{prob.max}$$

$$I_{c.z.} \geq \frac{1.1}{0.96} \cdot 98.3 = 112.63 \text{ A}$$

Обчислимо струм спрацьовування реле:

$$I_{c.p.} = \frac{112.63}{60} = 1.9 \text{ A}$$

Приймаємо до вставки на пристрой  $I_{c.p.} = 1.9 \text{ A}$ , з дією на сигнал.

Тоді струм спрацювання на первинній стороні буде:

$$I_{c.z.y} = 1.9 \cdot 60 = 114$$

Згідно з наведеними розрахунками прийняли до установки MICOM P122 і MICOM P632, бо дані види захистів задовольняють всім вимогам для захисту трансформатора.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 4.Індивідуальне завдання

### 4.1 Організаційні заходи для безпечної проведення робіт на підстанції

Для безпечної проведення робіт необхідно виконувати наступні організаційні заходи:

- призначення працівників, відповідальних за безпечное проведення робіт;
- видача наряду або розпорядження;
- видача дозволу на підготовку робочих місць і на допуск;
- підготовка робочого місця та допуск до роботи;
- нагляд за виконанням робіт;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв в роботі і її закінчення.

Відповідальними за безпечное проведення робіт є:

- робітник, який видає наряд, який видає розпорядження;
- робітник, який дає дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск;
- робітник, який підготовлює робоче місце;
- робітник, який допускає до роботи (допускаючий);
- керівник робіт;
- робітник, який спостерігає за безпечним виконанням робіт;
- член бригади.

Право на видачу нарядів та розпоряджень надається керівникам та фахівцям підприємства, які мають групу V.

Робітник, який видає наряд або розпорядження, встановлює можливість безпечної виконання роботи. Він відповідає за достатність та правильність вказаних в наряді (розпорядженні) засобів безпеки, за якісний та кількісний склад бригади та призначення робітників, відповідальних за безпечное проведення робіт, а також за відповідальність груп з електробезпеки робітників, які зазначені в наряді (розпорядженні).

Робітник, який надає дозвіл на підготовку робочих місць та на допуск, несе відповідальність за достатність передбачених мір для виконання роботи по відключенню та заземленню обладнання та можливість їх здійснення, а також за координацію годин та міста роботи бригад.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

Робітник, який надає дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск, зобов'язаний повідомити черговим або оперативно-виробничим робітникам, які готовують робоче місце, а також допускаючим про попередньо виконаних операціях по відключенню та заземленню обладнання.

Давати дозвіл на підготовку робочих місць та на допуск мають право оперативні робітники з групою V.

В електроустановках, які не обслуговуються оперативними або оперативно-виконавчими робітниками (майстерні, гаражі, приміщення і т.п.), дозвіл на підготовку робочих місць та допуск можуть тільки посади особи з групою - IV, яким представлена ці права.

Робітник, який підготовлює робоче місце, відповідає за правильне та точне виконання зазначених у наряді мір по підготовці робочого місця, а також необхідних за умовами роботи (встановлювання замків, плакатів, огорожень).

Підготовлювати робочі місця мають право чергові або робітники з складу оперативно-виробничих робітників, які мають допуск до оперативних переключень у даній установці.

Допускаючий відповідає за вірність і достатність прийнятих мір безпеки й відповіальність їх характеру і місця роботи, що зазначені в наряді, за вірний допуск до роботи, а також за повноту та якість проведеного їм інструктажу.

Допускаючими варто назначати робітників зі складу оперативних або оперативно-виробничих робітників, за винятком допуску на ПЛ.

В електроустановках більше 1000 В допускаючий повинен мати групу IV, а в електроустановках до 1000 В - III.

Керівник робіт назначається при виконанні робіт по нарядам та розпорядженням, окрім робіт, що виконуються особисто.

Керівник робіт відповідає за:

- виконання мір безпеки, передбачених нарядом або розпорядженням, та їх достатність;
- чіткість та повноту інструктажу членів бригади;
- наявність, справність та вірність застосування необхідних засобів захисту, інструменту, інвентарю;

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

- наявність та збереження встановлених на робочому місці заземлень, огорож, знаків і плакатів безпеки й пристройів на протязі всієї зміни;

- організацію й безпечне проведення роботи і дотримання дійсних правил.

