

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту)

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
(повна назва кафедри)
менеджменту

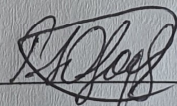
Бакалаврська дипломна робота на тему:

«Дослідження технологічних інновацій у сфері елегазових розподільчих пристроїв Дністровської гідроакумуючої електричної станції: використання новітніх матеріалів та конструкційних рішень»

Виконав: студент 2-го курсу, групи E-22мс

спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханік

(шифр і назва спеціальності)



Рожко І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Ph. D., доц. каф. ЕСЕЕМ



Лобода Ю. В.

(прізвище та ініціали)

« 19 »

06

2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

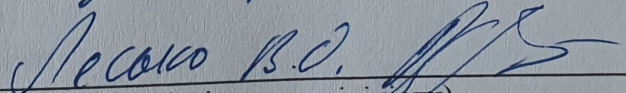
« 17 »

06

2024 р.

Рецензент

к.т.н. доц. каф. ЕСС



(прізвище та ініціали)

« 19 »

06

2024 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань – 14 Електрична інженерія

Освітній ступінь – бакалавр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма - Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

« 11 » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Рожко Іану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження технологічних інновацій у сфері елегазових розподільчих пристроїв Дністровської гідроакумулюючої електричної станції: використання новітніх матеріалів та конструкційних рішень»

керівник роботи Лобода Юрій Васильович, Ph. D., доц. кафедри ЕСЕЕМ

затверджені наказом по ВНТУ № 80 від 11 березня 2024 року,

2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Структурна схема Дністровської ГАЕС. Графіки сумарної потужності, що віддається з шин станції.; Додаток А.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Вступ.

1 Загальні відомості про підприємство

2 Вибір основного обладнання станції

3 Порівняльна характеристика обладнання

4 Охорона праці

Висновки

Література

5. Перелік графічного матеріалу.

Компонування розподільчого пристрою в розрізі

Однолінійна схема ДГАЕС

Характеристика вимикача GL312 F1/4031 P

Види конфігурацій розподільчих пристроїв

6. Консультанти розділів роботи

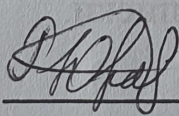
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	зав. при
Охорона праці	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання «27» травня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання	
		початок	закінчення
1	Аналіз системи електропостачання підприємства	27.05	31.05
2	Дослідження з актуальної для підприємства тематики	31.05	7.06
3	Охорона праці	7.06	09.06
4	Графічна частина роботи	09.06	14.06

Студент


(підпис)

Рожко І.О.

(прізвище та ініціали)

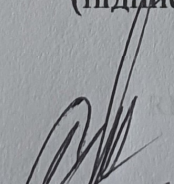
Керівник

Лобода Ю. В.

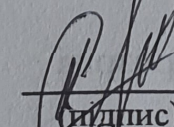
(прізвище та ініціали)

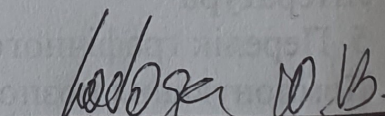
бакалаврської

дипломної роботи


(підпис)

Нормоконтроль


(підпис)


(прізвище та ініціали)

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту)
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
(повна назва кафедри)
менеджменту

Бакалаврська дипломна робота на тему:

«Дослідження технологічних інновацій у сфері елегазових розподільчих пристроїв Дністровської гідроакумулюючої електричної станції: використання новітніх матеріалів та конструкційних рішень»

Виконав: студент 2-го курсу, групи E-22мс

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханік
(шифр і назва спеціальності)

Рожко І.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: Ph. D., доц. каф. ЕСЕЕМ

Лобода Ю. В.
(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2024 р.

Рецензент

_____ (прізвище та ініціали)
«___» _____ 2024 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань – 14 Електрична інженерія

Освітній ступінь – бакалавр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма - Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф., Бурбело М.Й.

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Рожко Іану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження технологічних інновацій у сфері елегазових розподільчих пристроїв Дністровської гідроакумулюючої електричної станції: використання новітніх матеріалів та конструкційних рішень»

керівник роботи Лобода Юрій Васильович, Ph. D., доц. кафедри ЕСЕЕМ

затверджені наказом по ВНТУ № 80 від 11 березня 2024 року,

2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Структурна схема Дністровської ГАЕС. Графіки сумарної потужності, що віддається з шин станції.; Додаток А.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Вступ.

1 Загальні відомості про підприємство

2 Вибір основного обладнання станції

3 Порівняльна характеристика обладнання

4 Охорона праці

Висновки

Література

5. Перелік графічного матеріалу.

Компонування розподільчого пристрою в розрізі

Однолінійна схема ДГАЕС

Характеристика вимикача GL312 F1/4031 P

Види конфігурацій розподільчих пристроїв

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання «27» травня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1	Аналіз системи електропостачання підприємства	27.05	31.05	
2	Дослідження з актуальної для підприємства тематики	31.05	7.06	
3	Охорона праці	7.06	09.06	
4	Графічна частина роботи	09.06	14.06	

Студент

(підпис)

Рожко І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

бакалаврської

(підпис)

дипломної роботи

(підпис)

Лобода Ю. В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Рожко І. О. Дослідження технологічних інновацій у сфері елегазових розподільчих пристроїв Дністровської гідроакumuлюючої електричної станції: використання новітніх матеріалів та конструкційних рішень». Бакалаврська дипломна робота. Вінниця. ВНТУ, 2024, 83 с. Іл.11: , Табл: 17.

В бакалаврській дипломній роботі було розглянуто конструктивні особливості та основні характеристики елегазового обладнання. Було розраховано струми короткого замикання в схемі заміщення Дністровської ГАЕС та обрано елегазові вимикачі та роз'єднувачі розподільчих пристроїв 110 та 330 кВ.

Ключові слова: елегазовий вимикач, розподільчий пристрій, елегаз, шестифториста сірка.

ABSTRACT

Rozhko, I. O. Research of technological innovations in the field of gas and gas distribution devices of the Dniester hydro-accumulating electric station: use of the latest materials and construction solutions. Bachelor thesis. Vinnitsa. VNTU, 2024, 83 p. Fig. 11: , Table: 17.

In the bachelor's thesis, the structural features and main characteristics of electric and gas equipment were considered. The short-circuit currents in the replacement scheme of the Dniester HPP were calculated, and the electric gas switches and disconnectors of the 110 and 330 kV switchgear were selected.

Key words: elegas circuit breaker, distribution device, elegas, hexafluoride sulfur.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Основні характеристики об'єкта	8
1.2 Виникнення і загальна характеристика елегазового обладнання.....	11
1.3 Історія виникнення та розвитку елегазу	11
1.4 Перші дослідження та розробки елегазового обладнання.....	16
1.5 Історія розвитку стандартів і вимог для елегазового обладнання та сірчистого гексафториду (SF_6)	20
2 ВИБІР ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ СТАНЦІЇ	31
2.1 Вибір структурної схеми станції	32
2.1.1 Вибір структурної схеми станції	33
2.1.2 Розрахунок втрат в трансформаторах	34
2.2 Розрахунок струмів короткого замикання для вибору апаратури і струмоведучих частин	35
2.2.1 Розрахункова схема електроустановки	35
2.2.2 Заступна схема станції	36
2.2.3 Розрахунок періодичної складової струму КЗ для часу $t = 0$	37
2.3 Вибір схем відкритих розподільчих установок	43
2.3.1 Визначення аперіодичної та періодичної складової струму КЗ для моменту часу $t = \tau$, а також ударного струму КЗ	44
2.3.2 Розрахунок ударного струму КЗ, аперіодичної та періодичної складової струму КЗ в момент часу $t = \tau$	46
2.4 Розрахунок максимальних робочих струмів приєднань та теплового імпульсу	46
2.5 Вибір комутаційного обладнання	47
2.6 Техніко-економічне порівняння	49
3 Порівняльна характеристика	51
3.1 Складові частини КРПЕ	51
3.2 Принцип дії дугогасильного пристрою	57

3.3 АНАЛІЗ І ПОРІВНЯННЯ КРПЕ З ТРАДИЦІЙНИМИ РУ	60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	68
4.1 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ З БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТУ	68
4.1.1 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ З БЕЗПЕЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОЧИХ МІСЦЬ	68
4.1.2 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	72
4.2 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ З ГІГІЄНИ ПРАЦІ І ВИРОБНИЧОЇ САНІТАРІЇ	73
4.2.1 МІКРОКЛІМАТ	73
4.2.2 СКЛАД ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ	74
4.2.3 ВИРОБНИЧЕ ОСВІТЛЕННЯ	75
4.2.4 ВИРОБНИЧИЙ ШУМ	76
4.2.5 ВИРОБНИЧА ВІБРАЦІЯ	76
4.3 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТКИ	84
Додаток А – Вихідні дані	85
Додаток Б - Компонування розподільчого пристрою в розрізі	87
Додаток В – Однолінійна схема ДГАЕС	88
Додаток Г – Характеристика вимикача GL312 F1/4031 P	89
Додаток Д – Види конфігурацій розподільчих пристроїв	91
Додаток Ж – Протокол перевірки роботи на наявність текстових запозичень	92

ВСТУП

Актуальність роботи: Сучасне суспільство безперервно прагне до розвитку та забезпечення стабільності в енергетичному секторі. Ростуть потреби у високоефективних та надійних технологіях для забезпечення електропостачання та функціонування електричних мереж. Один із напрямів цього розвитку - застосування елегазового обладнання, яке відзначається своєю ефективністю та екологічністю.

Мета дослідження: Метою даної дипломної роботи є вивчення та аналіз можливостей застосування елегазового обладнання в електроенергетиці. Робота буде спрямована на дослідження технічних характеристик та переваг елегазових пристроїв, а також їхніх перспектив в сучасних та майбутніх електричних мережах.

Важливість проведення такого дослідження обумовлена постійним розвитком технологій та потребою у забезпеченні стабільності енергетичних систем. Результати роботи можуть стати важливим внеском у розвиток електротехнічної галузі та знайти практичне застосування в енергетичних підприємствах.

Предмет дослідження: Предметом дослідження є основні елементи елегазових розподільчих пристроїв.

Мета дослідження: Дослідження елементів розподільчого пристрою на базі сучасних методів, які використовуються в проектній практиці і які передбачають використання загальних методів електротехніки.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні характеристики об'єкта

Дністровська гідроакумулювальна електростанція (ГАЕС), розташована на річці Дністер поблизу міста Новодністровськ у Чернівецькій області, є однією з найбільших гідроакумулювальних електростанцій у Європі. Вона відіграє важливу роль в енергетичній системі України, забезпечуючи стабільність та ефективність функціонування національної енергомережі завдяки своїм технічним характеристикам та високій потужності.

Принцип роботи та технічні характеристики

Основне завдання Дністровської ГАЕС полягає в акумулюванні електроенергії під час періодів низького споживання та її поверненні у мережу під час пікових навантажень. Це досягається шляхом перекачування води з нижнього резервуара до верхнього у години низького навантаження, а під час пікових навантажень вода спускається назад через турбіни, виробляючи електроенергію.

Встановлена потужність: Загальна потужність ГАЕС становить 2268 МВт, що робить її однією з найпотужніших у світі.

На даний момент всі 7 гідроагрегатів ще не змонтовані і не встановлені.

Турбінно-генераторні агрегати: Станція оснащена високоефективними турбінно-генераторними агрегатами, які забезпечують максимальну продуктивність та надійність роботи.

Енергоефективність: Завдяки високому коефіцієнту корисної дії, станція сприяє значній економії енергоресурсів та зменшенню викидів парникових газів.

Інноваційні технології

Дністровська ГАЕС впровадила низку інноваційних технологій, які значно покращують її функціонування:

Автоматизовані системи управління: Сучасні системи управління та моніторингу оптимізують роботу станції, забезпечуючи високий рівень оперативного контролю та швидку реакцію на зміни в енергосистемі.

Новітні матеріали та конструкційні рішення: Використання передових матеріалів і інженерних рішень знизило експлуатаційні витрати та підвищило довговічність обладнання.

Екологічні заходи: Станція використовує методи, що мінімізують вплив на навколишнє середовище, включаючи заходи для збереження водних ресурсів та біорізноманіття у басейні річки Дністер.

Внесок у стабільність енергосистеми

Дністровська ГАЕС відіграє ключову роль у забезпеченні стабільності національної енергосистеми, виконуючи такі функції:

Резерв потужності: Наявність резервних потужностей дозволяє компенсувати різкі коливання у споживанні електроенергії, знижуючи навантаження на теплові та атомні електростанції.

Регулювання частоти: ГАЕС активно бере участь у регулюванні частоти в енергосистемі, що є критично важливим для забезпечення стабільної роботи електромережі.

Аварійний резерв: Станція забезпечує можливість швидкого введення в дію аварійного резерву, що підвищує загальну надійність енергопостачання в країні.

Прикметно, що на станції встановлюється електричне обладнання від провідних світових компаній — ABB, General Electric, Siemens, Alstom, AEG, Converteam, Emerson, зважаючи на те, що подібне просто не виробляється в Україні. Але близько 80% обладнання, а це є основне гідро- та електросилове обладнання — виготовляється українськими виробниками: насос-турбіна — харківським заводом АТ «Турбоатом», генератор-двигун — харківським заводом ДП «Електроважмаш» (нещодавно ці два заводи об'єднали в одне підприємство — АТ «Українські енергетичні машини»), блочний трансформатор — запорізьким заводом ПрАТ «Запоріжтрансформатор».

Під час проходження переддипломної практики, було також сформовано добові графіки потужності.

Таблиця 1.1 – Результати розрахунку електричних навантажень

Складові витрат потужності	Режим	Години доби							
		0-6	6-8	8-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-24
Навантаження місцевого району, %	повн. вод.	20.00	35.00	60.00	0.00	0.00	35.00	100.00	75.00
	мало. вод.	22.00	18.00	20.00	6.00	5.00	26.00	40.00	38.00
Навантаження місцевого району, МВт	повн. вод.	50.00	87.50	150.00	0.00	0.00	87.50	250.00	187.50
	мало. вод.	55.00	45.00	50.00	15.00	12.50	65.00	100.00	95.00
Постійні втрати потужності в мережах місцевого району, МВт	повн. вод.	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
	мало. вод.	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Змінні втрати потужності в мережах місцевого району, МВт	повн. вод.	0.60	1.84	5.40	0.00	0.00	1.84	15.00	8.44
	мало. вод.	0.73	0.49	0.60	0.05	0.04	1.01	2.40	2.17
Потужність, що віддається в місцевий район, МВт	повн. вод.	53.10	91.84	157.90	2.50	2.50	91.84	267.50	198.44
	мало. вод.	58.23	47.99	53.10	17.55	15.04	68.51	104.90	99.67
Навантаження системи, %	повн. вод.	90.00	90.00	80.00	16.00	24.00	35.00	100.00	80.00
	мало. вод.	12.00	28.00	35.00	8.00	10.00	34.00	30.00	29.00
Навантаження системи, МВт	повн. вод.	495.00	495.00	440.00	88.00	132.00	192.50	550.00	440.00
	мало. вод.	66.00	154.00	192.50	44.00	55.00	187.00	165.00	159.50
Постійні втрати потужності в мережах системи, МВт	повн. вод.	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
	мало. вод.	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Змінні втрати потужності в мережах системи, МВт	повн. вод.	62.37	62.37	49.28	1.97	4.44	9.43	77.00	49.28
	мало. вод.	1.11	6.04	9.43	0.49	0.77	8.90	6.93	6.48
Потужність, що віддається в систему, МВт	повн. вод.	568.37	568.37	500.28	100.97	147.44	212.93	638.00	500.28
	мало. вод.	78.11	171.04	212.93	55.49	66.77	206.90	182.93	176.98
Сумарна потужність, що віддається з шин станцій, МВт	повн. вод.	621.47	660.21	658.18	103.47	149.94	304.77	905.50	698.72
	мало. вод.	136.33	219.02	266.03	73.05	81.81	275.42	287.83	276.64
Витрати на власні потреби, МВт	повн. вод.	7.10	7.31	7.30	4.20	4.46	5.33	8.68	7.53
	мало. вод.	4.38	4.85	5.11	4.03	4.08	5.16	5.23	5.17
Потужність, яка виробляється генераторами ЕС, МВт	повн. вод.	628.57	667.52	665.48	107.67	154.40	310.10	914.18	706.24
	мало. вод.	140.72	223.87	271.14	77.08	85.89	280.58	293.06	281.81



Рисунок 1.1 - Добовий графік потужності, яка віддається в місцевий район

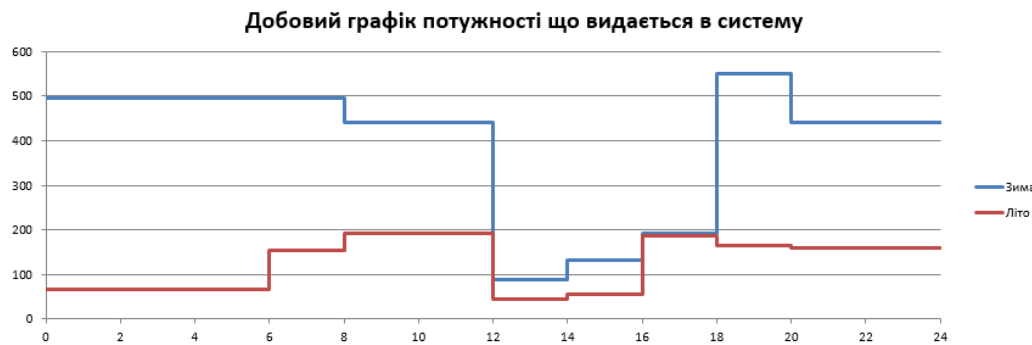


Рисунок 1.2 - Добовий графік потужності, яка віддається в систему



Рисунок 1.3 – Графік сумарної потужності, що віддається з шин станції
 Синій графік – багатоводний режим, червоний графік – маловодний режим,
 застосовується до всіх графіків

1.2 Виникнення і загальна характеристика елегазового обладнання

1.3 Історія виникнення та розвитку елегазу

Гексафторид сірки - це неорганічна речовина, один з фторидів сірки, при нормальних умовах — важкий газ, вп'ятеро важчий за повітря. Сполуку було

вперше отримано і описано в 1900 році Анрі Муассаном в ході робіт з вивчення хімії фтору.

Можливе отримання гексафториду сірки з простих речовин:



Також гексафторид сірки утворюється при розкладанні складних фторидів сірки:



Фізико-хімічні властивості елегазу:

Практично безбарвний газ, має високу пробивну напругу (89 кВ/см). Електрична міцність елегазу залежить від тиску, вона в 2–4 рази вище, ніж у повітря.

У ньому міститься 21,95 % сірки і 78,05 % фтору. При нормальному тиску елегаз може перебувати в будь-якому з трьох агрегатних станів при температурі до мінус 50,8 °С.

Погано розчинний у воді (1 об'єм SF_6 в 200 об'ємах води), етиловому спирті і діетиловому ефірі добре розчинний у нітрометані.

Густина елегазу при $T = 273 \text{ K}$ і тиску $p = 0,1 \text{ МПа}$ становить $6,56 \text{ кг/м}^3$. Відносна діелектрична проникність — 1,0021. Повне число ступенів свободи молекули елегазу дорівнює 21, з них три ступені свободи — у поступальному русі, три — в обертальному, а решта — в коливальному. Діаметр молекули дорівнює $5,33 \text{ Å}$.

