

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

До захисту допущено

кафедрою електротехніки та електроенергетики протокол № _____ від _____

завідувач кафедри _____ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Реконструкція електричної частини системи власних потреб АЕС потужністю
4000 МВт
(тема роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

Здобувач _____ Олександр ЗАЄЦ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Ірина ПАНТЄЛЄЄВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

Харків – 2026

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Артем ЧЕРНІЮК

(ім'я, прізвище)

(підпис)

«20» 06 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

ЗАЙЦЯ Олександра Федоровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

1. Тема роботи: Реконструкція електричної частини системи власних потреб
АЕС потужністю 4000 МВт

керівник роботи Пантелєєва Ірина Вікторівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом по Університету від «15» грудня 2025 року,

№ 4801-5/4399

2. Строк подання здобувачем роботи: «20» червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: технологічний процес, характеристика
електрообладнання, рівні струмів КЗ від системи; параметри та типи
електричних апаратів, які встановлені; потужність механізмів, що встановлені

4. Характеристики системи власних потреб станції; аналіз існуючого
обладнання; реконструкція ділянки системи власних потреб; перевірка
потужності силових трансформаторів; аналіз існуючої схеми електричних

з'єднань; розрахунок струмів КЗ; вибір та перевірка комутаційних та вимірювальних апаратів; розробка питань, пов'язаних з охороною праці.

5. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристики системи власних потреб станції	15.02-20.02	
2	Опис та вихідна характеристика схеми та обладнання ділянки системи ВП	21.02-03.03	
3	Вибір силових трансформаторів	04.03-10.03	
4	Розрахунок струмів коротких замикань	11.03-25.03	
5	Вибір та перевірка високовольтних вимикачів всіх рівнів напруги	26.03-12.04	
6	Вибір та перевірка роз'єднувачів для всіх РП	13.04-23.04	
7	Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів струму	24.04-07.05	
8	Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів напруги	08.05-20.05	
9	Вибір та перевірка струмоведучих частин	21.05-30.05	
10	Охорона праці	31.05-06.06	
11	Оформлення пояснювальної записки	07.06-19.06	

6. Дата видачі завдання: « 15 » 02 2026 року

Здобувач вищої освіти _____ Олександр ЗАЄЦЬ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Ірина ПАНТЄЛЄВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи з теми «Реконструкція електричної частини системи власних потреб АЕС потужністю 4000 МВт» виконаної студентом
Олександром ЗАЙЦЕМ

Бакалаврська робота виконана на 48 сторінок, містить 8 таблиць, 9 рисунків, що характеризують результати дослідження, використано літературних джерел 6.

Досвід експлуатації енергоблоків, а також аналіз аварійних ситуацій показує, що саме системи власних потреб часто є вразливою ланкою при розвитку аварій, зокрема при повній втраті зовнішнього живлення. Це обумовлює необхідність удосконалення схем електропостачання власних потреб, впровадження сучасних комутаційних апаратів, засобів автоматизації, резервування та швидкодіючого автоматичного введення резерву.

Таким чином, реконструкція електричної частини системи власних потреб АЕС потужністю близько 4000 МВт є актуальним науково-технічним завданням, спрямованим на підвищення надійності, безпеки та ефективності роботи атомної електростанції в цілому.

Об'єктом дослідження є електрична частина окремої ділянки системи власних потреб Рівненської АЕС, яка включає джерела живлення, розподільчі пристрої, комутаційне обладнання та мережі внутрішнього електропостачання.

Мета бакалаврської кваліфікаційної роботи є підвищення надійності та ефективності функціонування системи власних потреб атомної електростанції потужністю близько 4000 МВт шляхом розроблення та обґрунтування технічних рішень щодо реконструкції її електричної частини.

Ключові слова: власні потреби станції, атомна електрична станція, схема живлення, джерела живлення, механізми власних потреб, надійність

ABSTRACT

to the bachelor's qualification work on the topic "Reconstruction of the electrical part of the system of own needs of a 4000 MW NPP" performed by student

Oleksandr ZAYTS

The bachelor's work is completed on 48 pages, contains 8 tables, 9 figures that characterize the results of the study, literary sources 6 were used.

Experience in operating power units, as well as analysis of emergency situations, shows that it is the systems of own needs that are often a vulnerable link in the development of accidents, in particular in the event of a complete loss of external power. This necessitates the improvement of power supply schemes for own needs, the introduction of modern switching devices, automation, backup and high-speed automatic input of reserve.