Керівнику робіт варто виконувати постійний нагляд за членами бригади та відстороняти від робіт членів бригади, які не дотримуються дійсних правил, а також тих, хто знаходиться у стані алкогольного або наркотичного сп'яніння.

Керівник робіт, виконуючих по наряду роботу в електроустановках більше 1000 В, повинен мати групу IV, а в електроустановках до 1000 В - III, окрім робіт у підземних спорудах, де можуть створюватись шкідливі гази, і під напругою, у цьому випадку керівник робіт повинен мати групу IV.

При виконанні найбільш складних і небезпечних робіт керівником по наряду варто призначати робітника з групою V із керівників або спеціалістів. До таких робіт відносяться:

- роботи при участі вантажопідйомних машин та механізмів, за винятком робіт, виконуючих оперативними або оперативно-виробничими робітниками й з використанням автовишки;
- роботи в зонах розташування комунікацій та інтенсивного руху транспорту;
- роботи на струмоведучих частинах під наведеною напругою;
- роботи під напругою на струмоведучих частинах із ізоляцією чоловіка від землі;
- земляні, пов'язані з ремонтом або прокладкою кабелю в зонах розташування підземних комунікацій.

Перелік цих вимог може бути розширеній у залежності від місцевих умов.

Спостерігаючий із групою не нижче III назначається для нагляду за бригадами робітників, немаючих права самостійно працювати у електроустановках.

Спостерігаючий відповідає за:

- безпечності членів бригади у відношенні ураження електричним струмом електроустановки;
- відповідність підготовленого робочого місця вказівкам наряду;
- наявність і збереженість встановлених на робочому місці заземлень, огорожень, плакатів і знаків безпеки, пристройів.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Відповідальним за безпеку, пов'язану з технологією праці, є робітник, який очолює бригаду й входить до її складу. Цей робітник повинен постійно знаходитись на робочому місці. Його прізвище зазначається в рядку "Окремі вказівки" наряду.

Кожен член бригади повинен виконувати справжні правила та інструктивні вказівки, отримані при допуску до роботи і під час роботи, а також вимоги місцевих інструкцій по охороні праці.

Після перевірки знань у комісії підприємства робітникам можуть надаватися права:

- видачі нарядів, розпоряджень;
- керівника робіт;
- здійснення допуску до робіт (допускаючого);
- спостерігаючого;
- виконання спеціальних робіт з підвищеною небезпекою.

Надання цих прав оформлюється письмовим наказом керівництва підприємства, а на спеціальні роботи - записом у посвідчені.

Допускається будь-яка сумісність зобов'язань у відповідності із представленими правами, за винятком суміщення особам, яким дозвіл на допуск, зобов'язань допускаючого.

Наряд виписується у двох, а при передачі його по телефону, радіо - у трьох екземплярах.

При виконанні робіт оперативними робітниками достатньо оформити розпорядження тільки в оперативному журналі.

Включення електроустановки після повного завершення робіт.

Вмикати електроустановку можна тільки після отримання на це дозволу (розпорядження) робітника, який видає дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск.

Дозвіл (розпорядження) на вмикання електроустановки варто видавати тільки після отримання повідомлень від усіх допускаючих та керівників робіт, яким був виданий дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск у даній електроустановці, про остаточне завершення робіт, і можливість включення електроустановки.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

Робітник зі складу оперативних або оперативно-виробничих робітників, який знаходиться в зміні і допущений до оперативного управління і оперативним переключанням, отримав дозвіл (розпорядження) на включення електроустановки після повного закінчення робіт, повинен перед включенням зняти тимчасові огороження, переносні плакати і заземлення, що встановлені при підготовці робочих місць, встановити постійну огорожу.

Допускаючому зі складу оперативно-виробничих робітників може бути представлене право після закінчення роботи на електроустановці увімкнути її без отримання дозволу робітника, який видає дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск.

В аварійних випадках черговий або допускаючий можуть увімкнути виведену в ремонт електроустановку у відсутності бригади до повного закінчення робіт за умови, що до прибуття керівника робіт або поверненню ним наряду на робочих місцях розставлені робітники, зобов'язані попередити керівника робіт і членів бригади про включення електроустановки і неможливості поновлення робіт [6].