У зв'язку з перерахованими далі властивостями газ SF_6 по всьому світу використовується в тому числі і як ізолюючий газ для розподільчих пристроїв, він

- є газоподібним при нормальних температурах та робочих тисках
- не має кольору і запаху, не горючий і не отруйний
- приблизно в 5.7 разів важче за повітря і тому витісняє кисень від підлоги
- завдяки своїй високій діелектричній міцності має хороші ізолюючі властивості має добрі властивості гасіння електричної дуги
- регенерується після електричного розвантаження

- стабільний та хімічно інертний, але при високих температурах може утворювати токсичні продукти розкладання

Таблиця 1.2 - Номінальні значення тиску наповнення в кПа при різних температурах

Температура в °C	Номінальні значення тиску наповнення в кПа при різних температурах								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-20	572	556	533	510	440	400	384	352	128
-18	578	563	539	516	444	404	388	355	129
-16	585	569	545	521	449	408	392	359	130
-14	591	575	551	527	453	412	395	362	131
-12	598	582	557	533	458	416	399	365	133
-10	605	588	563	538	463	420	403	369	134
-8	611	594	569	544	467	424	407	372	135
-6	618	601	575	549	472	428	411	376	136
-4	624	607	581	555	476	432	415	379	137
-2	631	613	587	560	481	436	419	383	138
0	637	619	593	566	485	440	422	386	139
2	643	625	598	571	490	444	426	390	140
4	650	632	604	577	494	448	430	393	141
6	656	638	610	582	499	452	434	396	142
8	662	644	616	588	503	456	438	400	144
10	669	650	622	593	508	460	441	403	145
12	675	656	627	599	512	464	445	407	146
14	681	662	633	604	517	468	449	410	147
16	688	668	639	609	521	472	453	413	148
18	694	674	644	615	526	476	456	417	149
20	700	680	650	620	530	480	460	420	150
22	706	686	656	625	534	484	464	423	151
24	712	692	661	631	539	488	467	427	152
26	719	698	667	636	543	492	471	430	153
28	725	704	672	641	548	496	475	433	154
30	731	710	678	647	552	499	479	437	155
32	737	716	684	652	556	503	482	440	156
34	743	722	689	657	561	507	486	443	158
36	749	727	695	662	565	511	490	447	159
38	755	733	700	667	569	515	493	450	160
40	761	739	706	673	574	519	497	453	161
42	767	745	711	678	578	523	501	456	162
44	773	751	717	683	582	526	504	460	163
46	779	757	722	688	586	530	508	463	164

Температура в °C	Номінальні значення тиску наповнення в кПа при різних температурах								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
48	785	762	728	693	591	534	511	466	165
50	791	768	733	699	595	538	515	470	166

Теплопровідність елегазу нижча ніж у повітря, проте його повна тепловіддача, особливо з урахуванням конвекції, дуже висока (як у водню, гелію та вища за повітря). За високих температур, крива теплопровідності елегазу демонструє одну з виняткових якостей, яка дає можливість використовувати елегаз для гасіння дуги шляхом теплопередачі. Пік теплопровідності відповідає температурі розпаду молекули елегазу (2100-2500 K). Під час розпаду поглинається значна кількість теплоти, що виділяється в процесі розпаду молекул на периферії дуги, прискорюючи тим самим теплообмін між гарячими і більш прохолодними зонами. Теплопровідність елегазу становить - 0,0136 Вт/(м·К).

Також важливим аспектом при підтриманні роботоздатності елегазу є значення вологості або іншими словами точка роси, дані волого-температурної характеристики наведено в таблиці

Таблиця 1.3 - Точка роси газу

Точка роси газу SF ₆ в °C					
Точка роси °C	Вологість	Точка роси °C	Вологість	Точка роси °C	Вологість
1	2	3	4	5	6
-60	1	-32	38	-4	539
-59	2	-31	42	-3	587
-58	2	-30	47	-2	638
-57	2	-29	52	-1	694
-56	2	-28	57	0	754
-55	3	-27	64	1	810
-54	3	-26	70	2	871
-53	3	-25	78	3	935
-52	4	-24	86	4	1003
-51	4	-23	95	5	1076
-50	5	-22	105	6	1153
-49	5	-21	115	7	1235
-48	6	-20	127	8	1322
-47	7	-19	140	9	1415

Точка роси газу SF ₆ в °C					
Точка роси °C	Вологість	Точка роси °C	Вологість	Точка роси °C	Вологість
1	2	3	4	5	6
-46	8	-18	154	10	1513
-45	9	-17	169	11	1618
-44	10	-16	186	12	1728
-43	11	-15	204	13	1845
-42	13	-14	223	14	1969
-41	14	-13	245	15	2101
-40	16	-12	268	16	2240
-39	18	-11	293	17	2387
-38	20	-10	320	18	2542
-37	22	-9	350	19	2706
-36	25	-8	382	20	2880
-35	27	-7	417		
-34	31	-6	454		
-33	34	-5	495		

Деякі представлені на ринку інструменти вимірюють точку роси/точку замерзання газу в °C. Однак граничні значення для розподільних пристроїв визначені розмірності вологості. Тому виміряні значення °C необхідно за допомогою таблиці перевести з °C. Волога, що є в ізолюючих матеріалах, дуже повільно дифундує назовні і захоплюється газом SF₆. Тому після відкривання та повторного наповнення газової камери вимірювання необхідно проводити якомога пізніше після наповнення газом. Тим найбільш можна отримати максимально реалістичні значення. В ідеалі цей вимір слід виконувати не раніше 2 - 3 тижнів після заповнення до номінального тиску. Якщо вміст вологи перевищує задані граничні значення, то газ SF₆ необхідно просушити за допомогою фільтра для сушіння, вбудованого в реклаймер, або за допомогою додаткового зовнішнього фільтра для сушіння і повторити вимірювання через 2-3 тижні. Якщо такі є, краще застосовувати вимірювальні інструменти з поверненням газу в газову камеру. Ці інструменти мають ту перевагу, що під час вимірювань газ SF₆ не викидається в атмосферу. Як правило, необхідно враховувати: Заміною газу SF₆ або його сушінням за допомогою фільтрів не можна видалити вологу, що міститься в окремих матеріалах. Вимірювання

повинні проводитися відповідно до опису в інструкції з експлуатації інструментів.

Елегаз має відмінні дугогасні властивості, зумовлені здатністю елегазу швидко відновлювати свою електричну міцність після переходу струму вимкнення через нуль. Елегазовий вимикач успішно комутує коло за високих швидкостей наростання відновлювальної напруги, не викликаючи при цьому надмірних комутаційних перенапруг. Щоб уникнути розрядів всі поверхні окремих елементів металевих деталей і екранів комірок виконуються чистими і гладкими і не повинні мати шорсткостей і задирок. Обов'язковість виконання цих вимог диктується тим, що бруд, пил, металеві частинки також створюють місцеві напруженості електричного поля, а при цьому погіршується електрична міцність елегазової ізоляції. Елегаз характеризується високою електричною міцністю. За тиску 0,2 МПа електрична міцність елегазу дорівнює 116 кВ/см. Діелектрична постійна при +25°C і тиску 0,1 МПа становить 1,00204. Елегаз не старіє, тобто не змінює своїх властивостей з часом, при електричному розряді розпадається, але швидко рекомбінується, відновлюючи початкову діелектричну міцність

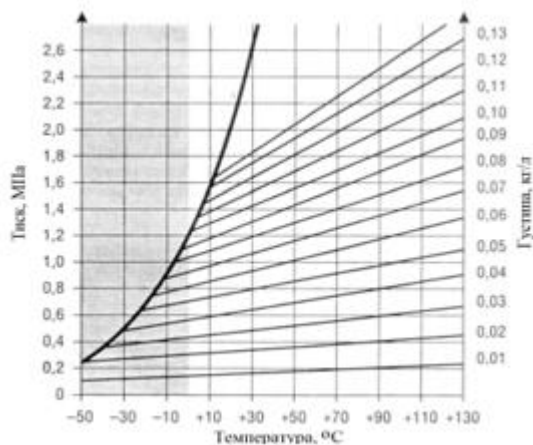


Рис. 1.4 – крива залежності тиску елегазу від температури

1.4 Перші дослідження та розробки елегазового обладнання

Історія елегазового обладнання починається з синтезу сірчистого гексафториду (SF_6) у 1901 році. Вперше цей газ був синтезований французьким

хіміком Анрі Моассаном і його асистентом Полем Лебо. Проте, на той час його властивості та потенційне застосування в електроенергетиці ще не були відомі. Лише в 1930-х роках дослідники почали детально вивчати фізичні та хімічні властивості SF_6 , що виявило його високу ізоляційну здатність і стабільність.

У 1940-х роках вчені, досліджуючи ізоляційні властивості різних газів, звернули увагу на унікальні характеристики SF_6 . Дослідження показали, що цей газ має дуже високий рівень електричної ізоляції, значно перевершуючи такі традиційні ізоляційні матеріали, як повітря і олія. Ці властивості зробили SF_6 перспективним для використання в електроенергетичному обладнанні, особливо в умовах високих напруг.

Під час Другої світової війни потреба в більш ефективних і компактних засобах ізоляції та гасіння дуги спонукала до подальших досліджень SF_6 . У цей період проводилися численні лабораторні експерименти, метою яких було визначення оптимальних умов використання SF_6 у високовольтних електричних системах.

У 1950-х роках на основі проведених досліджень розпочалася розробка перших комерційних елегазових пристроїв. Перші елегазові вимикачі були розроблені такими компаніями, як Siemens і General Electric. Ці пристрої використовували SF_6 як ізоляційне середовище для гасіння дуги, що виникала під час комутаційних операцій. Використання SF_6 дозволило значно зменшити розміри та вагу електрообладнання, одночасно підвищуючи його ефективність і надійність. Перші промислові зразки елегазових вимикачів були встановлені в високовольтних мережах наприкінці 1950-х років. Ці пристрої показали високі результати в експлуатації, що підтвердило їх перспективність для широкого використання в електроенергетиці.

У 1950-х роках почалися перші систематичні дослідження використання сірчистого гексафториду (SF_6) в електроенергетиці. Цей газ був синтезований ще на початку 20-го століття, проте його унікальні ізоляційні властивості стали предметом детального вивчення лише в середині століття. SF_6 характеризується високою діелектричною міцністю, хімічною інертністю та здатністю ефективно

гасити електричні дуги, що робить його привабливим для застосування в електротехнічних пристроях.

На початку 1960-х років такі компанії, як Siemens та General Electric, розпочали експериментальні дослідження щодо використання SF_6 у високовольтних вимикачах. Ранні прототипи показали значні переваги перед традиційними масляними та повітряними вимикачами. Важливим кроком стало створення лабораторій для дослідження електричних дуг у SF_6 , що дозволило детально вивчити процес гасіння дуги та ізоляційні властивості газу при різних тисках і температурах.

1970-ті роки стали періодом комерціалізації технології елегазових розподільчих пристроїв. Компанії Siemens, ABB та General Electric розпочали виробництво перших комерційних зразків високовольтних елегазових вимикачів та інших розподільчих пристроїв. Ці пристрої мали ряд переваг: компактність, висока надійність, зниження експлуатаційних витрат та можливість роботи у важких умовах. Перші комерційні елегазові розподільчі пристрої були впроваджені на підстанціях у Європі та Північній Америці. Вони використовувалися на напругу до 245 кВ і показали відмінні результати у плані надійності та ефективності. Успішна експлуатація перших зразків сприяла розширенню використання елегазових пристроїв на інші напруги та області застосування. Інженери почали активно працювати над удосконаленням конструкцій та зниженням витрат на виробництво і обслуговування.

У 1980-х роках технологія елегазових розподільчих пристроїв зазнала значного вдосконалення. Основними напрямками розвитку стали підвищення надійності, зменшення габаритів та ваги обладнання, а також зниження експлуатаційних витрат. Інженери активно працювали над вдосконаленням систем гасіння дуги, використанням нових матеріалів та розробкою модульних конструкцій.

Модульні конструкції стали важливою інновацією, що дозволила значно зменшити час монтажу та обслуговування обладнання. Це стало можливим завдяки стандартизації окремих елементів та їхньої взаємозамінності.

Вдосконалення конструкцій також дозволило підвищити рівень герметичності, що зменшило витoki SF_6 та підвищило екологічну безпеку.

Автоматизовані системи моніторингу та управління стали ще однією важливою інновацією 1980-х років. Використання сенсорів для контролю тиску, температури та вологості в SF_6 дозволило здійснювати постійний моніторинг стану обладнання та своєчасно виявляти потенційні проблеми. Автоматизація процесів управління підвищила надійність та ефективність роботи елегазових розподільчих пристроїв.

У 1990-х роках зростання екологічної свідомості сприяло розвитку нових технологій, спрямованих на зменшення впливу SF_6 на навколишнє середовище. SF_6 є потужним парниковим газом, і його використання потребувало впровадження строгих екологічних стандартів. Це призвело до розробки методів зниження викидів SF_6 та технологій його повторного використання.

Серед основних інновацій цього періоду слід відзначити впровадження систем захоплення та очищення SF_6 , які дозволили значно зменшити викиди газу в атмосферу під час обслуговування та ремонту обладнання. Також були розроблені нові методи утилізації SF_6 , що дозволило знизити його вплив на довкілля. Крім того, виробники почали активно досліджувати альтернативні ізоляційні гази з меншою парниковою активністю.

Важливим кроком стало впровадження нових міжнародних стандартів, які регулювали використання SF_6 . Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) та Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробили стандарти, що визначали вимоги до герметичності обладнання, зменшення витоків SF_6 та впровадження технологій повторного використання газу.

На кінець 1990-х років розвиток елегазових розподільчих пристроїв продовжувався з акцентом на підвищення надійності та ефективності. Інженери активно працювали над розробкою нових конструкцій та матеріалів, які забезпечували підвищену міцність та довговічність обладнання. Використання високоякісних полімерів та композитів дозволило покращити електричні характеристики та забезпечити додатковий захист від зовнішніх впливів.

Нові конструкції включали вдосконалені системи гасіння дуги, які забезпечували більш ефективне та швидке відключення електричних ланцюгів. Це стало можливим завдяки детальному вивченню процесів, що відбуваються під час гасіння дуги у середовищі SF_6 . Використання композитних матеріалів та високоякісних сплавів дозволило підвищити стійкість до корозії та механічних пошкоджень, що сприяло продовженню терміну служби елегазових розподільчих пристроїв.

На початку 2000-х років елегазові розподільчі пристрої стали невід'ємною частиною систем розумних мереж (Smart Grid). Це дозволило забезпечити більш гнучке та ефективне управління енергоресурсами. Інтеграція з цифровими технологіями та системами обробки даних дозволила автоматизувати процеси моніторингу та управління, підвищуючи надійність та ефективність роботи електроенергетичних систем.

Системи розумних мереж забезпечували автоматичне виявлення та усунення несправностей, оптимізацію розподілу електроенергії та зниження втрат у мережах. Елегазові розподільчі пристрої, оснащені сучасними засобами зв'язку та обробки даних, стали важливим елементом інтегрованих систем моніторингу та управління електромережами. Це дозволило підвищити надійність роботи електроенергетичних систем та забезпечити стабільне постачання електроенергії споживачам. На кінець 2000-х років були впроваджені нові міжнародні стандарти та регуляторні вимоги до використання SF_6 у електроенергетичному обладнанні. Ці стандарти вимагали підвищення рівня герметичності обладнання, зменшення витоків SF_6 та впровадження технологій повторного використання та утилізації газу.

1.5 Історія розвитку стандартів і вимог для елегазового обладнання та сірчистого гексафториду (SF_6)

Перші дослідження та випробування. На початку 1950-х років вчені та інженери почали вивчати сірчистий гексафторид (SF_6) через його унікальні ізоляційні властивості та здатність гасити електричні дуги. Спочатку SF_6

використовувався в лабораторних умовах для випробувань ізоляційних матеріалів та конструкцій електричних пристроїв. У цей період не існувало жодних стандартів або регуляторних вимог щодо використання SF₆, оскільки технологія була новою і перебувала на стадії експериментів.

Формування перших стандартів: 1970-ті роки та впровадження перших комерційних зразків

У 1970-х роках з'явилися перші комерційні зразки елегазових розподільчих пристроїв, що спричинило необхідність розробки стандартів для їх безпечного та ефективного використання. Міжнародні організації, такі як Міжнародна електротехнічна комісія (ІЕС), почали розробляти перші стандарти для елегазового обладнання.

ІЕС 56: Високовольтні вимикачі.

Одним із перших важливих стандартів став ІЕС 56, що визначав вимоги до високовольтних вимикачів. Цей стандарт включав технічні вимоги до конструкції, випробувань та експлуатації вимикачів, що використовували SF₆ як ізоляційний та дугогасний середовища. Впровадження цього стандарту стало важливим кроком у забезпеченні надійності та безпеки елегазового обладнання.

У 1980-х та 1990-х роках розвиток технологій елегазових розподільчих пристроїв призвів до необхідності оновлення та розширення існуючих стандартів. Міжнародна електротехнічна комісія (ІЕС) та інші організації активно працювали над створенням нових стандартів, що регулювали використання SF₆ у різних типах електроенергетичного обладнання.

ІЕС 62271: Високовольтні вимикачі та розподільчі пристрої

У цей період був розроблений стандарт ІЕС 62271, що охоплював широкий спектр вимог до високовольтних вимикачів та розподільчих пристроїв, які використовують SF₆. Стандарт включав вимоги до конструкції, випробувань, експлуатації та обслуговування обладнання. Впровадження цього стандарту дозволило підвищити рівень надійності та безпеки елегазових розподільчих пристроїв.

Екологічні вимоги та регуляції

У 1990-х роках зростаюча увага до екологічних питань спричинила впровадження нових стандартів та регуляторних вимог щодо використання SF₆. Цей газ є потужним парниковим газом, і його використання потребувало впровадження строгих екологічних стандартів. Європейський Союз та інші міжнародні організації розробили регуляторні акти, що обмежували викиди SF₆ в атмосферу та вимагали впровадження технологій його утилізації та повторного використання.

Одним з важливих стандартів став ІЕС 60480, що містив керівництво щодо утилізації та повторного використання SF₆. Цей стандарт визначав вимоги до процедур очищення та повторного використання газу, а також до методів утилізації відпрацьованого SF₆. Впровадження цього стандарту дозволило значно зменшити екологічний вплив використання SF₆ в електроенергетиці.

На початку 2000-х років розвиток технологій елегазових розподільчих пристроїв продовжувався, що вимагало постійного оновлення стандартів та регуляторних вимог. Міжнародні організації, такі як ІЕС, продовжували розробляти нові стандарти, спрямовані на підвищення надійності, безпеки та екологічної відповідальності обладнання.

ІЕС 62271-200: Високовольтні комутаційні пристрої. Одним із ключових стандартів став ІЕС 62271-200, що охоплював вимоги до високовольтних комутаційних пристроїв, включаючи елегазові розподільчі пристрої. Стандарт включав технічні вимоги до конструкції, випробувань, експлуатації та обслуговування обладнання, а також вимоги до екологічної безпеки та зниження викидів SF₆.

Європейський Союз активно впроваджував регуляторні акти, спрямовані на зниження викидів SF₆ та забезпечення екологічної безпеки електроенергетичного обладнання. Директиви, такі як Регламент (ЄС) No 517/2014 про фторовані парникові гази, встановлювали жорсткі вимоги до використання SF₆ та інших фторованих газів. Ці регуляторні акти вимагали від виробників впровадження технологій зниження витоків та повторного

використання SF₆, а також регулярного моніторингу та звітності щодо викидів газу. Сучасні стандарти також враховують технологічні інновації, такі як інтеграція елегазових розподільчих пристроїв з системами розумних мереж (Smart Grid) та впровадження автоматизованих систем моніторингу та управління. Ці технології дозволяють забезпечити більш ефективне та безпечне використання SF₆ в електроенергетиці.

IEC 60376: Специфікації на SF₆. Даний стандарт визначає специфікації на SF₆, що використовується в електроенергетичних пристроях. Він охоплює вимоги до чистоти, складових домішок та фізичних властивостей газу, що використовуються в електроенергетичному обладнанні. Впровадження цього стандарту дозволяє забезпечити високу якість SF₆, що використовується в елегазових розподільчих пристроях.

Національні стандарти та регуляції

Окрім міжнародних стандартів, багато країн розробляють власні національні стандарти та регуляції щодо використання SF₆ в електроенергетиці. Ці стандарти враховують специфічні умови та вимоги кожної країни, забезпечуючи високу надійність та безпеку елегазового обладнання.

Зважаючи на зростаючі вимоги до екологічної безпеки та надійності електроенергетичного обладнання, розвиток стандартів та регуляцій для елегазових розподільчих пристроїв продовжуватиметься. Основні напрямки розвитку включають:

1. Зниження впливу на довкілля: Подальше зменшення викидів SF₆ та розвиток технологій його утилізації та повторного використання.
2. Інтеграція з цифровими технологіями: Впровадження стандартів, що регулюють використання цифрових технологій та систем моніторингу в елегазових розподільчих пристроях.
3. Альтернативні ізоляційні гази: Розробка стандартів для нових ізоляційних газів з меншою парниковою активністю, які можуть замінити SF₆ у майбутньому.