Thus, the reconstruction of the electrical part of the NPP's own needs system with a capacity of about 4,000 MW is an urgent scientific and technical task aimed at increasing the reliability, safety and efficiency of the nuclear power plant as a whole.

The **object** of the study is the electrical part of a separate section of the Rivne NPP's own needs system, which includes power sources, switchgear, switching equipment, and internal power supply networks.

The **purpose** of the bachelor's qualification work is to increase the reliability and efficiency of the functioning of the self-use system of a nuclear power plant with a capacity of about 4,000 MW by developing and justifying technical solutions for the reconstruction of its electrical part.

Keywords: own needs of the station, nuclear power plant, power supply scheme, power sources, mechanisms of own needs, reliability

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВСТУП

1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ АЕС

1.1. Характеристика схеми та обладнання атомної електростанції

1.2. Характеристика схеми та обладнання системи власних потреб АЕС

1.3. Опис та вихідна характеристика схеми та обладнання ділянки системи

ВП

2. РЕКОНСТРУКЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДІЛЯНКИ

СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ АЕС

2.1. Розрахунок електричних навантажень ділянки власних потреб

2.2. Перевірка силових трансформаторів підстанції власних потреб

3. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

4. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ ТА СТРУМОВЕДУЧИХ ЧАСТИН У СИСТЕМІ ДІЛЯНКИ ВП

4.1. Вибір високовольтних вимикачів

4.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму (ВТС)

4.3. Вибір та перевірка електричних апаратів напругою 0,38/0,22 кВ

4.4. Вибір та перевірка струмоведучих частин

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Реконструкція електричної частини системи власних потреб АЕС потужністю 4000 МВт	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	заєц							
Перевір.	пантелєєва							
Н. Контр.								
Затверд.	ЧЕРНЮК							

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- АЕС - атомна електростанція
РП - розподільчий пристрій
ВП - власні потреби
ВРП - відкритий розподільчий пристрій
ЛЕП - лінія електропередачі
ВН - висока напруга
СН - середня напруга
НН - низька напруга
КЗ - коротке замикання
АПВ - автоматичне повторне вмикання
ПЛ - повітряна лінія
ТВП - трансформатор власних потреб
РТВП - резервний трансформатор власних потреб
РЩ - розподільний щит
ТПВП - трансформаторна підстанція власних потреб

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВСТУП

Системи власних потреб атомних електростанцій (АЕС) є критично важливою складовою їх функціонування, оскільки забезпечують живлення допоміжного обладнання, необхідного для підтримання безпечної та безперервної роботи енергоблоків. Особливої ваги набуває надійність електропостачання власних потреб АЕС великої потужності (близько 4000 МВт), де навіть короткочасне порушення живлення може призвести до серйозних технічних і безпекових наслідків.

В умовах сучасного розвитку енергетики України, зростання вимог до надійності, безпеки та енергоефективності, а також з урахуванням необхідності інтеграції в європейський енергетичний простір, існуючі системи власних потреб багатьох енергоблоків потребують модернізації. Значна частина обладнання морально та фізично застаріла, що знижує рівень надійності електропостачання та ускладнює забезпечення нормативних показників якості електроенергії.

Крім того, досвід експлуатації енергоблоків, а також аналіз аварійних ситуацій показує, що саме системи власних потреб часто є вразливою ланкою при розвитку аварій, зокрема при повній втраті зовнішнього живлення (blackout). Це обумовлює необхідність удосконалення схем електропостачання власних потреб, впровадження сучасних комутаційних апаратів, засобів автоматизації, резервування та швидкодіючого автоматичного введення резерву.

Таким чином, реконструкція електричної частини системи власних потреб АЕС потужністю близько 4000 МВт є актуальним науково-технічним завданням, спрямованим на підвищення надійності, безпеки та ефективності роботи атомної електростанції в цілому.

Метою дипломної роботи є підвищення надійності та ефективності функціонування системи власних потреб атомної електростанції потужністю близько 4000 МВт шляхом розроблення та обґрунтування технічних рішень щодо реконструкції її електричної частини.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Дослідження виконується на прикладі Рівненської АЕС (потужність 3000 МВт), що зумовлено необхідністю адаптації існуючої системи власних потреб до підключення нових електроспоживачів на окремих ділянках електропостачання. Збільшення кількості та потужності допоміжного обладнання, пов'язаного з модернізацією технологічних процесів, впровадженням сучасних систем безпеки та автоматизації, призводить до зростання навантажень і потребує перегляду схемних рішень системи власних потреб.