#### 4.2. Вплив електромагнітних полів на людину та заходи захисту

При експлуатації електроенергетичних установок напругою вище 1 кВ – відкритих розподільних пристройів, повітряних ліній електропередачі та інших, необхідно враховувати вплив на людину електромагнітного поля. У результаті спеціальних досліджень стану здоров'я персоналу, який обслуговує електроустановки високої напруги, було відзначено тенденцію його погіршення, що виражається в поганому самопочутті працівника, підвищеної втомлюваності, в'ялості, головного болю, поганому сні і т. д.

Вплив електромагнітних полів на людину залежить від напруженостей електричного та магнітного полів, інтенсивності потоку енергії, частоти коливань, локалізації опромінень на поверхні тіла і індивідуальних особливостей організму.

Розрізняють такі види впливу електромагнітного поля:

1) безпосереднє (біологічне), яке проявляється при тривалому і систематичному перебування в електричному полі, напруженість якого перевищує допустиме значення;

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

2) вплив електричних розрядів (імпульсного струму), що виникають при дотику людини до заземлених частин обладнання;

3) вплив струму, який проходить через людину, що знаходиться в контакті з ізольованими від землі об'єктами (струм стікання).

Механізм цього впливу полягає в тому, що в електричному полі атоми і молекули, з яких складається людське тіло, поляризується, а полярні молекули (наприклад, води), орієнтуються по напрямку поширення електромагнітного поля. В електролітах, якими є рідкі складові тканин, крові, міжклітинної рідини і т. п., після прикладення зовнішнього поля з'являються іонні струми. Змінне електричне поле викликає нагрівання тканин людини як за рахунок зміни поляризації діелектриків. Так і за рахунок появи струмів провідності.

Тепловий ефект є наслідком поглинання енергії електромагнітного поля. Крім того, має місце відбиття електромагнітних хвиль від поверхні людського тіла з-за зміни на цій межі хвильового опору середовища.

Поглинання енергії і виникнення іонних струмів супроводжується специфічним впливом на біологічні тканини, так як порушується тонка структура електричних потенціалів і циркуляція рідини в клітинах і внутрішніх органах. Крім теплового впливу, електромагнітні поля, змінюючи орієнтацію кліток або колоїв молекул, що впливають на біохімічну активність білкових молекул і склад крові, що шкідливо позначається на нервової, ендокринної і серцево – судинних системах. При великій інтенсивності опромінення можлива поразка очей (помутніння кришталика).

Джерелами електромагнітного поля (ЕМП) в установках індукційного нагріву є неекрановані індуктори, трансформатори, конденсатори, фідерні лінії, в установках діелектричного нагрівання – робочі конденсатори і фідери, які підводять енергію.

У відповідності з цим найбільш небезпечні щодо випромінювання (ЕМП) елементи повинні екраниовані. Правила безпеки вимагають, щоб усі установки були забезпечені огороженнями небезпечних зон з механічним або електричним блокуванням на дверцях.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

Для захисту персоналу застосовуються такі інженерно-технічні засоби: узгоджені навантаження і поглиначі потужності для зменшення напруженості та щільності потоку енергії ЕМП, екранування робочого місця, використання попереджуючої сигналізації, раціональне розташування в робочому приміщенні устаткування, що випромінює електромагнітну енергію, обмеження часу перебування обслуговуючого персоналу в зоні дії електромагнітних полів.

Конденсаторні батареї установок діелектричного нагрівання при розміщенні їх у загальному приміщенні повинні розташовуватися в металевій шафі, а при розміщенні в окремому приміщенні повинні огорожуватися сіткою. Захисна дія екрану обумовлюється наведенням в екрані струмів Фуко, які у свою чергу, наводять в екрані вторинне поле, по амплітуді майже одинаковий, а по фазі – протилежне екраниованому полю. В результаті їх складання сумарне поле швидко зменшується, проникаючи в екран на незначну глибину.

Для захисту від впливу електричного поля напруженістю від 25 до 60 кВ/м і при знаходженні в електричному полі напруженістю від 5 до 25 кВ/м більше допустимого часу необхідно застосовувати індивідуальний екрануючий комплект одягу, крім випадків, коли можливо дотик до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою (при роботах на панелях, збірках до 1000 В, в електричних пристроях).