4. Підвищення надійності та безпеки: Вдосконалення стандартів, що регулюють конструкцію, випробування

На початку 2000-х років одним із головних напрямків розвитку елегазових розподільчих пристроїв стало впровадження сучасних систем моніторингу та діагностики. Використання автоматизованих систем контролю дозволило значно підвищити рівень надійності та безпеки обладнання. Застосування сенсорів, які вимірюють тиск, температуру та вологість SF_6 , допомогло забезпечити постійний контроль за станом ізоляції та своєчасно виявляти потенційні проблеми. Системи моніторингу стали невід'ємною частиною елегазових розподільчих пристроїв, дозволяючи оперативно реагувати на будь-які зміни та запобігати аварійним ситуаціям.

Розробка екологічно безпечних технологій. Сірчистий гексафторид (SF_6) є потужним парниковим газом, що становить загрозу для довкілля у разі витоків. Тому з початку 2000-х років велика увага приділялась розробці технологій, що зменшують екологічний вплив елегазових розподільчих пристроїв. Виробники почали впроваджувати нові методи зниження витоків та технології повторного використання SF_6 .

Серед таких технологій слід зазначити системи повторного захоплення та очищення SF_6 , які дозволяють зменшити кількість газу, що викидається в атмосферу. Розробка альтернативних ізоляційних газів з меншою парниковою активністю, таких як гексафторбутадієн ($\text{C}_4\text{-FN}$) та гексафторетан (C_2F_6), також стала важливим кроком у напрямку зменшення екологічного впливу. Ці гази можна використовувати разом з SF_6 або замість нього, що дозволяє зберегти високу ізоляційну здатність при зниженні екологічних ризиків.

Вдосконалення конструкцій та матеріалів

З початку 2000-х років значна увага приділялась вдосконаленню конструкцій та матеріалів елегазових розподільчих пристроїв. Інженери працювали над зменшенням розмірів та ваги обладнання, що дозволило знизити витрати на його транспортування та монтаж. Нові матеріали, які

використовувались у виробництві елегазових вимикачів та розподільчих пристроїв, забезпечували підвищену міцність та довговічність обладнання.

Використання композитних матеріалів та високоякісних сплавів дозволило підвищити стійкість до корозії та механічних пошкоджень, що сприяло продовженню терміну служби елегазових розподільчих пристроїв. Удосконалення ізоляційних матеріалів також дозволило покращити ефективність роботи обладнання в умовах високих напруг. Високоякісні полімери та композити, що використовуються в конструкціях, забезпечили додатковий захист від зовнішніх впливів та покращили електричні характеристики пристроїв.

Інтеграція з системами розумних мереж (Smart Grid). Одним з ключових напрямків розвитку елегазових розподільчих пристроїв у 2000-х роках стало їх інтеграція з системами розумних мереж (Smart Grid). Це дозволило забезпечити більш гнучке та ефективне управління енергоресурсами. Елегазові розподільчі пристрої, оснащені сучасними засобами зв'язку та обробки даних, стали частиною інтегрованих систем моніторингу та управління електроенергетичними мережами.

Системи розумних мереж дозволяють автоматизувати процеси виявлення та усунення несправностей, оптимізувати розподіл електроенергії та знижувати втрати в мережах. Інтеграція з Smart Grid підвищила ефективність та надійність роботи елегазових розподільчих пристроїв, а також забезпечила можливість віддаленого управління та моніторингу. Це стало важливим кроком у напрямку створення більш стійких та надійних енергетичних систем.

Впровадження нових стандартів та регуляторних вимог

З початку 2000-х років у зв'язку з підвищеними вимогами до екологічної безпеки та надійності обладнання були впроваджені нові стандарти та регуляторні вимоги до елегазових розподільчих пристроїв. Міжнародні організації, такі як Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) та Міжнародна організація зі стандартизації (ISO), розробили нові стандарти, що регулюють використання SF_6 та інших газів в електроенергетичному обладнанні.

Нові стандарти вимагали підвищення рівня герметичності обладнання, зменшення витоків SF_6 та впровадження технологій повторного використання та утилізації газу. Виробники елегазових розподільчих пристроїв активно працювали над вдосконаленням своїх продуктів відповідно до нових вимог, що сприяло підвищенню їх екологічної безпеки та надійності. Відповідність новим стандартам стала ключовим фактором для успішного використання елегазових розподільчих пристроїв у сучасних електроенергетичних системах.

Розвиток елегазових розподільчих пристроїв у 2010-х роках

У 2010-х роках розвиток елегазових розподільчих пристроїв продовжувався з акцентом на підвищення енергоефективності та інтеграцію з відновлюваними джерелами енергії. Зростання частки відновлюваних джерел енергії в енергобалансі багатьох країн вимагало впровадження нових технологій, що забезпечують стабільну роботу електромереж з урахуванням нестабільності генерації.

Елегазові розподільчі пристрої стали важливим елементом у забезпеченні стабільної роботи мереж, що включають вітрові та сонячні електростанції. Високі ізоляційні властивості та надійність елегазових пристроїв дозволили забезпечити ефективне управління потоками енергії та знизити ризик аварійних ситуацій. Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії вимагала від елегазових розподільчих пристроїв здатності швидко реагувати на зміни в енергопотоках та забезпечувати надійне відключення та захист у випадку несправностей.

Сьогодні елегазові розподільчі пристрої продовжують відігравати ключову роль у сучасних електроенергетичних системах. Основні напрямки розвитку включають подальше підвищення екологічної безпеки, інтеграцію з цифровими технологіями та розробку нових ізоляційних матеріалів.

Альтернативні ізоляційні гази

Один з найважливіших напрямків розвитку — пошук та впровадження альтернативних ізоляційних газів з меншою парниковою активністю. Вчені та інженери активно досліджують нові газові суміші, такі як гексафторбутадиєн

(C₄-FN) та гексафторетан (C₂F₆), які можуть використовуватись замість SF₆. Ці гази мають подібні ізоляційні

Звісно, давайте розглянемо кожен аналог більш детально, а також шляхи їх винайдення:

Гази змішаної іонізації (MIXGAS)

- Ці гази є сумішшю SF₆ з іншими газами, такими як азот (N₂), діоксид вуглецю (CO₂) або перфторетан (CF₃I). Їх використання в електроінженерії спрямоване на зниження екологічного впливу, пов'язаного з використанням SF₆, при збереженні потрібних електричних характеристик.

- Розробка MIXGAS вимагала вивчення характеристик різних газів та їх впливу на електричні параметри обладнання. Це включало дослідження їх електричних, діелектричних та іонізаційних властивостей.

Гази плазмової іонізації

- Ці гази використовуються в аналогічних умовах і є альтернативою SF₆. Вони володіють дещо відмінними електричними характеристиками і можуть бути більш стійкими до деяких умов експлуатації.

- Розвиток цих газів був результатом постійного пошуку нових матеріалів та технологій, які могли б забезпечити більш ефективну роботу в високовольтних умовах. Дослідження зосереджувалися на розумінні фізичних процесів, що відбуваються при взаємодії газу з електричним полем.

Фтористий газ (C₃F₈)

- C₃F₈ (перфторопропан) відомий своєю високою електричною ізоляційною здатністю та меншим впливом на зміну клімату порівняно з SF₆. Він може бути використаний у високовольтних вакуумних вимикачах.

- Розробка C₃F₈ була спрямована на створення альтернативи SF₆, яка була б більш екологічно чистою та мала б менший вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище. Це включало вивчення його діелектричних властивостей та можливостей для ізоляції електричних контактів.

Гази зі зниженим вмістом SF₆

- Цей підхід полягає в заміщенні частини SF_6 менш шкідливими газами або в зменшенні вмісту SF_6 в газовій суміші. Такі суміші можуть містити SF_6 та інші гази в різних пропорціях.

- Розробка цих сумішей вимагала вивчення властивостей різних газів та їх впливу на електричні характеристики системи. Це включало експерименти з композиціями газів та вивчення їхньої ефективності як ізоляційних середовищ.

Звісно, ось розширена версія характеристик елегазового обладнання:

Висока електрична ізоляція: Елегаз (SF_6) відомий своєю високою електричною ізоляційною здатністю, що дозволяє йому ефективно використовуватися для ізоляції електричних контактів у високовольтному обладнанні. Ця властивість є вирішальною для забезпечення безпечного та надійного функціонування електротехнічних систем.

Стійкість до дії вологості: SF_6 є відмінним вологостійким ізолятором, що робить його надзвичайно надійним у різних кліматичних умовах та середовищах. Ця характеристика забезпечує стабільну роботу обладнання навіть у вологому або корозійному середовищі.

Мала теплова та діелектрична провідність: Елегаз має низьку теплову та діелектричну провідність, що дозволяє йому ефективно функціонувати при великих електричних напругах без значного нагріву або ризику пробою ізоляції. Це забезпечує ефективне та безпечне використання обладнання навіть у високовольтних мережах.

Стійкість до корозії: SF_6 є стійким до багатьох хімічних реакцій, що робить його відмінним матеріалом для довготривалого використання в агресивних середовищах. Ця властивість забезпечує тривалу та надійну роботу обладнання у різних умовах експлуатації.

Низький вплив на зміну клімату Однією з найкращих характеристик SF_6 є його низький потенціал впливу на зміну клімату порівняно з іншими газами, такими як парникові гази. Ця властивість робить елегаз екологічно чистим та придатним для використання в сучасних енергетичних системах.

Ефективна робота при високих тисках: SF_6 може ефективно працювати при великих тисках, що робить його ідеальним для застосування в газоізолюваних вимикачах та інших високовольтних пристроях. Ця характеристика дозволяє забезпечити стійку та надійну роботу обладнання навіть у найвимогливіших умовах експлуатації. Ці характеристики роблять елегазове обладнання важливим компонентом сучасних електротехнічних систем, забезпечуючи високу ефективність, надійність та екологічність їхньої роботи.

Висока густина енергії: Елегаз має високу плотність енергії, що дозволяє використовувати більш компактні конструкції обладнання. Це робить його особливо популярним для використання в пристроях з обмеженим об'ємом, таких як місцеві підстанції та комутаційні шафи.

Низька токсичність: Якщо елегаз потрапляє в атмосферу внаслідок розриву у обладнанні, він розпадається на нешкідливі продукти, що робить його менш токсичним для навколишнього середовища порівняно з альтернативними газами, такими як хлор (Cl_2) або фтористий водень (HF).

Можливість рециклювання: Більшість виробників елегазового обладнання розвивають програми збору та переробки використаного SF_6 , щоб зменшити вплив на довкілля та забезпечити стале використання цього газу. Ця ініціатива спрямована на зменшення кількості викидів SF_6 в атмосферу та підвищення екологічної сталості електротехнічних систем.

Підтримка міжнародних стандартів: SF_6 використовується у багатьох міжнародних стандартах та нормативних документах, що робить його одним із переважних варіантів для використання в глобальних електроенергетичних мережах. Це сприяє інтеграції елегазового обладнання в різноманітні електротехнічні системи та забезпечує їхню сумісність з міжнародними стандартами якості та безпеки.

Конструкційні рішення при використанні елегазового обладнання:

- Газоізолювані вимикачі: Газоізолювані вимикачі (ГІВ) - це ключовий компонент елегазового обладнання. Вони мають компактну конструкцію, що

дозволяє ефективно використовувати обмежений простір у підстанціях. Газова ізоляція дозволяє знизити розміри та вагу вимикачів, забезпечуючи при цьому високий рівень ізоляції та стійкість до електричних розрядів.

- Газоізольовані трансформатори: Газоізольовані трансформатори (ГІТ) також використовуються для забезпечення ізоляції та перетворення напруги в електроенергетичних системах. Вони мають герметичну конструкцію, що запобігає витоку газу та забезпечує стабільну роботу в умовах підвищеного тиску та температури.

- Газоізольовані вимикачі напруги: Ці вимикачі використовуються для відключення електричних ліній в разі необхідності. Вони мають газову ізоляцію, яка дозволяє їм працювати при великих напругах без ризику пробоя ізоляції. Крім того, вони мають високу швидкість вимкнення, що дозволяє швидко реагувати на аварійні ситуації.

- Газоізольовані вакуумні вимикачі: Ці вимикачі комбінують у собі переваги газової та вакуумної ізоляції. Вони мають газову ізоляцію, що забезпечує ефективне утримання дуги, а також вакуумний переключатель, який забезпечує швидке та надійне вимкнення струму.

- Системи моніторингу та діагностики: Розробники елегазового обладнання також активно працюють над розробкою систем моніторингу та діагностики, які дозволяють виявляти можливі несправності та проводити профілактичний обслуговування вчасно. Ці системи допомагають підтримувати стабільну та надійну роботу електротехнічного обладнання.

- Інтеграція з сучасними системами керування: Елегазове обладнання може бути інтегроване з сучасними системами керування та моніторингу, що дозволяє автоматизувати процеси експлуатації та підтримувати оптимальний рівень продуктивності.

2 ВИБІР ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ СТАНЦІЇ

Електроенергетика в Україні є провідною галуззю і влада зацікавлена в її розвитку, адже економіка країни напряму залежить від енергетики та її стану в цілому. На даний момент енергетика України знаходиться в епіцентрі великих перетворень, докорінної зміни умов та розвитку.

Економічна криза в країні негативно вплинула на розвиток економіки з тієї причини, що в енергетиці зосереджено більше 15% головних промислово-виробничих фондів народного господарства України.

Старе обладнання, відсутність засобів, що вичерпало свій ресурс вимагає більш ґрунтовних досліджень перед прийняттям рішень про проектування електричних станцій та підстанцій. Слабкий енергетичний ринок і як наслідок дуже слабкий обіг фінансів вимагає дешеву електроенергію, яку не так легко забезпечити. Найдешевша електроенергія -це енергія яка виробляється на гідроелектростанціях (ГЕС), але проблема полягає в тому, що електроенергія яка виробляється ними складає всього 5% від загальної. Проектована ГЕС потужністю 880 МВт може не тільки забезпечити електроенергією окремих споживачів, що розташовані поблизу, чи бути додатком теплових електростанцій, але і збільшити маневреність енергосистеми в цілому, заповнюючи піки графіків навантаження.

Завданням даного розділу є проектування електричної частини гідроелектростанції (ГАЕС). Електростанції такого типу мають певні характерні особливості: ГАЕС будують звичайно на повноводних річках. Електроенергія, що виробляється, передається до місць споживання по лініях електропередач високої напруги.

2.1 Вибір структурної схеми станції

Вибір головної схеми електричних з'єднань є відповідальною ланкою в проектуванні електричної частини електростанції, тому що він визначає повний склад елементів і зв'язків між ними. Основними вихідними даними для вибору головної схеми є тип станції і вид палива; число і потужність агрегатів станції; графіки навантажень споживачів і їхній склад; дані про систему.

Вибір зв'язків станції з системою та місцевим районом

Головна електрична схема в значній мірі визначає основні показники електричної частини станції, а також обумовлює характеристики ЕС в цілому: надійність, економічність, ремонтоздатність, безпеку обслуговування, зручність експлуатації, зручність розміщення електрообладнання, можливість подальшого розширення тощо. Тому на етапі проектування до головної схеми електричних з'єднань висуваються такі вимоги:

- відповідність умовам роботи станції в енергосистемі, режимам що очікуються, а також відповідність технологічній схемі;
- простота і наочність, мінімальний об'єм перемикань при зміні режиму, доступність обладнання для ремонту без порушення режиму роботи;
- зручність спорудження електричної частини з врахуванням черговості введення в експлуатацію генераторів, трансформаторів, ЛЕП;
- можливість автоматизації установки в економічно доцільному обсязі;
- достатня, економічно виправдана міра надійності.

Видача потужності на електростанції, що проектується, буде здійснюватися на двох напругах: в систему - 330 кВ, в місцевий район - 220 кВ.

Вибір числа та пропускної спроможності ЛЕП здійснюється згідно вимог:

- 1) при відключенні будь-якої з ліній повинна забезпечуватися видача всієї потужності електростанції;
- 2) при одночасному відключенні двох ЛЕП в повній її схемі або при аварійному відключенні однієї лінії в ремонтному стані схеми мережі

допускається обмеження потужності, яка видається електростанцією, але, бажано, без зупинки блоків.

Кількість ЛЕП, що відходять від РП ЕС визначаємо по наступних формулах:

Кількість ліній зв'язку з системою:

$$n_c = \frac{P_{c.від.max}}{P_{гр.}} + 1 \quad (2.1)$$

$$n_c = \frac{638.00}{400} + 1 = 2.60 \approx 3.$$

Кількість ліній зв'язку з місцевим районом:

$$n_p = \frac{P_{p.від.max}}{P_{гр.}} + 1 \quad (2.2)$$

$$n_p = \frac{267.50}{50} + 1 = 6.35 \approx 7.$$

2.1.1 Вибір структурної схеми станції

Структурна схема електричної частини станції визначає розподіл генераторів між РП різних напруг, склад блоків генератор - трансформатор і вид електромагнітних зв'язків між РП (трансформаторні або автотрансформаторні).

Розподіл генераторів між РП різних напруг робиться з обліком потужності, що віддається із шин різної напруги $P_{від}$. При цьому необхідно прагнути до того, щоб перетік із РП однієї напруги в РП іншої напруги в нормальному й аварійному режимах був мінімальним.

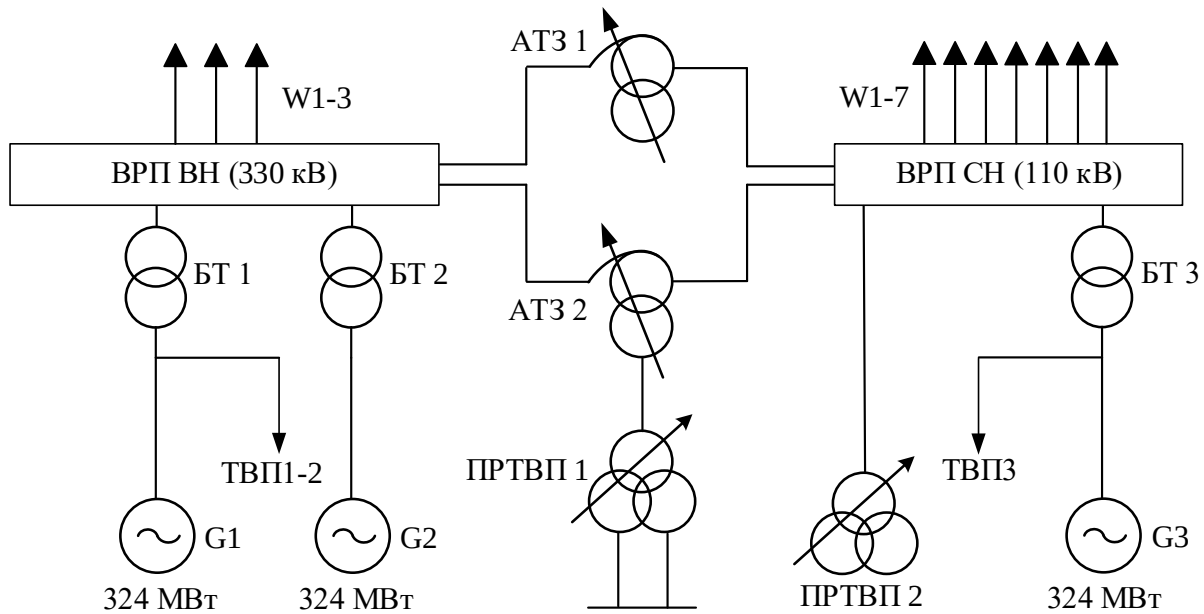


Рисунок 2.1 – Структурна схема ГАЕС

Перетік надлишкової потужності буде здійснюватися через ТЗ, який з'єднує РП 330 і 110 кВ. ТЗ вибирається з умови надійності. Таким чином, структурна схема ГАЕС складається з двох РП – 110 і 330 кВ, які з'єднані через ТЗ.