Об'єктом дослідження є електрична частина окремої ділянки системи власних потреб Рівненської АЕС, яка включає джерела живлення, розподільчі пристрої, комутаційне обладнання та мережі внутрішнього електропостачання. Особлива увага приділяється аналізу режимів роботи, забезпеченню надійності електропостачання відповідальних споживачів та оцінці можливостей підвищення ефективності функціонування системи в умовах зростаючих навантажень.

Предмет дослідження — режими роботи, параметри та процеси функціонування електричної частини системи власних потреб АЕС, а також методи та технічні рішення її реконструкції, спрямовані на забезпечення надійного електропостачання споживачів з урахуванням підключення додаткових навантажень.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ АЕС

1.1. Характеристика схеми та обладнання атомної електростанції

Рівненська атомна електростанція, яка розглядається як приклад для подальшого розглядання, розташована у північно-західній частині України, на території Рівненської області, поблизу міста Вараш (рис.1.1). Станція знаходиться на березі річки Стир, яка використовується як джерело технічного водопостачання для охолодження енергетичного обладнання. Вибір місця розташування обумовлений сприятливими природно-кліматичними умовами, наявністю водних ресурсів, а також дотриманням вимог ядерної та радіаційної безпеки щодо віддаленості від густонаселених територій.



Рисунок 1.1 – Місце розміщення АЕС

У безпосередній близькості до станції розташоване місто-супутник Вараш, яке забезпечує проживання персоналу та інфраструктурне обслуговування об'єкта. На відстані близько 10–15 км знаходиться селище Рафалівка, приблизно за 18 км — селище Володимирець, а найближчим значним містом є Сарни, розташоване на відстані близько 60 км. Таке розміщення відповідає вимогам санітарно-захисних зон та забезпечує належний рівень безпеки для населення.

Електрична частина Рівненської АЕС характеризується наявністю кількох рівнів напруги, що забезпечують як передачу виробленої

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

електроенергії до енергосистеми, так і живлення власних потреб станції. Генераторна напруга для енергоблоків з реакторами типу ВВЕР-440 становить 6 кВ, а для блоків з реакторами ВВЕР-1000 — 10 кВ. Видача потужності здійснюється в мережі напругою 220 кВ та 500 кВ, що забезпечує зв'язок із регіональними та магістральними електричними мережами України. Система власних потреб реалізована на рівнях напруги 6 кВ для живлення основних електричних приймачів, зокрема потужних електродвигунів, а також 0,4 кВ для живлення допоміжного обладнання та систем автоматизації.

Таким чином, Рівненська АЕС є важливим енергетичним об'єктом з розвиненою електричною інфраструктурою, яка забезпечує надійне функціонування як процесів генерації електроенергії, так і систем власних потреб, що є ключовими для безпечної експлуатації станції.

Технічне водопостачання, що забезпечує функціонування водо-водяних енергетичних реакторів, організоване за замкненим циклом циркуляції води. У системі використовується спеціально сформоване водосховище-охолоджувач, яке створене шляхом відокремлення мілководної ділянки природної водойми за допомогою дамб, що дозволяє підтримувати необхідні теплотехнічні параметри та підвищує ефективність охолодження обладнання.

Кожен енергоблок цієї атомної електростанції виконаний за моноблочною схемою і включає реакторне та турбінне відділення, що функціонально поєднані в єдиний технологічний комплекс. З метою забезпечення надійного та безперервного електроживлення передбачено використання трьох автономних резервних дизельних електростанцій типу АСД-5600 для кожного енергоблоку. Номінальна потужність кожної резервної установки становить 5,6 МВт, що дозволяє гарантувати живлення відповідальних споживачів у разі втрати зовнішнього електропостачання [1].

Кожний енергоблок атомної електростанції функціонує за двоконтурною теплотехнічною схемою, в якій перший контур є радіаційно небезпечним і повністю герметизованим. До його складу входить водо-

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

водяний енергетичний реактор тепловою потужністю близько 3000 МВт, а також чотири паралельні циркуляційні петлі системи охолодження. Теплоносій першого контуру — демінералізована вода під високим тиском (приблизно 16 МПа) — безперервно прокачується через активну зону реактора за допомогою головних циркуляційних насосів, забезпечуючи відведення тепла та підтримання стабільних теплових режимів роботи установки.