Припустимий час перебування в електричному полі може бути реалізовано одноразово або дрібно протягом робочого дня. В інший час можна перебувати в електричному полі напруженістю до 5 кВ/м або використовувати засоби захисту: стаціонарні, переносні і пересувні екрануючі пристрої: знімні екрануючі пристрої, що встановлюються на машинах і механізмах.

При підйомі на обладнання і конструкції, розташовані в зоні впливу електричного поля, засоби захисту повинні застосовуватися незалежно від напруженості електричного поля і тривалості перебування в ньому. При знаходженні в зоні екранування, всередині конструкцій ВРП, а також при підйомі по сходах до газового реле і реле рівня масла силового трансформатора засоби захисту від впливу електричного поля можна не застосовувати.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

#### 4.3 Засоби захисту робочого персоналу підстанції від впливу небезпечних факторів

При заміні запобіжників під напругою необхідно захищати очі окулярами або обличчя маскою.

При роботі на висоті 1,3 м і більше над рівнем землі, підлоги, площасти, необхідно застосовувати запобіжний пояс, при необхідності, зі страхувальним канатом.

В приміщеннях з діючим електрообладнанням (за винятком щитів керування релейних та їм подібних), у закритих і відкритих розподільних пристроях, колодязях, тунелях та траншеях, необхідно користуватися захисною каскою.

В електроустановках під час виконання робіт для індивідуального захисту голови працівників від механічних пошкоджень, агресивних рідин, ураження електричним струмом, та при випадковому дотику до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, необхідно застосовувати захисні каски.

Для індивідуального захисту очей від небезпечних і шкідливих виробничих факторів: електричної дуги, ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання, близок лугів, електроліту, розплавленої мастики, слід застосовувати захисні окуляри відкритого типу з непрямою вентиляцією.

Для захисту людей від ураження струмом, на ПЛ-10 кВ повинні бути заземлені: опори, на яких встановлені роз'єднувачі, пристрой грозозахисту, кабельні муфти, всі залізобетонні і металеві опори.[9]

Опір заземлень опор повинен бути рівним 250/І, але не більше 10 Ом, де І-розрахунковий струм замикання на землю. На практиці струм замикання на землю беруть не менше 1.5 І релейного захисту на даному фідері.[8]

До заземлюючих пристройів повинні бути приєднані:

- арматура залізобетонних приставок;
- металоконструкції на опорах;
- рами і приводи роз'єднувачів;
- кабельні муфти;
- засоби грозозахисту.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

В електрообладнанні 6,10,35 кВ для попередження працівників про наближення до частин електричної установки, що перебувають під напругою, слід застосовувати дистанційні сигналізатори наявності напруги двох типів: з автономним джерелом живлення або такі, які живляться від енергії електричного поля електроустановки, що знаходиться під напругою.

Система захисту розподільних пристройів (РП) від перенапруг включає в себе захист від грозових і внутрішніх перенапруг.

Захист від грозових перенапруг (грозозахист) РП в свою чергу включає в себе такі обов'язкові види захисту: від прямих ударів блискавки безпосередньо в електрику і від хвиль, що набігають з ліній електропередачі.

Захист від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою заземлених вертикальних стрижневих і тросових громовідводів, кількість, розташування, висота, кут захисту і протяжність яких вибираються з умови забезпечення знаходження обладнання і ошиновки розподільного пристрою в межах зони захисту блискавковідводів. Зона захисту – простір близько блискавковідводів, в межах якого довколишні об'єкти захищені від прямих ударів блискавки з достатньою надійністю.

При ударі блискавки в заземлені конструкції РУ, на яких встановлені громовідводи, може статися перекриття гірлянд ізоляторів внаслідок високої імпульсної напруги між порталом і проводом. Перекриття можуть також відбуватися по повітря між окремо розташованими грозозахистами і проводами електроустановки. Висока імпульсна напруга може потрапити на корпус трансформатора і викликати пробій ізоляції його обмотки нижчої напруги. Захист від таких перекріттів тим ефективніше, чим менше імпульсний опір заземлення блискавковіводу, і забезпечується вибором імпульсної міцності гірлянд ізоляторів і довжин повітряних проміжків.

На конструкціях ВРП 110 кВ стрижневі громовідводи можуть встановлюватися при еквівалентному питомому опорі землі в грозовий сезон: до 1000 Ом – незалежно від площини заземлюючого контуру підстанції.