2.1.2 Розрахунок втрат в трансформаторах

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4} \right)^2 \cdot 8760; \quad (2.3)$$

$$\tau = \left(0.124 + \frac{2926.68}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 1521 \text{ (год)};$$

$$\Delta W_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{kz} \cdot \left(\frac{S_{\max}}{S_{T.\text{ном}}} \right)^2 \cdot \tau; \quad (2.4)$$

де P_{xx} , P_{kz} – втрати відповідно холостого ходу та короткого замикання;

$S_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА;

$S_{\max}$ розрахункове максимальне навантаження трансформатора, яке знаходиться за допомогою аналізу перетоків потужності в режимі максимальних навантажень в місцевому районі та системі одночасно;

$T_{\max}$ – час максимальних втрат в рік;

τ – час максимальних втрат в рік;

$$\Delta W_{BT1-2} = 2 \cdot 214 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 605 \cdot \left(\frac{487.20}{400} \right)^2 \cdot 1521 = 3955029 \text{ (кВт} \cdot \text{год)};$$

$$\Delta W_{BT3} = 1 \cdot 207 \cdot 8760 + \frac{1}{1} \cdot 600 \cdot \left(\frac{1521}{400} \right)^2 \cdot 2408 = 4134758 \text{ (кВт} \cdot \text{год)};$$

$$\Delta W_{T3} = 2 \cdot 160 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 620 \cdot \left(\frac{30.50}{250} \right)^2 \cdot 1521 = 2810217 \text{ (кВт} \cdot \text{год)};$$

$$\Delta W_{\Sigma 1} = \Delta W_{BT1-2} + \Delta W_{BT3} + \Delta W_{T3}; \quad (2.5)$$

$$\Delta W_{\Sigma 1} = 3955029 + 4134758 + 2810217 = 10900004 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

2.2 Розрахунок струмів короткого замикання для вибору апаратури і струмоведучих частин

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) виконується для вибору чи перевірки параметрів електрообладнання, а також для вибору чи перевірки уставок релейного захисту і автоматики.

2.2.1 Розрахункова схема електроустановки

Розрахунок струмів КЗ виконується в такому порядку:

- складається розрахункова схема;
- у відповідності до розрахункової схеми складається електрична заступна схема;
- шляхом поступового перетворення приводять заступну схему до найбільш простого вигляду таким чином, щоб кожне джерело живлення або група джерел, яка характеризується певним значенням результируючої ЕРС, було пов'язано з точкою КЗ одним результируючим опором;

- знаючи результуючу ЕРС джерела та результуючий опір, за законом Ома визначають початкове значення періодичної складової струму КЗ, потім визначають ударний струм і при необхідності - періодичну і аперіодичну складові струму КЗ для заданого моменту часу.

Складаємо розрахункову схему (спрощену однолінійну схему електроустановки), на якій вкажемо всі елементи, які впливають на струм КЗ і намічаємо точки КЗ.

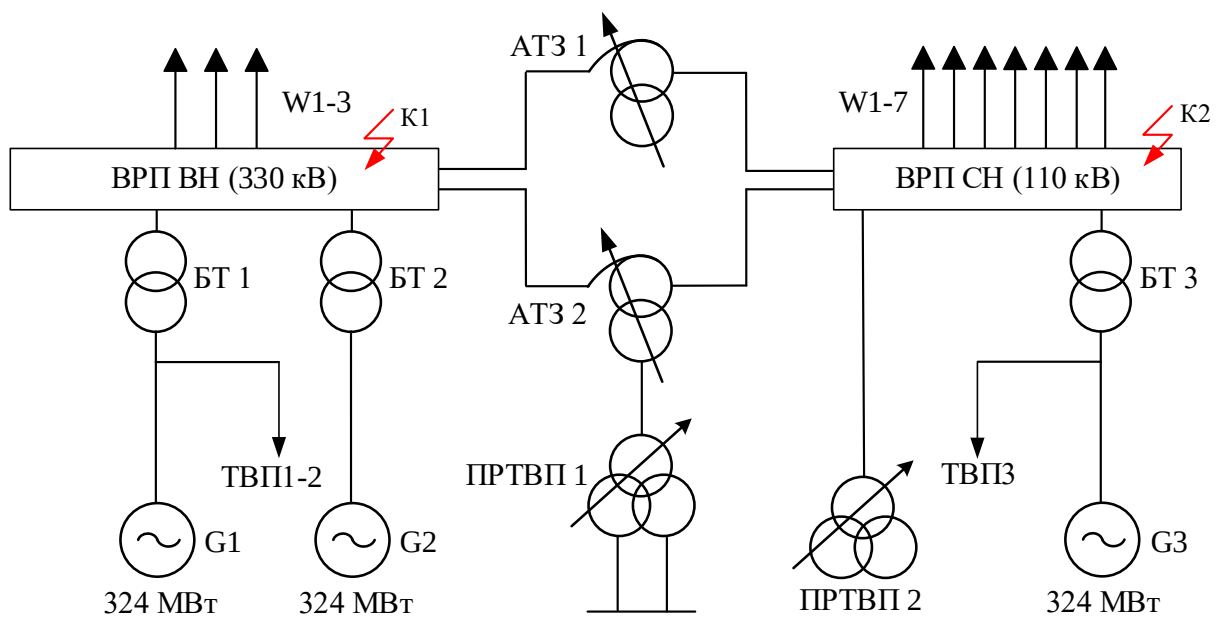


Рисунок 2.2 – Місце знаходження точок короткого замикання

2.2.2 Заступна схема станції

На розрахунковій схемі електроустановки намічають

точки, в яких припускається КЗ. Потім для обраної точки КЗ складають еквівалентну електричну схему заміщення, відповідну по вхідним даним розрахунковій схемі, але в якій усі магнітні (трансформаторні) зв'язки замінені електричними (рис. 2.2)

Параметри розрахункової схеми можуть бути представлені в відносних або іменованих одиницях. При розрахунках в іменованих одиницях усі опори схеми повинні бути представлені в омах і приведені до однієї базової напруги

(до середньої напруги одного електричного ступеня). Таке приведення необхідне, якщо між джерелом і точкою КЗ є одна або декілька ступенів трансформації.

Якщо розрахунок виконується в відносних одиницях, то необхідно заздалегідь навести всі опори елементів схеми заміщення до одних і тих же базових умов, використовуючи методичні вказівки [1, таблиця 2.1–2.3].

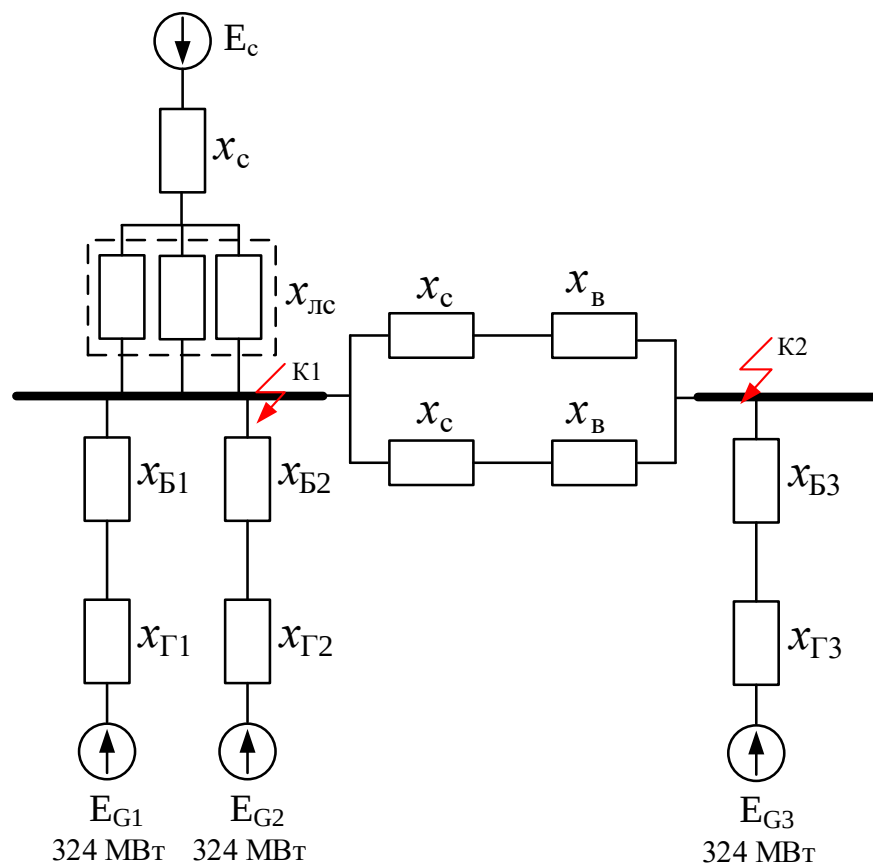


Рисунок 2.3 – Еквівалентна схема заміщення станції

2.2.3 Розрахунок періодичної складової струму КЗ для часу $t = 0$

Для обраної точки КЗ складаємо еквівалентну електричну схему заміщення, яка відповідає по початковим даним розрахунковій схемі, але в якій всі магнітні зв'язки замінюємо електричними (рисунок 2.3).

Розрахунок виконуємо у відносних одиницях. Тому приведемо всі опори елементів схеми заміщення до одних і тих самих базових умов, використовуючи методичні вказівки [1, таблиця. 6.1–6.3].

Приймаємо $S_B = 1000$ (МВА).

Опір системи:

$$X_c = X_{c.ном} \cdot \frac{S_6}{S_{c.ном}}; \quad (2.6)$$

$$X_c = 0.25 \cdot \frac{1000}{18600} = 0.013 \text{ (в.о.)};$$

Опір лінії системи:

$$X_{лел.с} = x_0 \cdot L_{л} \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2}; \quad (2.7)$$

$$X_{лел.с} = 0.32 \cdot 85 \cdot \frac{1000}{340^2} = 0.235 \text{ (в.о.)}.$$

Опір генераторів МВт:

$$X_{\Gamma} = x_d'' \cdot \frac{S_6}{S_{\Gamma.ном}}; \quad (2.8)$$

$$X_{\Gamma} = 0.2 \cdot \frac{1000}{360} = 0.56 \text{ (в.о.)}.$$

Опір блочних трансформаторів МВА:

$$X_{БТ} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{Т.ном}}; \quad (2.9)$$

$$X_{БТр} = \frac{11}{100} \cdot \frac{1000}{400} = 0.28 \text{ (в.о.)};$$

$$X_{БТс} = \frac{11}{100} \cdot \frac{1000}{400} = 0.28 \text{ (в.о.)}.$$

Опір ПРТВП:

$$X_{ПРТВП} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{Т.ном}}; \quad (2.10)$$

$$X_{ПРТВП} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7.88 \text{ (в.о.)}.$$

Опір АТЗ:

$$X_B = \frac{\frac{1}{2} \cdot (u_{kBH} + u_{kBC} - u_{kCH})}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H}; \quad (2.11)$$

$$X_B = \frac{\frac{1}{2} \cdot (10.5 + 34 - 22)}{100} \cdot \frac{1000}{250} = 0.45 \text{ (в.о.)};$$

$$X_C = \frac{\frac{1}{2} \cdot (u_{kBH} - u_{kBC} + u_{kCH})}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H}; \quad (2.12)$$

$$X_C = \frac{\frac{1}{2} \cdot (10.5 - 34 + 22)}{100} \cdot \frac{1000}{250} = -0.03 \approx 0 \text{ (в.о.)};$$

$$X_H = \frac{\frac{1}{2} \cdot (-u_{kBH} + u_{kBC} + u_{kCH})}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H}; \quad (2.13)$$

$$X_H = \frac{\frac{1}{2} \cdot (-10.5 + 34 + 22)}{100} \cdot \frac{1000}{250} = 0.91 \text{ (в.о.)}.$$

ЕРС генераторів у в.о.:

$$E''_{*G} = 1.13 \text{ (в.о.)}.$$

Початкове значення періодичної складової струму КЗ в системі відносних одиниць визначається за формулою, кА:

$$I_{ПО} = \frac{E''_*}{x_{рез*}} \cdot I_B; \quad (2.14)$$

де E''_* – ЕРС джерела, в.о.; $x_{рез*}$ – результуючий відносний опір ланки КЗ, який приведений до базисних умов; I_B – базисний струм, кА:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}; \quad (2.15)$$

К₁ Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ K_1 . Приведемо цю схему до найбільш простого вигляду (рисунок 2.4) та (рисунок 2.5).

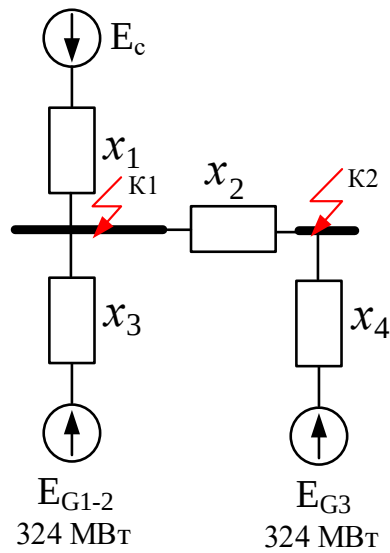


Рисунок 2.4 – Еквівалентна схема заміщення крок 2

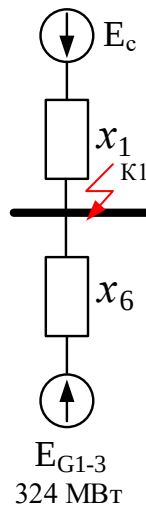


Рисунок 2.5 – Еквівалентна схема заміщення крок 3

Розрахунок спрощення:

$$X_1 = \frac{X_{\text{леп.с}}}{3} + X_c; \quad (2.16)$$

$$X_1 = \frac{0.235}{3} + 0.013 = 0.092 \text{ (в.о.)},$$

$$X_2 = \frac{X_B}{2}; \quad (2.17)$$

$$X_2 = \frac{0.45}{2} = 0.225 \text{ (в.о.)},$$

$$X_3 = \frac{X_\Gamma + X_{\text{БТ330}}}{2}; \quad (2.18)$$

$$X_3 = \frac{0.556 + 0.275}{2} = 0.415 \text{ (в.о.)},$$

$$X_4 = X_\Gamma + X_{\text{БТ110}}; \quad (2.19)$$

$$X_4 = 0.556 + 0.275 = 0.831 \text{ (в.о.)},$$

$$X_5 = X_2 + X_4; \quad (2.20)$$

$$X_5 = 0.225 + 0.831 = 1.056 \text{ (в.о.)};$$

$$X_6 = \frac{X_5 \cdot X_3}{X_5 + X_3}; \quad (2.21)$$

$$X_6 = \frac{1.056 \cdot 0.415}{1.056 + 0.415} = 0.298 \text{ (в.о.)};$$

$$I_{\text{БК1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 340} = 1.698 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{пос}} = \frac{1}{0.092} \cdot 1.698 = 18.483 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{пог}} = \frac{1.13}{0.298} \cdot 1.698 = 6.438 \text{ (кА)}.$$

К₂ Приведемо схему 2.4 до вигляду рис. 2.5.

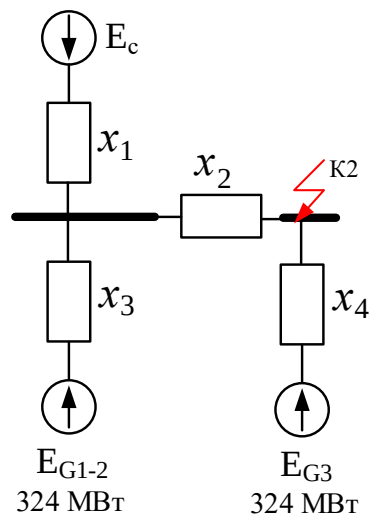


Рисунок 2.6

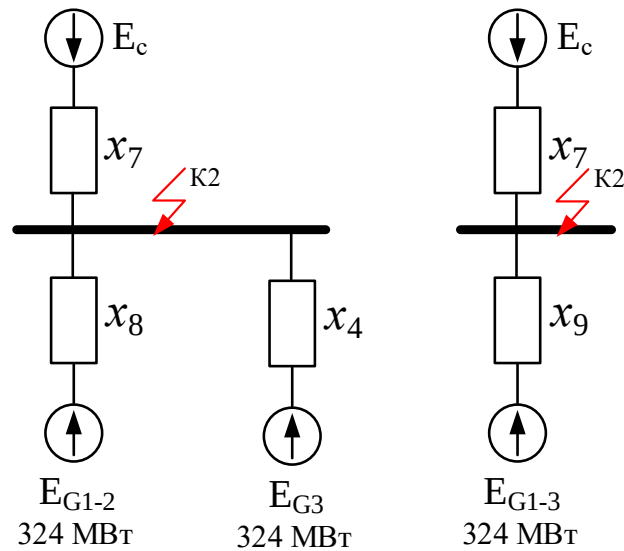


Рисунок 2.7 – Еквівалентна схема заміщення для К2

$$X_{EKB} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_3}}; \quad (2.21)$$

$$X_{EKB} = \frac{1}{\frac{1}{0.092} + \frac{1}{0.415}} = 0.075 \text{ (в.о.)},$$

$$C_1 = \frac{X_{EKB}}{X_1}, \quad C_2 = \frac{X_{EKB}}{X_3}; \quad (2.22)$$

$$C_1 = \frac{0.075}{0.092} = 0.819, \quad C_2 = \frac{0.075}{0.415} = 0.181;$$

$$X_{pez} = X_{ekb} + X_2; \quad (2.23)$$

$$X_{pez} = 0.075 + 0.225 = 0.3 \text{ (в.о.)}.$$

Результуючий опір:

$$X_7 = \frac{X_{pez}}{C_1}; \quad (2.24)$$

$$X_7 = \frac{0.3}{0.819} = 0.367 \text{ (в.о.)};$$

$$X_8 = \frac{X_{pez}}{C_2}; \quad (2.25)$$

$$X_8 = \frac{0.3}{0.181} = 1.657 \text{ (в.о.)};$$

$$X_9 = \frac{1}{\frac{1}{X_8} + \frac{1}{X_4}}; \quad (2.26)$$

$$X_9 = \frac{1}{\frac{1}{1.657} + \frac{1}{0.831}} = 1.657 \text{ (в.о.)};$$

$$I_{BK2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.02 \text{ (кА)};$$

$$I_{пос} = \frac{1}{0.092} \cdot 5.02 = 13.693 \text{ (кА)};$$

$$I_{пог} = \frac{1.13}{0.553} \cdot 5.02 = 10.254 \text{ (кА)}.$$

Усі розраховані періодичні струми занесемо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Періодична складова струмів КЗ

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	Іпо, кА
К ₁ шини 330 кВ	Г	6.438
	С	18.483
К ₂	Г	10.254
шини 110 кВ	С	13.693

2.3 Вибір схем відкритих розподільчих установок

Продемонструємо схеми ВРП-110 кВ - та рисунку 2.8. та ВРП-330 кВ на рисунку 2.9.

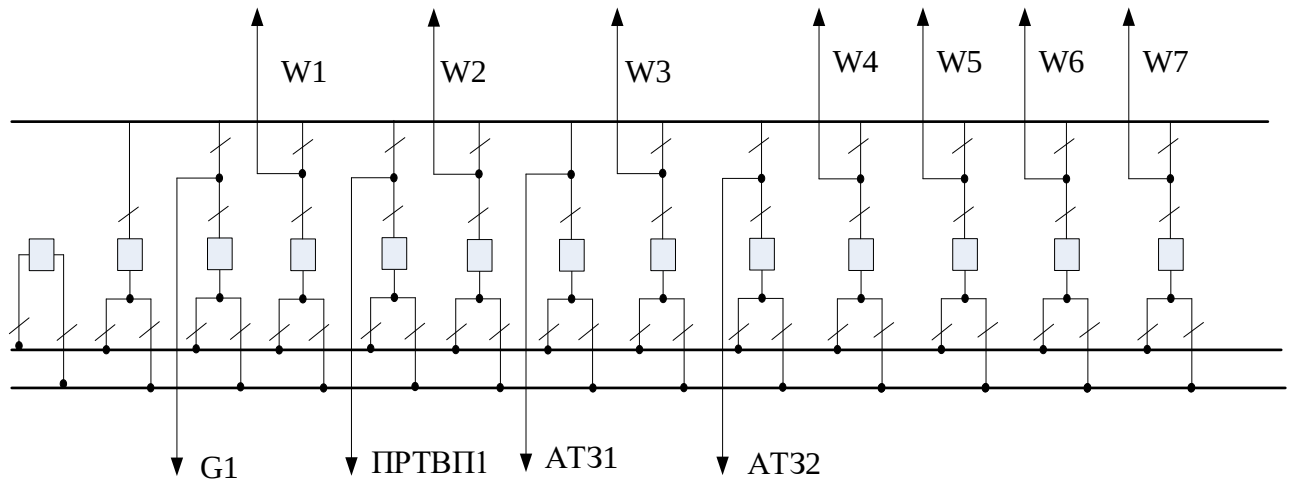


Рисунок 2.8 – Схеми ВРП-110 кВ, дві несекціоновані системи шин з обхідною

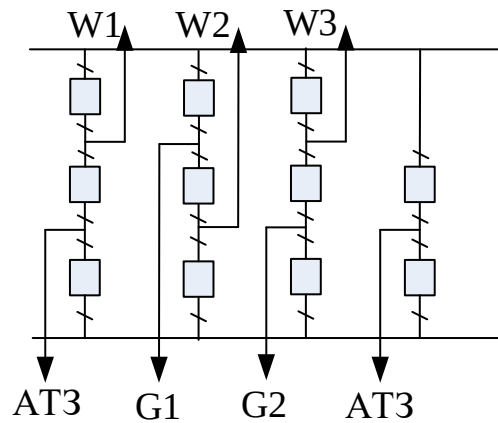


Рисунок 2.9 – Схеми ВРП-330 кВ, 3/2

2.3.1 Визначення аперіодичної та періодичної складової струму КЗ для моменту часу $t = \tau$, а також ударного струму КЗ

Ударний струм КЗ зазвичай має місце через 0.1 с після початку КЗ. Його значення знаходиться з виразу:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot k_y, \quad (2.27)$$

де I_{n0} - початкове значення періодичної складової струму КЗ;

k_y - ударний коефіцієнт, який залежить від постійної часу затухання аперіодичної складової струму КЗ.