З боку електричної частини атомна електростанція оснащена розвиненим комплексом розподільчих пристроїв і енергетичного обладнання, що забезпечує як видачу потужності в енергосистему, так і надійне живлення власних потреб. До складу електричного обладнання входять чотири турбогенератори, кожен з яких працює через два підвищувальні (блочні) трансформатори, загальна кількість яких становить вісім одиниць. Видача електроенергії здійснюється через розподільчі пристрої напругою 220 кВ та 500 кВ, що забезпечують зв'язок станції з магістральними мережами.

Для живлення допоміжних механізмів передбачено систему власних потреб генераторних блоків, а також окремі системи власних потреб розподільчих пристроїв 220 кВ і 500 кВ. Надійність електропостачання підвищується за рахунок наявності резервної системи власних потреб, яка забезпечує живлення відповідальних споживачів у аварійних режимах. Крім того, для узгодження рівнів напруги та забезпечення перетоків потужності між мережами різних класів напруги використовується автотрансформатор зв'язку 220/500 кВ.

Схема електричних з'єднань АЕС, яка розглядається як база для проєктування, представлена на рис. 1.2.

Далі проведемо характеристику та аналіз системи власних потреб об'єкту, який проєктується.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

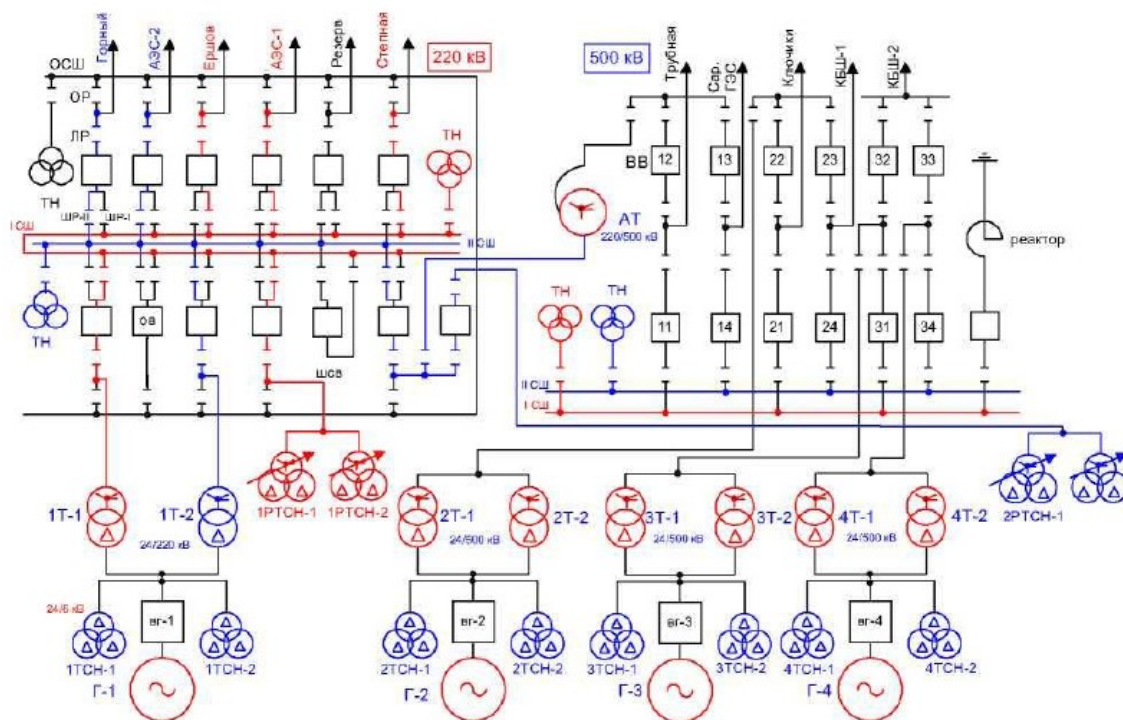


Рисунок 1.2 - Схема електричних з'єднань АЕС

1.2. Характеристика схеми та обладнання системи власних потреб АЕС

Система власних потреб атомної електростанції охоплює сукупність технічних засобів і інженерних систем, що забезпечують безперервне та надійне функціонування всіх її елементів у нормальних і аварійних режимах роботи [2].

До її складу входять системи електропостачання власних потреб, водопостачання і водовідведення, вентиляції та кондиціювання повітря, пожежного захисту, автоматизованого контролю й управління технологічними процесами, засоби зв'язку та диспетчеризації, а також інше допоміжне обладнання, необхідне для підтримання технологічного циклу електростанції.