Від стійок конструкцій ВРП 110 кВ з грозозахистами повинно бути забезпечено розтікання струму блискавки по магістралях заземлення не менше ніж

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	53
					БР 5.6.141.590 ПЗ	

у двох – трьох напрямках. Крім того, повинні бути встановлені один – два вертикальні електроди довжиною 3 – 5 м на відстані не менше довжини електрода від стійки, на якій встановлений громовідвід.

Для захисту обладнання РП від грозових хвиль, що набігають з ліній, застосовуються вентильні розрядники, нелінійні обмежувачі перенапруг (ОПН), трубчасті розрядники і троси, підвішені на підході ліній. Ці пристрої обмежують параметри хвилі, що набігає з ліній, до значень, безпечних для ізоляцій. Захисна дія розрядників визначається їх вольт-секундної і вольт-амперної характеристики.

Основною функцією тросів, що підвішуються на підході ліній напругою 35-110 кВ, є захист РП від хвиль, що виникають при прямому ударі блискавки в прольоти ліній в межах небезпечної зони, яка зазвичай становить 1-3 км.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра було розглянуто питання реконструкції підстанції 35/10 кВ. Проаналізувавши електричне обладнання, встановлене на підстанції було вирішено замінити застаріле на більш нове і сучасне, де це було потрібно.

Початком реконструкції підстанції була перевірка силових трансформаторів. З урахуванням заданих потужностей споживачів було побудовано денний графік навантаження підстанції для зимового періоду, з якого стало зрозуміло, що запасу потужності трансформаторів вистачає для безперебійного електропостачання споживачів як в нормальному, так і в аварійному режимах, тому вони не потребують заміни.

З метою вибору електричних апаратів підстанції було побудовано розрахункову схему заміщення та розраховані струми КЗ. За результатами перевірки було обрано таке обладнання:

- на стороні 35 кВ: вимикачі вакуумні ВВН-СЕЩ-Е-35-25/1000, роз'єднувачі РГП СЭЩ-35/1000 , трансформатор струму 35 кВ: ТОЛ-35УХЛ1, обмежувачі перенапруги ОПНп-35/40.5/10/550;

- на стороні 10 кВ: вимикачі вакуумні ВВ/TEL-10-20/1000-У2, трансформатор струму ТОЛ-СЕЩ-10 кВ, обмежувачі перенапруги ОПНп-10/12,7/1УХЛ1.

Також було замінено трансформатори власних потреб на більш потужні, в зв'язку зі збільшенням споживання власних потреб.

Розглянувши встановлені прилади релейного захисту на підстанції було з'ясовано, що вони виконані на застарілій електромеханічній апаратурі. Тому прийняте рішення вибору релейного захисту та автоматики на мікропроцесорних пристроях типу «MICOM P632», що дає змогу підвищити чутливість захистів та значно зменшити час їх спрацьовування, що в сукупності з високою надійністю дозволяє знизити величину збитку від перерв в електропостачанні.

Як індивідуальне завдання розглянуті організаційні заходи для безпечної проведення робіт на підстанції, питання впливу електромагнітного поля на організм людини та засоби захисту робочого персоналу від впливу небезпечних і шкідливих факторів.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.141.590 ПЗ	Лист
55						

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Правила улаштування електроустановок (зі змінами та доповненнями). – К.: Форт, 2017- 760с.
2. Правила безпечної експлуатації електроустановок: третє видання. 2013. – 152 с.
3. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. / Кідиба В.П. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с.
4. Рожкова Л. Д., Козулін В. С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.: ил.;
5. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб. / В. С. Костишин, М. Й. Федорів, Я. В. Бацала. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 243 с.
6. Неклепаев Б. Н. Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебн. Пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
7. Измерительные трансформаторы – Справочник покупателя. Изд. 2, 2004 –01.
8. Никифоров, М. А. 2068 Методичні вказівки до оформлення дипломних робіт [Текст] / М. А. Никифоров, І. Л. Лебединський. – Суми : СумДУ, 2008. – 72 с.
9. «Инструкция по эксплуатации измерительных трансформаторов тока и напряжения» утверждено техническим директором ПАТ «Сумыобленерго» В.А. Рябченко 08.09.2013 г.
10. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов / А.А.Васильев и др - 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 5.6.141.590 ПЗ

Лист

56