Якщо КЗ сталося на виводах генератора, то для його вітки постійна T_a може бути взята з [1, табл. 4.6]. Для характерних точок електричних мереж значення T_a і k_y беремо з [1, табл. 4.7].

Розрахунковий час, для якого необхідно визначити струми КЗ, обчислюється як $\tau = t_{\text{вч відкл}} + 0,01 \text{ с}$, де $t_{\text{вч відкл}}$ - власний час відключення вимикача. Для сучасних вимикачів не перевищує 0,2 с.

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (2.28)$$

Виконаємо розрахунок складових струму КЗ і ударного струму КЗ для всіх точок.

Таблиця 2.4 – Значення періодичного струму КЗ в момент часу $t=0$, часу τ , T_a і ударного коефіцієнту.

Точка КЗ	Дж.живл.	I_{n0} , кА	τ ,с	T_a ,с	K_y ,в.о.
К1 шини 330 кВ	Г	6.438	0.060	0.200	1.900
	С	18.483	0.060	0.020	1.600
	Сума	24.921	-	-	-
К2 шини 110 кВ	Г	10.254	0.085	0.058	1.846
	С	13.693	0.085	0.04	1.65
	Сума	23.947	-	-	-

2.3.2 Розрахунок ударного струму КЗ, аперіодичної та періодичної складової струму КЗ в момент часу $t = \tau$

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку струмів КЗ

Точка КЗ	Дж.живл.	I_{p0} , кА	I_{pt} , кА	i_{at} , кА	i_{ud} , кА
К1 шини 330 кВ	Г	6.438	5.408	6.745	17.299
	С	18.483	18.483	6.745	41.822
	Сума	24.921	23.891	13.490	59.121
К2 шини 110 кВ	Г	10.254	9.639	3.349	26.769
	С	13.693	13.693	2.313	31.952
	Сума	23.947	23.332	5.662	58.721

В цьому розділі був проведений розрахунок струмів короткого замикання. Розрахунок виконувався за допомогою методів еквівалентних ЕРС і типових кривих, що забезпечує точність розрахунків з похибкою до 15%. Така точність дозволяє в подальшому проводити вибір комутаційної апаратури, струмоведучих частин тощо.

2.4 Розрахунок максимальних робочих струмів приєднань та теплового імпульсу

При проходженні струму КЗ провідник додатково нагрівається. Оскільки струм КЗ значно перевищує струм робочого режиму, нагрів провідника може досягати небезпечних значень, що призводить до плавлення або обпалення ізоляції, до деформації і плавлення струмоведучих частин.

Тому провідник чи апарат слід вважати термічно стійким, якщо його температура в процесі КЗ не перевищує допустимих величин. Кількість в провіднику теплоти, що виділилася прийнято характеризувати тепловим імпульсом короткого замикання (або імпульсом квадратичного струму):

$$B_k = \int_0^t i^2 dt. \quad (2.29)$$

В основній кількості існує три характерних випадки: дальнє КЗ, КЗ поблизу генераторів і КЗ поблизу групи потужних електродвигунів.

У першому випадку тепловий імпульс КЗ визначиться так:

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (t_{отк} + T_a); \quad (2.30)$$

де $t_{отк}$ - час відключення (час дії струму КЗ).

В даному випадку обчислимо віддалене КЗ K_1 :

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (t_{отк} + T_a),$$

де $t_{отк}$ – час відключення ([1], таблиця 2.2).

$$\boxed{K_1} \quad B_{k1} = 24.921^2 \cdot (0.2 + 0.3) = 310.53 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}.$$

$$\boxed{K_2} \quad B_{k2} = 23.947^2 \cdot (0.2 + 0.3) = 286.73 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}.$$

Таблиця 2.6 - Результати розрахунків теплових імпульсів

т. КЗ	K_1	K_2
$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	310.53	286.73

2.5 Вибір комутаційного обладнання

Вибір комутаційного обладнання будемо проводити по максимальному робочому струму приєднання, та даними таблиці 2.6.

Проведемо вибір вимикачів та роз'єднувачів для ВРУ 330кВ. Вибираємо елегазовий вимикач типу **362PMI40**.

- за напругою установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (2.31)$$

$$330 \text{ кВ} \leq 330 \text{ кВ}.$$

- за тривалим струмом:

$$I_{роб.мах} \leq I_{ном}; \quad (2.32)$$

$$1.23 \text{ кА} \leq 2 \text{ кА}.$$

Проводимо перевірку:

а) на відключаючу здатність вимикача:

- перевірка на симетричний струм відключення:

$$I_{n.\tau} \leq I_{\text{відк.ном}}; \quad (2.33)$$

$$24.921 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}.$$

- перевірка на відключення аперіодичної складової струму КЗ:

$$i_{a.\tau} \leq i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{\text{відк.ном}}; \quad (2.34)$$

$$13.490 \leq \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 0.45 = 27.5.$$

де β_n – нормативне значення наявності аперіодичної складової у струмі, що відключає,

б) на електродинамічну стійкість:

$$I_{n.0} \leq I_{\text{дин}}; \quad (2.35)$$

$$24.921 \text{ кА} \leq 64 \text{ кА};$$

$$i_y \leq i_{\text{дин}}; \quad (2.36)$$

$$59.121 \text{ кА} \leq 102 \text{ кА}.$$

в) на термічну стійкість:

$$\beta_k \leq I_m^2 \cdot t_m; \quad (2.37)$$

$$310.53 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40^2 \cdot 2 = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вибираємо роз'єднувач типу **SIEMENS P RF/RL**.

- за напругою установки:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (2.38)$$

$$330 \text{ кВ} \leq 330 \text{ кВ}.$$

- за тривалим струмом:

$$I_{\text{роб.мах}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (2.39)$$

$$1.23 \text{ кА} \leq 4 \text{ кА}.$$

Проводимо перевірку:

$$i_y \leq i_{\text{дин}}; \quad (2.40)$$

$$59.121 \text{ кА} \leq 102 \text{ кА}.$$

- на термічну стійкість:

$$\beta_k \leq I_m^2 \cdot t_m; \quad (2.41)$$

$$310.53 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40^2 \cdot 2 = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Аналогічний підбір для інших ділянок. Результати вибору наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Вибір комутаційної апаратури

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	Вимикач	Роз'єднувач
ВРП – 330 кВ	362PMI40	SIEMENS P RF/RL
$U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 363 \text{ кВ}$
$I_{\text{роб.мах}} = 1.23 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 2 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 4 \text{ кА}$
$I_{\text{п.т}} = 23.891 \text{ кА}$	$I_{\text{н.відк}} = 40 \text{ кА}$	—
$i_{\text{а.т}} = 13.490 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{\text{н.відк}} \beta_{\text{н}} = 27.5 \text{ кА}$	—
$I_{\text{п.0}} = 24.921 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 64 \text{ кА}$	—
$i_{\text{у}} = 59.121 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 160 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 286.73 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 1323 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
ВРП – 110 кВ	GL 312 F1/4031 P	РДЗ-110/2000У1
$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 145 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{роб.мах}} = 1.58 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 3.15 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 2 \text{ кА}$
$I_{\text{п.т}} = 23.332 \text{ кА}$	$I_{\text{н.відк}} = 40 \text{ кА}$	—
$i_{\text{а.т}} = 5.662 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{\text{н.відк}} \beta_{\text{н}} = 9.9 \text{ кА}$	—
$I_{\text{п.0}} = 23.947 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$	—
$i_{\text{у}} = 58.721 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 286.73 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

2.6 Техніко-економічне порівняння

$$Z = p_{\text{н}} \cdot K + B + M(3_{\text{с}}) \rightarrow \min \quad (2.42)$$

де $p_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($p_{\text{н}} = 0.15$);

K – капіталовкладення в спорудження електроустановки;

B – річні експлуатаційні витрати;

$M(Z_6)$ – очікуваний збиток від недовідпуску електроенергії.

$$B = \frac{\alpha_a + \alpha_0}{100} \cdot K + \beta \cdot \Delta W \quad (2.43)$$

де $\alpha_a + \alpha_0$ – відрахування на амортизацію і обслуговування, %;

β – вартість 1 кВт · год втрат електроенергії;

ΔW – втрати електроенергії.

$$B = \frac{9.4}{100} \cdot 108540 + 140 \cdot 10900004 \cdot 10^{-5} = 25463 \text{ (тис.грн.)};$$

$$З = 0.12 \cdot 108540 + 25463 = 38488 \text{ (тис.грн.)}.$$

3 ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

3.1 Складові частини КРПЕ

Збірна шина

Збірні шини об'єднують всі комірки розподільчого пристрою в єдину систему. Система збірних шин складається з окремих шинних модулів. Збірні шини мають пофазне виконання. Струмopовідні частини кожного модуля збірної шини монтується на газонепроникних ізоляційних перегородках (бар'єрних ізоляторах), які розділяють окремі відсіки. Модулі збірної шини можуть мати телескопічний монтажний елемент для зручності монтажу шини. Пружинно-телескопічний елемент (компенсатор) на збірних шинах використовується для компенсації будь-яких змін довжини під впливом тиску та перепадів температури на довгих збірних шинах. Струмopовідні частини збірної шини з'єднуються між собою контактними штепселями. Зміни довжини внаслідок перепадів температури, наприклад, між корпусом і окремими провідниками, компенсуються в штепселях і не викликають механічних напружень на ізоляторах.

Вимикач

Вимикач має одну або дві дугогасильні камери компресійного типу для кожного полюса. Головні та дугогасильні контакти в дугогасильній камері розмикаються послідовно відносно один одного. Під час вимкнення короткого замикання дугогасильна камера використовує енергію приводу вимикача разом з енергією електричної дуги, яка генерує інтенсивність потоку гасячого газу.

Привід вимикача

Всі три полюси вимикача керуються окремо за допомогою пружинно-гідравлічних приводів. Пружинно-гідравлічний привід поєднує гідравлічне керування з механічною енергією, що акумулюється в комплекті потужних тарільчастих пружин. Тарільчасті пружини гідравлічно навантажуються для акумулювання енергії приводу. Контакти вимикача замикаються і розмикаються

за допомогою гідравлічного циліндра. Гідравлічний блок має замкнений контур для масла гідросистеми. Таким чином, привід не має зовнішньої системи гідравлічних трубопроводів.

Комбінований роз'єднувач/заземлювач

Комбінований роз'єднувач/заземлювач розміщується в модулі шинних апаратів комірки перед вимикачем і після нього на стороні лінії. Привід та механічна передача роз'єднувача/заземлювача монтуються безпосередньо на корпусі даного модуля КРПЕ. Три рухомих контакти керуються двигуном синхронно за допомогою редуктора та ізолюючої штанги. Залежно від напрямку обертання двигуна контакти переміщуються у положення роз'єднувач увімкнено, заземлювач увімкнено або в нейтральне положення. Спеціальна ручка дозволяє керувати комбінованим роз'єднувачем/заземлювачем вручну. Роз'єднувач/заземлювач має різні варіанти виконання. Він може виконуватися як комбінований роз'єднувач/заземлювач, як роз'єднувач (без заземлювача) або як заземлювач (без роз'єднувача). Залежно від варіантів виконання можна отримати 8 варіантів комутаційного апарату в одному і тому ж корпусі з одним і тим же приводом. Заземлювач у роз'єднувачах/заземлювачах виконується ізольованим. Нерухомий заземлюючий контакт ізолюваний від корпусу модуля ізоляційною вставкою. Заземлення здійснюється ззовні за допомогою заземлюючої пластини. Це рішення відкриває доступ до головного струмового ланцюга без розкриття газового відсіку. Це значно полегшує налаштування та тестування захисних реле, трансформаторів струму, випробування кабелю та локалізацію пошкоджень кабелю.

Швидкодіючий заземлювач

Швидкодіючий заземлювач з включаючою здатністю на КЗ оснащений пружинним приводом. Швидкодіючий заземлювач з включаючою здатністю на КЗ виконується ізольованим. Заземлення виконується зовні за допомогою заземлювальної пластини. Це рішення відкриває доступ до головного струмового кола без відкриття газового відсіку. Це значно полегшує налаштування та тестування захисних реле, трансформаторів струму,

випробування кабелю та локалізацію пошкоджень кабелю. Привід ELK-BEE швидкодіючого заземлювача є частиною апарату ELKA 3.

Бар'єрні ізолятори

Газові відсіки КРПЕ відокремлюються один від одного газонепроникними ізоляційними перегородками. Завдяки цьому, вплив розширень або внутрішніх пошкоджень і КЗ на всю установку зводиться до мінімуму, що значно полегшує управління, контроль та технічне обслуговування. Всі фланцеві з'єднання герметизовані стійкими до старіння гумовими прокладками круглого перерізу. Газонепроникна конструкція ізолятора виключає витікання між

Опорні ізолятори

Опорні ізолятори ELK-ІОЗ використовуються для механічної підтримки струмопровідних частин всередині корпусу КРПЕ.

Трансформатори струму

Стандартний комплект контрольно-вимірювального обладнання КРПЕ передбачає індуктивні трансформатори струму, які використовуються для вимірювань і захисту. Первинна сторона трансформатора струму знаходиться в елегазі. Вторинні обмотки трансформатора струму знаходяться поза елегазовим об'ємом.

Трансформатор напруги

Стандартний комплект контрольно-вимірювального обладнання КРПЕ передбачає індуктивні трансформатори напруги, які використовуються для вимірювань і захисту. Первинні та вторинні обмотки трансформаторів напруги знаходяться в елегазі.

Високовольтний ввід «елегаз-повітря»

Високовольтний ввід «елегаз-повітря» дозволяє підключати КРПЕ до повітряних ліній електропередачі або до високовольтних вводів силових трансформаторів.

Кабельний відсік

Кабельний відсік служить для підключення високовольтного кабелю до КРПЕ.

Вузол прямого приєднання до трансформатора

Вузол прямого приєднання до трансформатора служить для підключення високовольтного вводу трансформатора до КРПЕ.

Поділ на відсіки елегазової системи

Газові відсіки в КРПЕ діляться на два типи. У вимикачах елегаз використовується як ізолююче та гасильне середовище. В інших газових відсіках елегаз служить тільки як ізолююче середовище. Усі газові відсіки відокремлюються один від одного за допомогою бар'єрних ізоляторів. Кожен газовий відсік оснащений штуцерами для підключення монітора щільності елегазу та газотехнологічних пристроїв і приладів. Усі роботи з технічного обслуговування на газовому відсіку (наприклад, відбір проб або регенерація газу) можуть виконуватися без втрати газу. Щільність елегазу контролюється за допомогою моніторів щільності елегазу з температурною компенсацією.

Шафи локального управління

Комірка кожного фідера обладнана шафою місцевого управління, що містить усе допоміжне обладнання для управління, контролю, сигналізації та блокування. Ці пристрої підключаються за допомогою контактних роз'ємів, які не дозволяють їх переплутати.

Конструктивне виконання вимикача

Вимикач функціонує як одиночний переривач з буферним тиском і має дві дугогасильні камери для кожного полюса. При вимкненні короткого замикання буферний вимикач використовує енергію приводу разом з енергією електричної дуги для генерації потоку гасячого газу. Принцип роботи буферного вимикача добре встановлений і використовується по максимуму відповідно до паспортних даних, наведених у документі "Специфікація проекту".

У кожен з трьох алюмінієвих корпусів з однією фазою монтується одне дугогасильне пристрій. Вимикач обладнаний приводом з гідравлічною пружиною типу ELK-HMB8 для кожної фази. Вимикач монтується в горизонтальному положенні на сталевій конструкції комірки. Конструктивне рішення вимикача базується на добре відпрацьованому принципі буферного

вимкнення і використовує новітні розробки в технології фізики гасіння електричної дуги і матеріалів.

Сильнострумові з'єднання від дугогасильного пристрою до фланців виконані як ножовий контакт (на стороні приводу) і як штепсельний контакт (на стороні нерухомого контакту). Це дозволяє витягувати дугогасильний пристрій з бака через фланець на стороні приводу без видалення з'єднань.

Структура комірки складається з двох сталевих профілів, з'єднаних один з одним збоку під час монтажу на місці. Це дозволяє монтувати і вирівнювати нижній двотавровий профіль на підстанції перед встановленням комірки. Завдяки цьому полегшується процес монтажу на місці, досягається мінімальний відсік між комірками і скорочується час на монтаж.

У приводі ELK-HMB8 переваги акумулювання механічної енергії в тарільчастих пружинах поєднані з перевагами передачі гідравлічної енергії. Тарільчасті пружини характеризуються довготривалою стійкістю, високою надійністю і не залежать від змін температури. Спусковий механізм, який використовує клапани і гідравлічний циліндр, базується на існуючих і добре зарекомендованих конструктивних елементах гідравлічних приводів. Загальне число ущільнюючих поверхонь скорочено до абсолютного мінімуму. Скользячі ущільнення під тиском розміщені таким чином, що витікаюча олива зберігається в гідравлічній системі низького тиску.

Кожен вимикач обладнаний пристроєм для скидання тиску на випадок надлишкового тиску всередині бака. Газовий відсік вимикача ізолюваний від інших компонентів бар'єрними ізоляторами (7).

Дугогасильна камера (3) розміщується горизонтально і з'єднується з бар'єрними ізоляторами (7) через відходячі провідники. Вона утримується на місці опорним ізолятором і провідником на стороні нерухомого контакту і монтується або демонтується через фланець на стороні приводу.

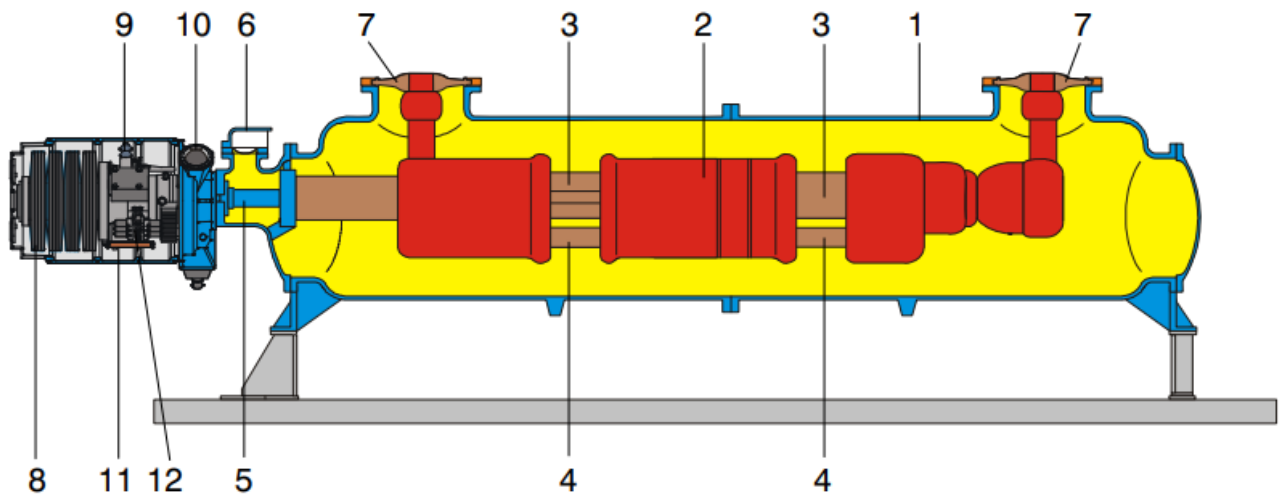


Рисунок 3.1 – Вимикач ELK-SP3

де 1 – Корпус

2 – Елегаз

3 – Дугогасильна камера

4 – Дугогасильна камера

5 – Приводна штанга

6 – Пристрій для скидання тиску

7 – Прохідний ізолятор

8 – Тарільчаста пружина

9 – Кінцевий ударний вимикач

10 – Указівник положення

11 – Блок живлення

12 – Допоміжні вимикачі

Рух, створюваний у приводі, передається приводною штангою (5) через введення вала у внутрішню частину газового відсіку на дугогасильну камеру.

З'єднувач на стороні приводу виконаний у формі ножового контакту, що дозволяє демонтувати дугогасильний пристрій без видалення бар'єрного ізолятора.

Вимикач рисунок 3.1 обладнаний чотирма ідентичними фланцями. Два з них у верхній частині використовуються для безпосереднього підключення

інших модулів КРПЕ. При стандартних конфігураціях ці фланці з'єднуються з трансформаторами струму або з'єднувальними елементами. Відстань між фланцями визначає конфігурацію розподільного пристрою і разом із конструктивними особливостями інших компонентів дозволяє отримувати компактні і виключно вигідні за витратами конфігурації.

Вимикач майже не потребує техобслуговування. Він працює як одиночний вимикач, що має по одному дугогасильному пристрою для кожного полюса. Під час операції розмикання зростання тиску в камері нагрівання створює додатковий потік газу, необхідний для гасіння дуги і відновлення діелектричної міцності.

Привід вимикача сконструйований як окремий вузол і тому легко може демонтуватися для ремонту. Після повторного монтажу регулювання не потребується.

3.2 Принцип дії дугогасильного пристрою

Дугогасильний пристрій керується приводом НМВ8.

Операція ЗАМИКАННЯ

Під час операції "ЗАМИКАННЯ" привід вимикача викликає рух приводної штанги (5) і, отже, рухомих частин двох механічно з'єднаних дугогасильних камер, таких як ізолюючі сопла, допоміжні сопла і продувні циліндри, у напрямку нерухомих контактів. Спочатку встановлюється переддуговий контакт між дугогасильними контактами, що послідовно замикає головні контакти майже при нульовому струмі.

Операція РОЗМИКАННЯ

Розмикання викликається відведенням рухомого контакту в протилежному напрямку. При цьому процесі головні контакти роз'єднуються до виходу з дугогасильних контактів, викликаючи комутацію струму на дугогасильних контактах.

Енергія електричної дуги і рух приводу викликають зростання тиску в буфері. Під час роз'єднання дугогасильних контактів звільняється радіально спрямований струмінь газу через допоміжні і ізолюючі сопла.

На рисунку 3.2 схематично показаний принцип дії одиночної дугогасильної камери на основі буферного поршня. Вид А: дугогасильна камера у положенні спокою при комутаційному стані ВКЛ. Контактне кільце 4 і контактний палець 5 утворюють єдиний провідний вузол. Під час розмикаючого руху (вид В) контактне кільце 4 відділяється від контактного пальця 2. Об'єм для газу в переміщуваному назад буферному циліндрі 7, безперервно зменшується за рахунок стаціонарного буферного поршня 8, що викликає зростання тиску замкненого газу, поки дугогасильні пальцеві контакти 6 теж не відділяться від контактного штиря 1.

Внаслідок цього відділення (вид С) утворюється електрична дуга, яка створює подальше зростання тиску газу в буферному циліндрі 7 внаслідок ефекту локального нагріву від струму КЗ. Завдяки зростанню тиску, стиснений газ спрямовується вздовж електричної дуги через ізолююче сопло 3 або в іншому напрямку через допоміжне сопло 5. Потік елегазу і його здатність проводити тепло гасять енергію електричної дуги і, таким чином, викликають її гасіння при переході струму через нуль. Вид D: дугогасильна камера у положенні спокою при комутаційному стані ВИКЛ.

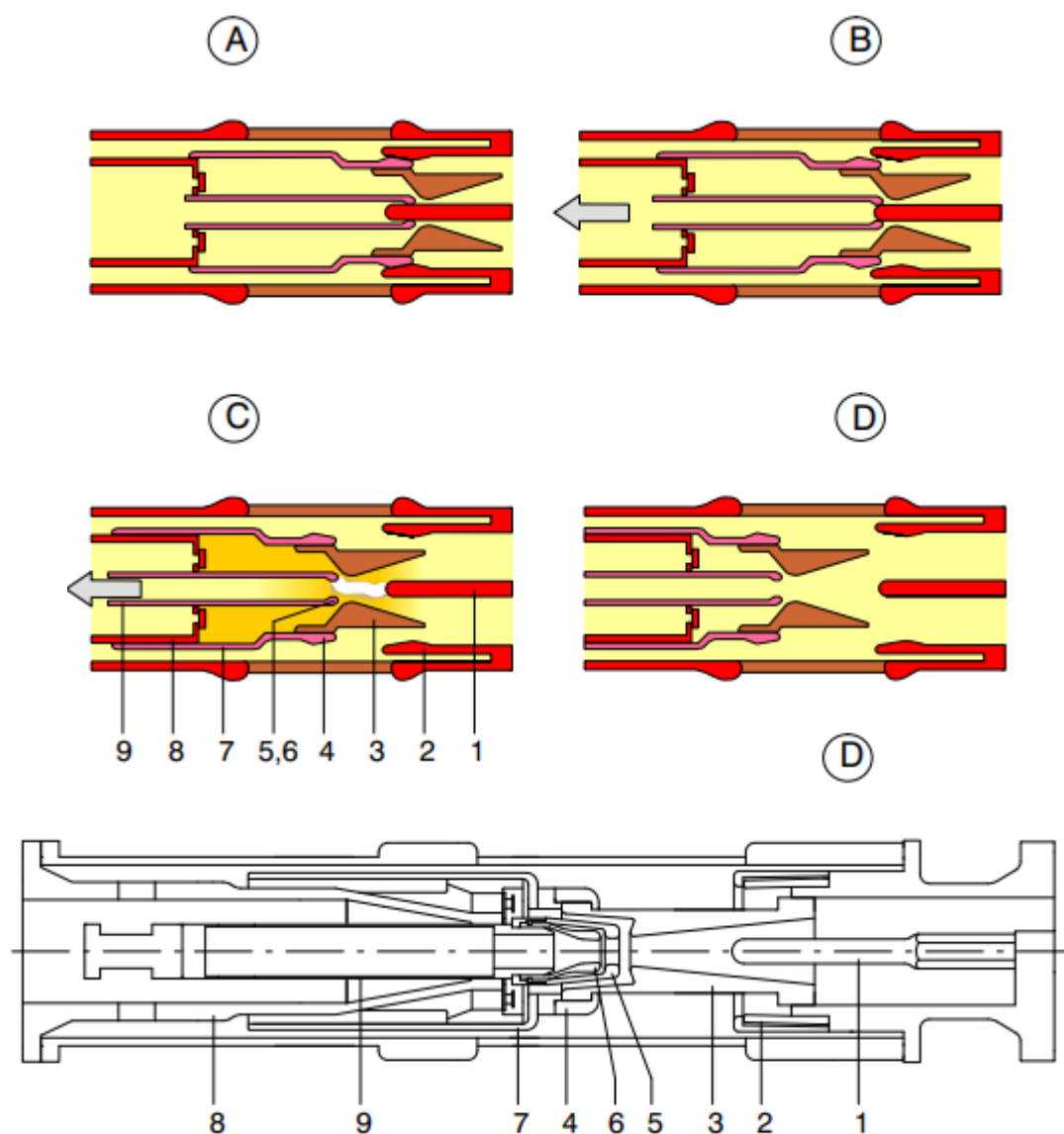


Рисунок 3.2 – Функціональний пристрій дугогасильної камери

- де 1 – Контактний штир
 2 – Контактний палець
 3 – Ізолювальне сопло
 4 – Контактне кільце
 5 – Допоміжне сопло
 6 – Пальцеві контакти
 7 – Буферний циліндр
 8 – Нерухомий буферний поршень
 9 – Вихлоп

Переваги та недоліки елегазового обладнання

Переваги елегазового обладнання:

- елегаз як ізоляційне середовище;
- немає ефекту старіння ізоляції;
- вибухо та пожежонебезпечні;
- відсутність масла та повітря господарства;
- максимальний міжремонтний інтервал;
- малі габарити;
- модульна конструкція;
- висока функціональність;
- висока швидкодія.

Недоліки елегазового обладнання:

- висока вартість;
- заборона викидів елегазу;
- утилізація;
- відсутність вітчизняного виробництва;
- ліцензування на обслуговування та ремонт.

3.3 Аналіз і порівняння КРПЕ з традиційними РУ

Комплектні розподільчі пристрої (КРП) з елегазовою ізоляцією (КРПЕ) з'явилися на світовому ринку наприкінці 60-х років. З тих пір для РУ електроустановок вони займають міцні позиції в практиці промислово розвинених країн. До теперішнього часу накопичений великий, більш ніж 30-річний досвід експлуатації КРПЕ. Настільки швидке і широке впровадження КРПЕ пов'язане головним чином з їх винятковою компактністю, причому без шкоди для інших технічних характеристик. Це дозволяє найбільш раціонально вирішувати проблему придбання земельних ділянок, яка при обґрунтуванні та виборі схем електроустановок нерідко є визначальною.

Вартість комірки КРПЕ, наприклад 220 кВ, оцінюється на світовому ринку в 0,9 - 1,6 млн. дол. Враховуючи площу, займану коміркою з вимикачем відповідного класу напруги, і вартісні характеристики земельних ділянок, виявляється, що навіть з економічної позиції, яка не завжди є основою при виборі майданчика споруди електроустановки, використання КРПЕ в таких випадках є найбільш переважним, а іноді, як наприклад, при спорудженні РУ в обмежених умовах, і єдино можливим рішенням. Крім компактності, для КРПЕ характерні висока надійність, ступінь безпеки для експлуатаційного та ремонтного персоналу та сейсмостійкість, простота монтажу та обслуговування, мала тривалість підготовки майданчика споруди. Для електричного обладнання не існує проблем наведення потужних електричних полів і чутного шуму.

Аналіз показує, що незалежно від організаційної структури галузі і форм власності як основної мети функціонування енергосистем приймають забезпечення надійного електропостачання споживачів при найменших витратах. Для забезпечення надійного і економічного електропостачання енергокомпаніям доводиться домовлятися про спільну мету, забезпечувати взаємний обмін даними для її досягнення, встановлювати загальні критерії надійності і, нарешті, розподіляти справедливим чином вигоду від співпраці. При цьому найбільш пильну увагу приділяється аспектам надійності.

Схеми комутації електроустановок підвищених напруг пріоритетно виділяють серед інших схем. На те мається вагома причина. Електростанції і великі підстанції, будучи опорними комутаційними вузлами внутрішньо- і міжсистемних зв'язків, пунктами з підтримання необхідної якості електроенергії, регуляторами параметрів графіків навантаження енергосистем, роблять помітний вплив на надійність і економічність режимів їх роботи. Тому схеми комутації та відповідні їм конструкції РУ - важливі елементи електроустановок. У цьому зв'язку представляється корисним оцінити досягнутий рівень надійності КРПЕ і виявити додаткові переваги для більш широкого використання в енергосистемах країни даного виду обладнання.

Аналіз практики промислово розвинених країн показує стрімку здачу позицій олійними (баковими), маломасляними, електромагнітними і повітряними (крім генераторних) вимикачами. Навпаки, все більш масове застосування отримують вакуумні (напруга до 36 кВ) і елегазові (до і вище 36 кВ) вимикачі, а також КРПЕ. Ще в 70-х роках була представницька інформація західноєвропейських фірм (виробники у Великобританії, Швейцарії, Франції, ФРН і ін) про випускаються повітряних вимикачах для електроустановок напругою 100-800 кВ. В кінці 80-х років в каталогах тих же виробників фігурували вже, як правило, елегазові вимикачі та КРПЕ. Один з найважливіших показників надійності - параметр потоку відмов ω , що характеризує частоту їх виникнення, 1/рік. Як відомо, у відновлюючих елементів параметр визначається як щільність ймовірності виникнення відмов за розглянутий період.

Отже, для порівняльного аналізу надійності КРПЕ і традиційних РУ основний інтерес представляє параметр потоку відмов. Як вже зазначалося, найбільш критичний з позиції надійності елемент КРПЕ - вимикач і його привід. Їх частка в загальному числі відмов 43,4% (у світі). У табл. 1.1 відображені порівняльні характеристики параметру потоку відмов вимикачів КРПЕ з іншими типами вимикачів. Як видно з даних табл. 1.1, вимикачі КРПЕ мають більш сприятливі характеристики надійності: значення параметра потоку відмов у 1,4-37,0 разів нижчі [3]. Основні елементи КРПЕ (вимикачі, роз'єднувачі, заземлювачі, збірні шини, трансформатори струму та напруги тощо) укладені зазвичай в алюмінієві газощільні захисні кожухи (блоки), чим забезпечується модульний принцип.

Таблиця 3.1 – Значення параметру потоку відмов вимикачів

Номинальна напруга, кВ	Параметр потоку відмов вимикачів, 1/год (відн. од.)		
	КРПЕ	повітряних	масляних
110	0,0073 (1,0)	0,05 - 0,1 (6,85 -13,7)	0,01 - 0,03 (1,4-4,1)
220	0,0043 (1,0)	0,06 - 0,15 (14,0-34,9)	0,01 - 0,07 (2,3 -16,3)
330	0,014 (1,0)	0,07 - 0,2 (5,0-14,3)	...
500	0,0054 (1,0)	0,08 - 0,2 (14,8-37,0)	...
Всього	0,0038	...	...

Захисні кожухи заповнені елегазом. При напрузі 72,5 кВ і більше його надлишковий тиск приймається вище 0,2 МПа. При цьому електрична міцність елегазу перевершує таку для трансформаторного масла. Тим самим елементи КРПЕ надійно захищені від зовнішніх впливів хімічно інертним (при температурі до 150 °С) ізоляційним середовищем. Тому з позицій надійності інших елементів КРПЕ також мають переваги порівняно з РУ з повітряною ізоляцією. До показників надійності також відносять частоту і тривалість планових ремонтів.

Додаткові аргументи на користь більш широкого з позицій надійності використання КРПЕ розглянемо на прикладі досвіду експлуатації найбільших підстанцій 330 - 500 кВ центрально-європейської частини. На зазначених підстанціях встановлені, як правило, повітряні вимикачі, які були зняті з виробництва близько 20 років тому. Для забезпечення надійності функціонування основної електричної мережі виділяються значні ресурси на технічне обслуговування та ремонт зазначених комутаційних апаратів. При плануванні технічного переозброєння електроустановок принципово важливий вибір обладнання, що забезпечує високу надійність, економічність і якість поставляється споживачам електроенергії. На підстанціях експлуатуються повітряні вимикачі 330 - 500 кВ наступних типів: ВВ, ВВН, ВВБ, ВВБК, ВНВ. Кожен з них має ряд істотних недоліків:

- вибухонебезпечність;
- необхідне безперервне охолодження внутрішніх елементів вимикача;
- ненадійна робота вузла засувки в приводі;
- застаріла конструкція;
- значні витоки стисненого повітря і слабка поздовжня ізоляція.

Для повітряних вимикачів необхідні наступні види технічного обслуговування. Один раз на рік проводиться поточний ремонт тривалістю до 7 днів і 1 раз на 8 років - середній ремонт тривалістю до 40 днів. Планові ремонти вимагають великих матеріальних витрат, різко зростаючих із збільшенням термінів служби вимикача. Слід додати, що повітряні вимикачі зняті з серійного виробництва і запасні частини до них або не випускаються (ВВН), або виробляються під замовлення, що істотно збільшує їх вартість. Нарешті, на закінчення представляється корисним коротко торкнутися техніко-економічні аспекти оцінки ефективності використання КРПЕ, оскільки до цих пір існує думка про надмірно високу вартість даного обладнання. Порівняння витрат на КРПЕ і на традиційні РУ за розрахунковий термін служби дає переваги першим. У табл. 3.2 наведено відповідне співставлення без урахування вартості землі та надійності.

Таблиця 3.2 - Витрати на КРПЕ і на традиційні РУ

Складові витрат	Витрати, %			
	110-145 кВ		420 кВ	
	Традиційний РУ	КРПЕ	Традиційний РУ	КРПЕ
Одночасні першопочаткові витрати	100,0	113,7	100,0	86,7
<u>В тому числі:</u>				
електрообладнання	37,9	67,9	32,3	42,8
пристрої захисту, контролю і керування	12,5	9,0	12,4	8,9
транспорт, монтаж, пусконаладжуючі роботи, ввпробування	15,7	11,4	27,7	15,5
вантажопідйомні й земляні роботи, фундаменти	25,8	3,9	22,0	6,0
споруди і будівлі	3,2	18,9	2,8	11,9
інші	4,9	2,6	2,8	1,6
Приведенні за 30 років виробничі витрати	29,6	4,0	26,5	5,2
Всього	129,6	117,7	126,5	91,9

Структура витрат на РУ

Як видно з даних табличних даних [3], витрати на елегазове обладнання в 1,3 - 1,8 рази вищі, ніж на традиційне. Проте облік інших факторів, що впливають (монтаж, транспорт і ін) призводить до переваги КРПЕ у всьому діапазоні підвищених напруг. У міру зростання номінальної напруги мережі співвідношення вартостей традиційного і розглянутого елегазового обладнання

швидко зближується. Стосовно до вітчизняних умов, звичайно, необхідно брати до уваги більш низькі відрахування на заробітну плату персоналу в структурі виробничих витрат.

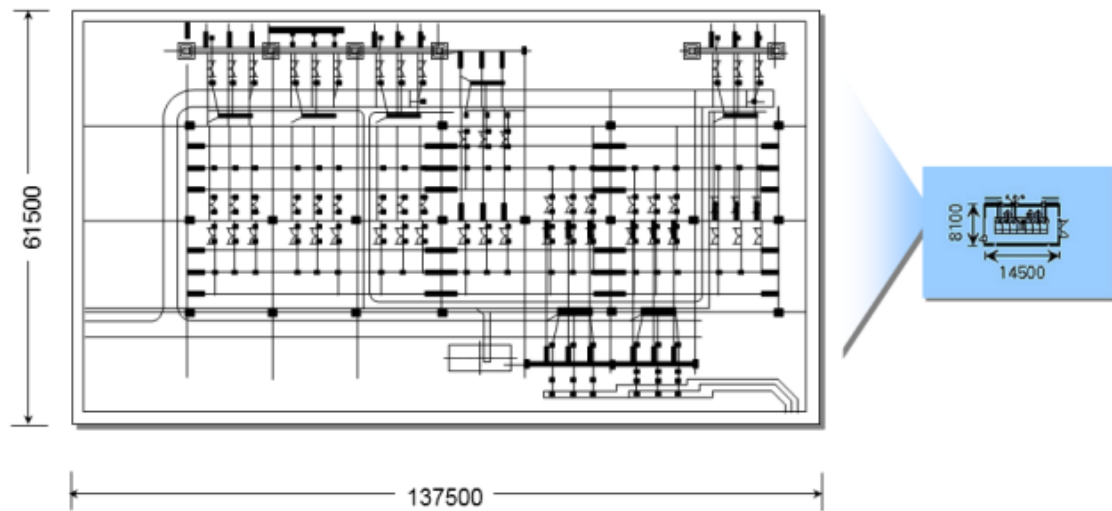


Рисунок 3.4 – ВРП 245кВ/КРПЕ Siemens 8DN9 на 245кВ. Відношення площ 1:50

Вартість обладнання КРПЕ, безсумнівно, вища, ніж підстанції з повітряною ізоляцією, через герметичний металевий корпус, загальних витрат за весь термін служби і високотехнологічної заводської збірки. Установка КРПЕ обійдеться дешевше, ніж підстанції з повітряною ізоляцією. Витрати з розміщення для КРПЕ будуть набагато нижче ніж для підстанції з повітряною ізоляцією через набагато меншу площу, необхідну для КРПЕ. Перевага розміщення обладнання КРПЕ зростає із збільшенням системної напруги, оскільки високовольтні ВРП (відкриті розподільні пристрої) займають велику територію через значні повітряні ізоляційні проміжки. Спочатку, при порівнянні витрат для КРПЕ прогнозувалося, що повна встановлена базова вартість КРПЕ буде дорівнює витратам на ВРП в 330 кВ. Для більш високих напруг вартість КРПЕ, як очікувалося, менше, ніж ВРП. Однак вартість підстанції з повітряною ізоляцією була значно знижена через технічного і виробничого удосконалення (особливо для вимикачів) за останні 30 років, а обладнання КРПЕ при цьому не показало будь-яких скорочень вартості до недавнього часу. Отже, КРПЕ, хоча вже довгий час є добре відомою

технологією з доведеною високою надійністю і практично не потребує обслуговування, в даний час сприймається як дороге устаткування і застосовується тільки в особливих випадках, коли простір є найбільш важливим фактором. В даний час вартість КРПЕ знижується за рахунок функцій інтеграції (подвійна система шин, окреме розміщення вимикача). Оскільки цифрові системи управління стають більш поширеними в підстанціях, дорогі електромагнітні ТС і ТН в КРПЕ будуть замінені на менш дорогі трансформатори, такі як: оптичний трансформатор напруги і трансформатор струму з котушкою Роговського. Ці недорогі датчики ще й набагато менше, що скорочує розміри КРПЕ і дозволяє більшій кількості відсіків КРПЕ поставлятися повністю зібраними. Вартість розміщення і монтажу відповідно нижче. Переваг КРПЕ над підстанціями з повітряною ізоляцією все більше. КРПЕ можуть тепер застосовуватися для будь-якої нової або для розширення вже існуючої підстанції без збільшення її площі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розроблені заходи з охорони праці під час модернізації системи керування електропривода ескалатора. Шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал підприємства [1, 2]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Перед допуском до роботи на комутаційних апаратах з дистанційним керуванням слід виконати такі технічні заходи:

- вимкнути допоміжні кола (керування, сигналізації, підігрівання та ін.) і силові кола приводу;
- зачинити засувки на трубопроводі подавання повітря в баки вимикачів або на пневматичні приводи та випустити в атмосферу повітря, яке в них містилось; у цьому разі спускні пробки (клапани) залишаються у відкритому положенні;

- привести в неробоче положення вмикальний вантаж або вмикальні пружини;

- вивісити плакати "Не вмикати! Працюють люди" - на ключах дистанційного керування і "Не відкривати! Працюють люди" - на закритих засувках.

Для пробних вмикань і вимикань комутаційного апарата без подавання робочої напруги під час його налагоджування та регулювання допускається тимчасове вмикання допоміжних і силових кіл приводу, а також подавання повітря в привод та на вимикач. У цьому разі слід зняти плакати "Не вмикати! Працюють люди" та "Не відкривати! Працюють люди". Дистанційно вмикати та вимикати комутаційний апарат під час його випробовування дозволяється оперативним та оперативно-виробничим працівникам, якщо це обумовлено нарядом в "Окремих вказівках. Після випробування, у разі необхідності продовження роботи на комутаційному апараті, черговий або з його дозволу керівник робіт повинен виконувати вимоги цих Правил.

Підніматись на повітряний вимикач, що перебуває під робочим тиском, дозволяється тільки під час випробування та виконання налагоджувальних робіт (регулювання демпферів, знімання віброграм, під'єднання провідників до вимірювальних приладів або їх від'єднання, визначення місць витікання повітря тощо). Забороняється підніматись на вимкнений повітряний вимикач з повітрянаповненим віддільником, якщо віддільник перебуває під робочим тиском.

Перед підніманням на повітряний вимикач для проведення випробувань та налагодження необхідно:

- вимкнути кола керування;
- заблокувати кнопку місцевого керування та пускові клапани (наприклад, від'єднати повітровідні трубки, замкнути шафи тощо) або поставити біля вимикача проінструктованого члена бригади, який допускав би до оперування вимикачем (після вмикання кіл керування) за вказівкою керівника робіт тільки одного працівника. У разі перебування працівників на повітряному вимикачі,

що знаходиться під тиском, слід припинити усі роботи в шафах керування і розподільчих.

Забороняється перебування працівників біля повітряних вимикачів під час їх вимикання і вмикання, налагодження та випробування. Команду на виконання операцій повітряним вимикачем у разі проведення випробних і налагоджувальних робіт керівник робіт (або уповноважений ним член бригади) повинен подавати тільки після того, як всі члени бригади будуть відведені від вимикача на безпечну відстань або в укриття.

У разі допуску до роботи, пов'язаної з перебуванням працівників всередині повітрозбірників, необхідно:

- закрити засувки повітропроводів, по яких може бути подано повітря, зачинити їх на замок, вивісити на засувках плакати "Не відкривати! Працюють люди";
- випустити в атмосферу повітря, що перебуває під тиском в повітрозбірнику, залишивши відкритим спускний клапан;
- від'єднати від повітрозбірника повітропровід подавання повітря і встановити на ньому заглушки.

Нульовий показ манометрів на баках вимикачів та повітрозбірниках не може бути вірогідною ознакою відсутності в них стисненого повітря. Для того, щоб зняти кришки лазів, безпосередньо перед відгвинчуванням болтів та гайок необхідно відкрити спускні клапани або засувки і переконатись у відсутності стисненого повітря. Спускні клапани або засувки дозволяється закривати тільки після загвинчування всіх болтів та гайок, що кріплять кришку лазу.

У разі виконання роботи у відсіку комірки КРП необхідно:

- викотити візок з обладнанням;
- зачинити на замок шторку відсіку, в якому струмовідні частини залишились під напругою та вивісити плакат "Стій! Напруга";
- вивісити плакат "Працювати тут" у відсіку, де треба буде працювати.

У разі виконання роботи поза КРП на підімкненому до нього обладнанні або на ПЛ і КЛ, що відходять, візок з вимикачем необхідно викотити з комірки;

шторку або дверці зачинити на замок та вивісити на них плакат "Не вмикати! Працюють люди" або "Не вмикати! Робота на лінії". У цьому разі допускається:

- за наявності блокування (блоківки) між заземлювальними ножами та візком з вимикачем - встановлювати візок в контрольне положення після вмикання цих ножів;

- за відсутності такої блокування або заземлювальних ножів в комірках КРП - встановлювати візок в проміжне положення між контрольним та викоченим за умови зачинення комірки КРП на замок. Візок може встановлюватись у проміжне положення незалежно від наявності заземлення на приєднанні. Встановлювати заземлення в комірці КРП у разі виконання роботи на ПЛ, що відходять, необхідно з урахуванням вимог цих Правил.

Встановлювати в контрольне положення візок з вимикачем для випробування та роботи в колах керування і захисту дозволяється в тих випадках, коли роботи поза КРП на ПЛ і КЛ, що відходять, або на підімкненому до них обладнанні, враховуючи механізми, з'єднані з електродвигунами, не проводяться або встановлено заземлення в комірці КРП.

Приміщення РУ з елегазовим обладнанням слід обладнати примусовою вентиляцією. Забороняється виконувати будь-яку роботу доти, доки не буде забезпечено п'ятикратний обмін повітря в цьому приміщенні протягом однієї години. Наявність електричного газу можна перевірити за допомогою викритого вогню (сірник, свічка тощо) на рівні підлоги.

Розкривання полюсів електричного газу необхідно проводити на відкритому повітрі. Якщо розкривання полюсів виконується в приміщенні, слід застосовувати спеціальну установку з вакуумним пристроєм, що забезпечує відсмоктування електричного газу з робочого місця.

Якщо в процесі розкривання полюсів електричного газу будуть виявлені продукти розпаду електричного газу (білий порошок), їх необхідно зібрати пилососом, застосовуючи змінні фільтри.

4.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання, яке використовується для виконання робіт з модернізації, та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [4, 5]:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких

тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; показчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення. Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [7]:

Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C.

Якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

Для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [6]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 4.2.

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [7]. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

Таблиця 4.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньодобова	
Оксид вуглецю		20	4
Пил нетоксичний	4	4	4

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати металевий пил якнайчастіше, щодня протирати гарячі поверхні, при високих концентраціях пилу обробляти запилені поверхні по частинам. Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу під час прибирання.

4.2.3 Виробниче освітлення

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків: 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, а у 20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і розумову працездатність.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характеристика зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	Світлий середній темний	400	200	4	2,4

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

4.2.4 Виробничий шум

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні наведено в таблиці 4.4.

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.2.5 Виробнича вібрація

Присутня вібрація типу – За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 4.5.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3^*}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$
Локальна вібрація										

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують «Правила пожежної безпеки в Україні» та інші правила пожежної безпеки для промислових підприємств і окремих об'єктів [11, 12]. Визначення пожежо-вибухонебезпечності речовин і матеріалів здійснюється за рекомендаціями [13], а, відповідно, категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок, де вони використовуються, зберігаються тощо, за [14].

Приміщення Дністровської ГАЕС за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що

зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Будівля ГАЕС характеризується ІІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІІ ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.6.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	Стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.8 (знаменник).

Таблиця 4.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

На території ГАЕС встановлено 49 вогнегасників ВП-5(8).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Інтернет джерело: Гексафторид сірки, Точка доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гексафторид_сірки (07.06.2024).
- [2] Інтернет джерело: Офіційний сайт компанії АБВ, Точка доступу: <https://library.abb.com/r?cid=9AAC710000&dk=leaflet> (07.06.2024).
- [3] Wang, J., Wang, P., Chen, W., Wan, F., Lu, Y., Tang, Z., ... & Zhang, Z. (2023). Highly sensitive multi-pass cavity enhanced Raman spectroscopy with novel polarization filtering for quantitative measurement of SF6 decomposed components in gas-insulated power equipment. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 380, 133350.
- [4] Інтернет джерело: Офіційний сайт компанії АБВ, Точка доступу: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home.html> (07.06.2024).
- [5] ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
- [6] ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
- [7] НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.
- [8] ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
- [9] НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

- [10] ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
- [11] ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
- [12] ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
- [13] ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.
- [14] ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
- [15] НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
- [16] ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
- [17] ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
- [18] ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
- [19] ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.
- [20] Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської дипломної роботи було досліджено роботу та структурний склад розподільчих пристроїв. У роботі розглянуто наступні аспекти:

У першому розділі було наведено опис основних характеристик Дністровської ГАЕС, також було проаналізовано розвиток елегазового обладнання.

У другому розділі було виконано розрахунок по вибору обладнання розподільчого пристрою Дністровської ГАЕС виконано перевірку проектного обладнання на термічної стійкості динамічну стійкість до струмів КЗ.

У третьому розділі проведено порівняльну характеристику елегазового обладнання з обладнанням інших типів.

У четвертому розділі розглянуто заходи щодо забезпечення охорони праці на Дністровській ГАЕС.

ДОДАТКИ

Додаток А – Вихідні дані

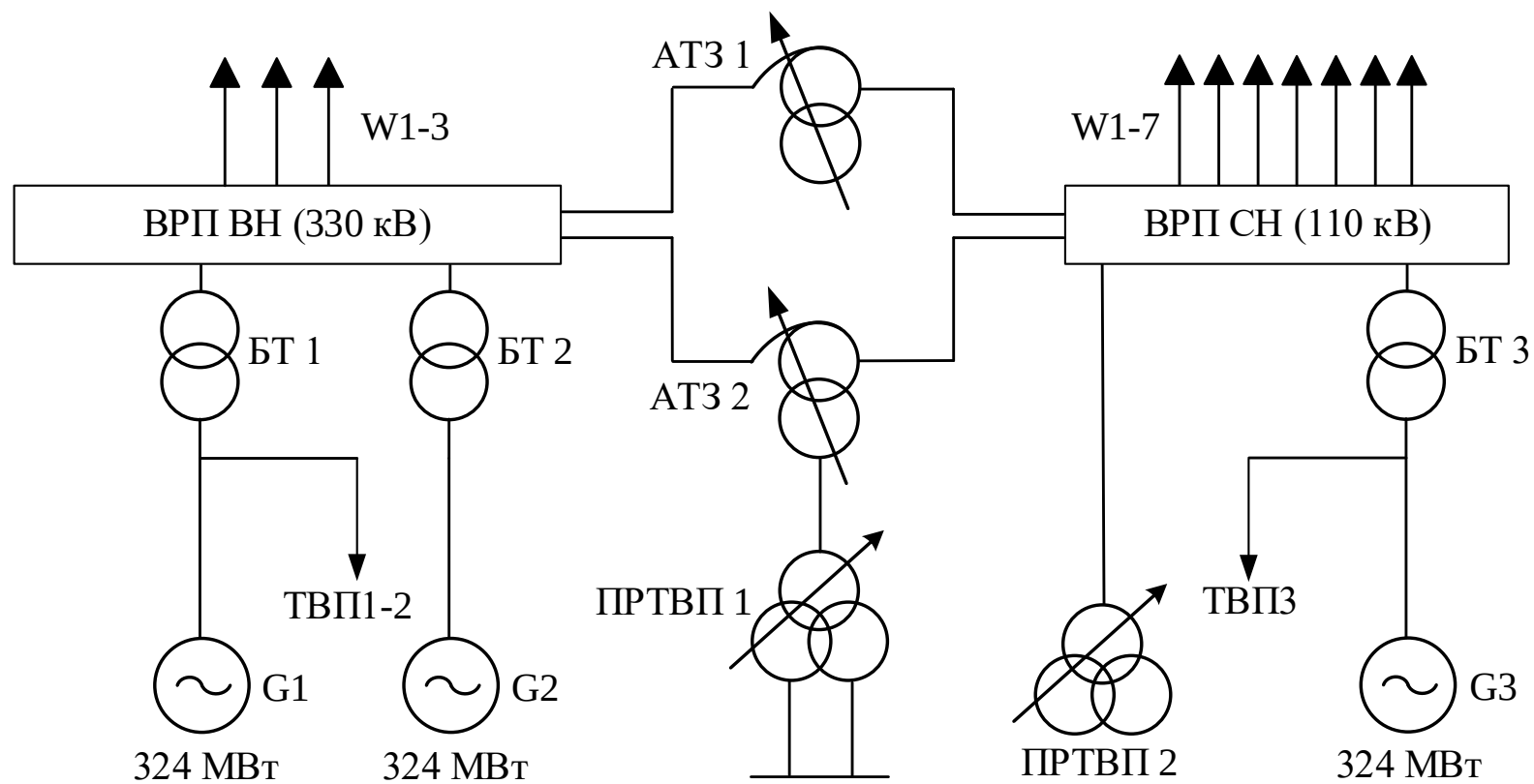


Рисунок А.1 – Структурна схема Дністровської ГАЕС



Рисунок А.2 - Добовий графік потужності, яка віддається в місцевий район

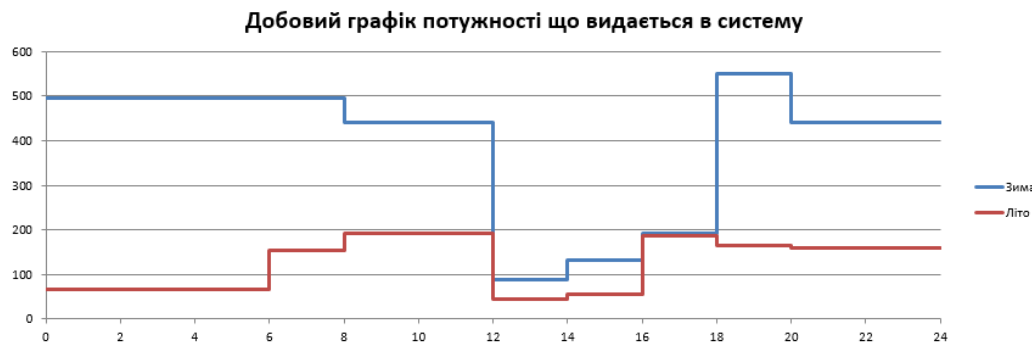
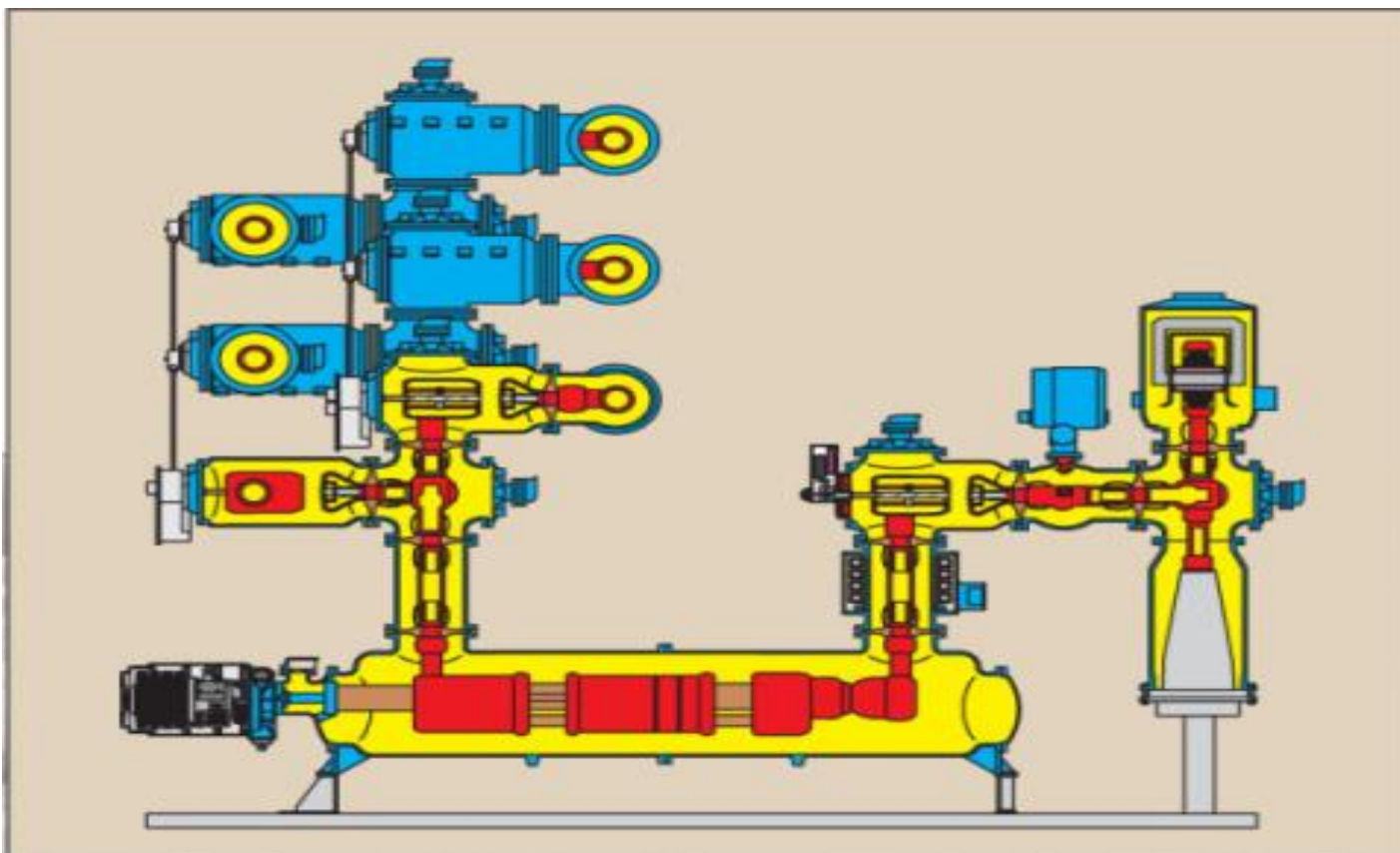


Рисунок А.3 - Добовий графік потужності, яка віддається в систему



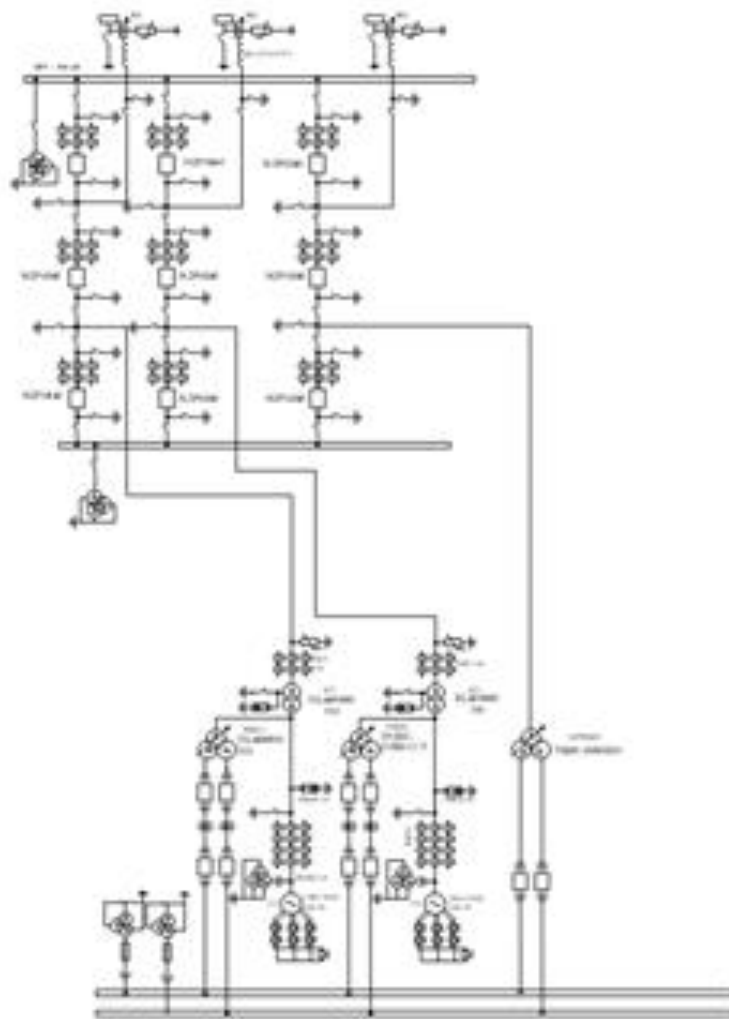
Рисунок А.4 – Графік сумарної потужності, що віддається з шин станції
 Синій графік – багатоводний режим, червоний графік – низьководний режим

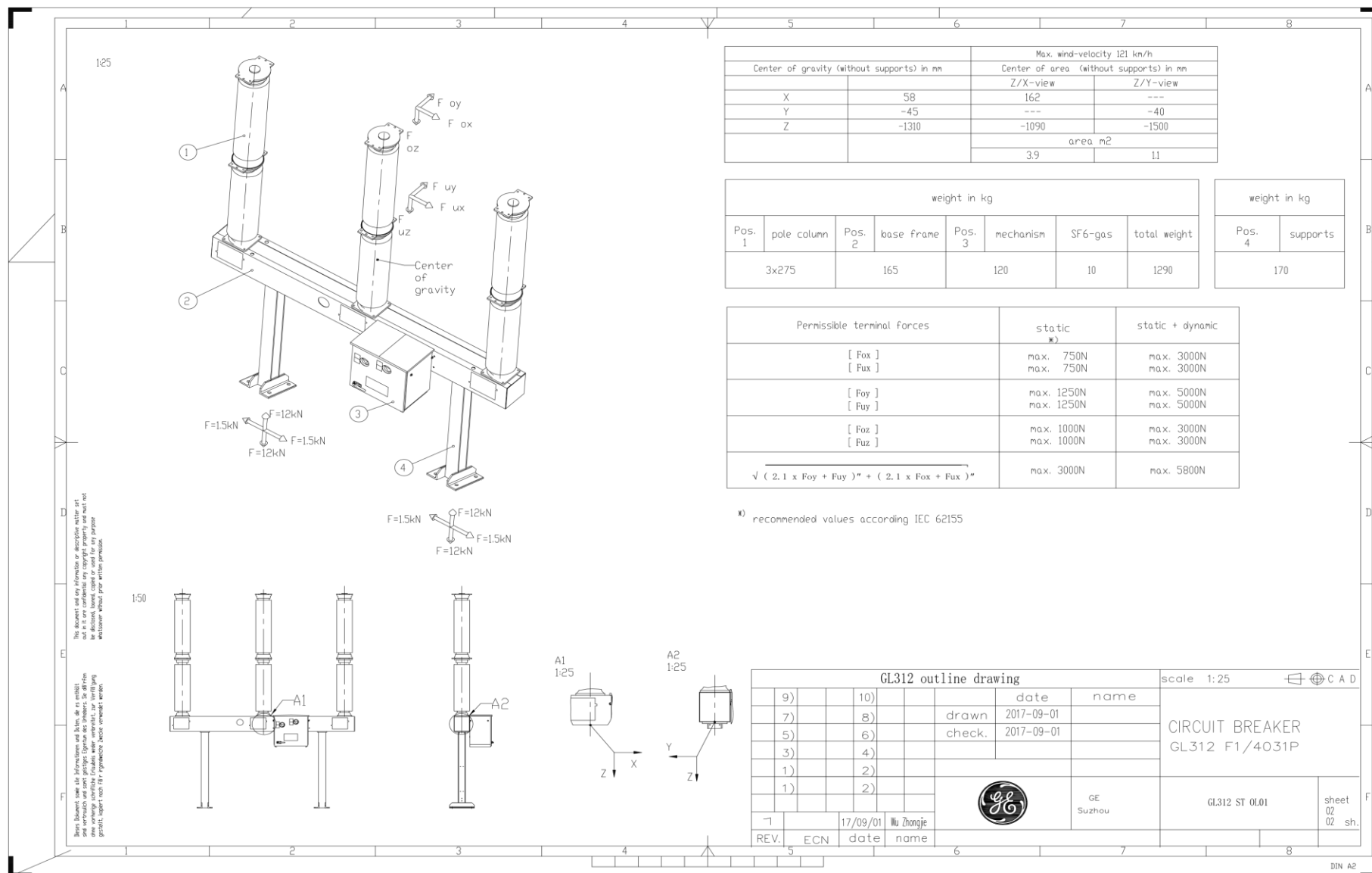
Додаток Б - Компонування розподільного пристрою в розрізі



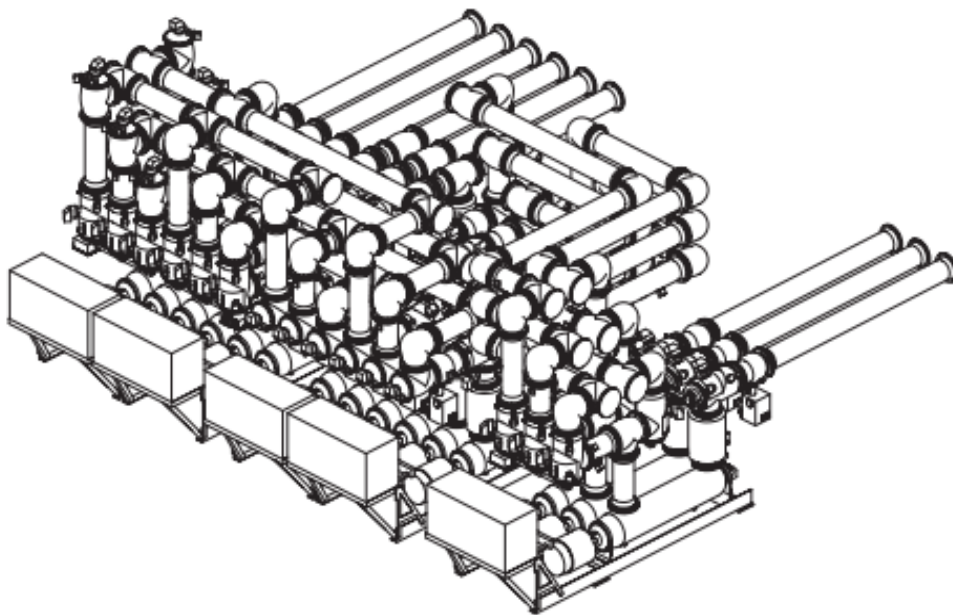
Додаток В – Однолінійна схема ДГАЕС

Однолінійна схема ГАЕС

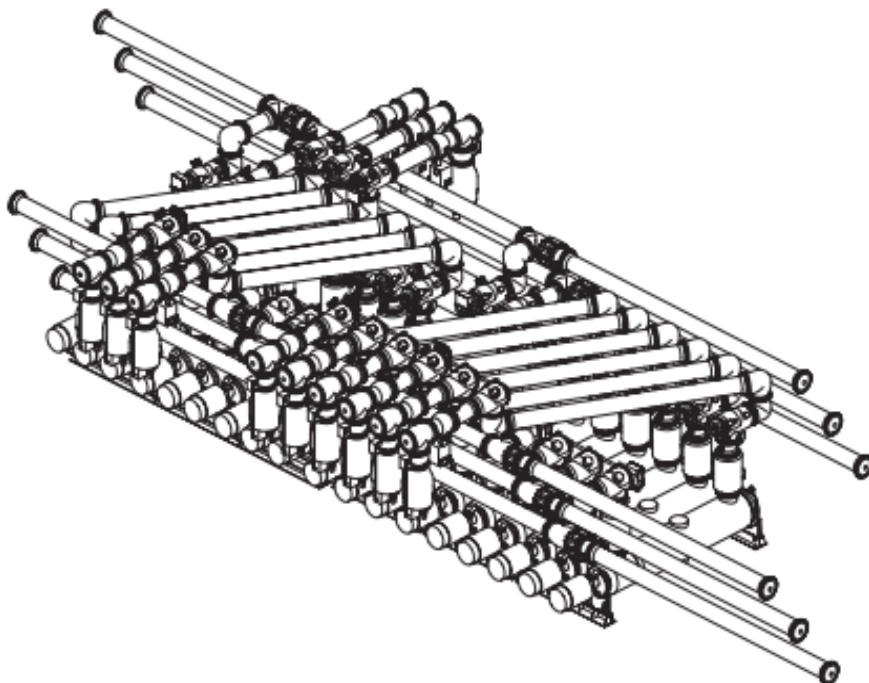




Додаток Д – Види конфігурацій розподільчих пристроїв



Double busbar layout



1 1/2-breaker layout

Автор роботи _____ Рожко І. О.
 (підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Лобода Ю. В.
 (підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток Ж – Презентаційні матеріали

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Доповідь до бакалаврської дипломної роботи

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Дослідження технологічних інновацій у сфері елегазових розподільчих пристроїв
Дністровської гідроакумулюючої електричної станції: використання новітніх матеріалів та
конструкційних рішень"

Виконав: студент 2_ курсу, групи Е-22мс
Спеціальність 141 «Електроенергетика,
електротехніка
та електромеханіка
Освітня програма "Електроенергетика та
електротехніка»

Рожко І.О.

Керівник

Лобода Ю. В.

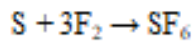
Вінниця – 2024 року

- **Актуальність роботи.** Сучасне суспільство безперервно прагне до розвитку та забезпечення стабільності в енергетичному секторі. Ростуть потреби у високоефективних та надійних технологіях для забезпечення електропостачання та функціонування електричних мереж. Один із напрямів цього розвитку - застосування елегазового обладнання, яке відзначається своєю ефективністю та екологічністю.
- **Метою даної дипломної роботи** є вивчення та аналіз можливостей застосування елегазового обладнання в електроенергетиці. Робота спрямована на дослідження технічних характеристик та переваг елегазових пристроїв, а також їхніх перспектив в сучасних та майбутніх електричних мережах.
- Важливість проведення такого дослідження обумовлена постійним розвитком технологій та потребою у забезпеченні стабільності енергетичних систем. Результати роботи можуть стати важливим внеском у розвиток електротехнічної галузі та знайти практичне застосування в енергетичних підприємствах.
- **Предметом дослідження** є елегазове обладнання для побудови розподільчих пристроїв високої напруги.
- **Методи дослідження.** Дослідження елементів розподільчого пристрою на Дністровській ГАЕС з використанням сучасних методів, які використовуються в проектній практиці і які передбачають використання загальних методів електротехніки.

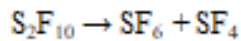
Відомості про елегаз

Гексафторид сірки - це неорганічна речовина, один з фторидів сірки, при нормальних умовах — важкий газ, в'ятеро важчий за повітря. Сполуку було вперше отримано і описано в 1900 році Анрі Муассаном в ході робіт з вивчення хімії фтору.

Можливе отримання гексафториду сірки з простих речовин:



Також гексафторид сірки утворюється при розкладанні складних фторидів сірки:

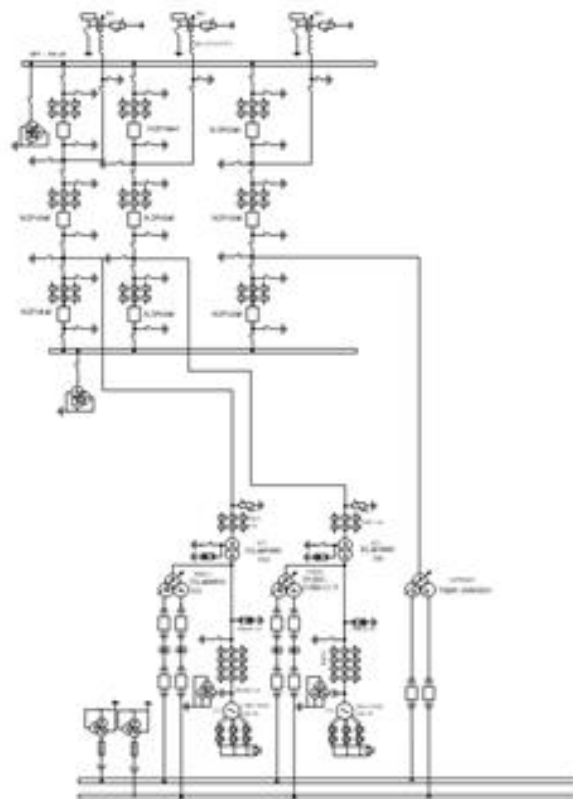


Фізико-хімічні властивості елегазу:

Практично безбарвний газ, має високу пробивну напругу (89 кВ/см). Електрична міцність елегазу залежить від тиску, вона в 2–4 рази вище, ніж у повітря.

У ньому міститься 21,95 % сірки і 78,05 % фтору. При нормальному тиску елегаз може перебувати в будь-якому з трьох агрегатних станів при температурі до мінус 50,8 °С.

Однолінійна схема ГАЕС



Таблиця критеріїв вибору комутаційної апаратури

Проведемо вибір вимикачів та роз'єднувачів для ВРУ 330кВ. Вибираємо елегазовий вимикач типу 362РМІ40.

- за напругою установки:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$330 \text{ кВ} \leq 330 \text{ кВ}$$

- за тривалим струмом:

$$I_{\text{роб. макс}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$1.23 \text{ кА} \leq 2 \text{ кА}$$

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	Вимикач	Роз'єднувач
ВРУ – 330 кВ	362РМІ40	SIEMENS P RF/RL
$U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 363 \text{ кВ}$
$I_{\text{роб. макс}} = 1.23 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 2 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 4 \text{ кА}$
$I_{\text{н.т}} = 23.891 \text{ кА}$	$I_{\text{н.кл.м}} = 40 \text{ кА}$	—
$i_{\text{н.т}} = 13.490 \text{ кА}$	$I_{\text{н.кл.м}} \beta_n = 27.5 \text{ кА}$	—
$I_{\text{н.0}} = 24.921 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 64 \text{ кА}$	—
$i_y = 59.121 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 102 \text{ кА}$	$i_{\text{ном}} = 160 \text{ кА}$
$B_k = 286.73 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2_{\text{терт.тер}} = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2_{\text{терт.тер}} = 1323 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
ВРУ – 110 кВ	GL 312 F1/4031 P	РДЗ-110/2000У1
$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 145 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{роб. макс}} = 1.58 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 3.15 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 2 \text{ кА}$
$I_{\text{н.т}} = 23.332 \text{ кА}$	$I_{\text{н.кл.м}} = 40 \text{ кА}$	—
$i_{\text{н.т}} = 5.662 \text{ кА}$	$I_{\text{н.кл.м}} \beta_n = 9.9 \text{ кА}$	—
$I_{\text{н.0}} = 23.947 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 40 \text{ кА}$	—
$i_y = 58.721 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{ном}} = 100 \text{ кА}$
$B_k = 286.73 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2_{\text{терт.тер}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2_{\text{терт.тер}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

ПОРІВНЯННЯ МІЖ РІЗНИМИ ВИДАМИ РОЗПОДІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОДНАКОВУ НАПРУГУ

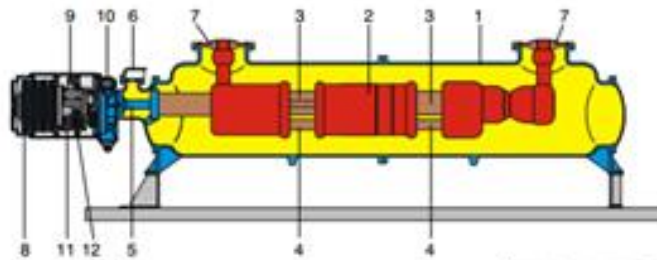


КРИВОРІЗЬКА ВРУ 330 кВ



ДНІСТРОВСЬКА ГЕС КРПЕ 330 кВ

Вимикач елегазовий ELK-SP3



1 – корпус, 2 – елегаз, 3 – дугогасяча камера, 4 – вирівнюючий конденсатор, 5 – штага приводу 6 – прилад для скидання тиску, 7 – прохідний ізолятор, 8 – тарілчата пружина, 9 – кінцевий ударний вимикач 10 – показчик положення, 11 – блок живлення, 12 – допоміжний вимикач



Вигляд з середини КРПЕ ДГЕС з вимикачем ELK-SP3

НОРМИ ТА КОМФОРТНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Як згадувалось вище елегазове обладнання має компактність та модульність, що це приносить для робочого персоналу?

В першу чергу – модульність системи дозволяє швидко та якісно провести заміну та ремонт. Завдяки цьому аспекту ми скорочуємо час, кошти та сили витрачені на проведення робіт із заміни та ремонту. Також завдяки даним конструкційним рішенням вдалось мінімізувати витoki елегазу, що позитивно впливає на навколишнє середовище, та встановити віддалені системи моніторингу, що дозволяють перевіряти наявність відхилень від експлуатаційних норм та завчасно усунути їх. Якщо всі роботи виконувати вчасно та якісно елегазове обладнання буде служити дуже довгий термін.



Елегазові розподільчі пристрої мають надзвичайно високу надійність. Вони працюють безперервно протягом тривалого часу, забезпечуючи стабільну подачу електроенергії. Це досягається завдяки застосуванню елегазу як ізоляційного середовища, яке є стійким до перепадів температури, вологості та тиску.

Елегазові розподільчі пристрої також є дуже ефективними. Вони мають низькі втрати енергії, що робить їх економічно вигідними. Також, вони мають менший розмір та вагу в порівнянні з іншими типами розподільчих пристроїв, що спрощує їх установку та експлуатацію.

Порівняльна характеристика елегазового обладнання

Вартість комірки КРУЕ, наприклад 220 кВ, оцінюється на світовому ринку в 0,9 - 1,6 млн. дол. Враховуючи площу, займану коміркою з вимикачем відповідного класу напруги, і вартісні характеристики земельних ділянок, виявляється, що навіть з економічної позиції, яка не завжди є основою при виборі майданчика споруди електроустановки, використання КРПЕ в таких випадках є найбільш переважним, а іноді, як наприклад, при спорудженні РУ в обмежених умовах, і єдино можливим рішенням

Схеми комутації електроустановок підвищених напруг пріоритетно виділяють серед інших схем. На те мається вагома причина. Електростанції і великі підстанції, будучи опорними комутаційними вузлами внутрішньо- і міжсистемних зв'язків, пунктами з підтримання необхідної якості електроенергії, регуляторами параметрів графіків навантаження енергосистем, роблять помітний вплив на надійність і економічність режимів їх роботи.

Аналіз практики промислово розвинених країн показує стрімку здачу позицій олійними (баковими), маломасляними, електромагнітними і повітряними (крім генераторних) вимикачами. Навпаки, все більш масове застосування отримують вакуумні (напруга до 36 кВ) і елегазові (до і вище 36 кВ) вимикачі, а також КРПЕ.

Отже, для порівняльного аналізу надійності КРПЕ і традиційних РУ основний інтерес представляє параметр потоку відмов. Як вже зазначалося, найбільш критичний з позиції надійності елемент КРПЕ - вимикач і його привід. Їх частка в загальному числі відмов 43,4% (у світі)

Висновки

У ході виконання бакалаврської дипломної роботи було досліджено роботу та структурний склад розподільчих пристроїв. У роботі розглянуто наступні аспекти:

У першому розділі було наведено опис основних характеристик Дністровської ГАЕС, також було проаналізовано розвиток елегазового обладнання.

У другому розділі було виконано розрахунок по вибору обладнання розподільчого пристрою Дністровської ГАЕС виконано перевірку проектного обладнання на термічної стійкості динамічну стійкість до струмів КЗ.

У третьому розділі проведено порівняльну характеристику елегазового обладнання з обладнанням інших типів.

У четвертому розділі розглянуто заходи щодо забезпечення охорони праці на підприємстві