Також до складу системи власних потреб атомної електростанції можуть входити медико-санітарні та лабораторні підрозділи, житлові об'єкти для обслуговуючого персоналу, складські комплекси, а також різноманітні допоміжні та виробничо-технічні приміщення.

На основі проведеного аналізу схеми основних електричних з'єднань атомної електростанції встановлено, що система власних потреб має ієрархічну структуру та включає кілька взаємопов'язаних функціональних підсистем, які забезпечують надійне електроживлення всіх технологічних об'єктів як у нормальних, так і в аварійних режимах роботи.

До складу системи власних потреб даної АЕС входять такі основні складові:

- система власних потреб генераторних блоків, яка забезпечує живлення допоміжного обладнання енергоблоків (насоси, приводи, системи охолодження, автоматика тощо) та є критичною для підтримання безперервності технологічного процесу виробництва електроенергії;

- система власних потреб розподільчих пристроїв напругою 220 кВ та 500 кВ, що призначена для забезпечення функціонування комутаційного обладнання, релейного захисту, автоматики, систем керування та моніторингу у вузлах видачі потужності;

- резервна система власних потреб, яка виконує функцію гарантованого електроживлення відповідальних споживачів у разі втрати основного живлення та забезпечує підвищення надійності й живучості станції в цілому.

Така структурна побудова системи власних потреб дозволяє забезпечити високий рівень надійності електропостачання, оперативність керування та безпечну експлуатацію атомної електростанції.

Структурна схема мережі живлення 6 кВ системи власних потреб АЕС, представлена в роботі на рис. 1.3.

Надалі електроживлення споживачів власних потреб здійснюється від мережі напругою 0,38/0,22 кВ через силові понижувальні трансформатори власних потреб (ТСН), які забезпечують необхідний рівень напруги для допоміжного обладнання.

Отже, основна частина споживачів системи власних потреб атомної електростанції живиться від мережі середньої напруги 6 кВ, що дозволяє

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

забезпечити ефективне та надійне електропостачання технологічних установок.

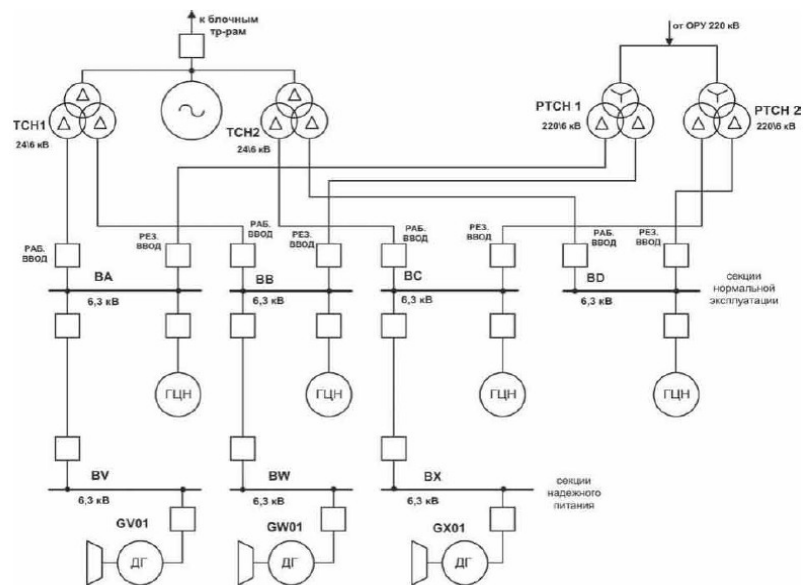


Рисунок 1.3 – Структурна схема живлення мережі 6 кВ власних потреб

Водночас окрему групу становлять високовольтні електродвигуни, що належать до системи власних потреб АЕС і застосовуються для приводу різноманітних механізмів та технологічного обладнання, зокрема насосів, вентиляторів, компресорів та інших подібних установок.

Електродвигуни цієї групи підключаються до мереж високої напруги та характеризуються підвищеною енергоефективністю і надійністю в роботі. Для їхнього захисту від перевантажень, коротких замикань та інших аварійних режимів використовуються спеціалізовані пристрої релейного захисту і комутаційна апаратура. Окрім цього, високовольні електродвигуни можуть залучатися до виконання відповідальних функцій, зокрема для забезпечення пуску генераторів електростанції в умовах втрати зовнішнього електропостачання.

Загалом споживачі системи власних потреб класифікуються за призначенням на три категорії, що визначаються вимогами до надійності електроживлення та особливостями технологічного процесу.

До першої категорії відносять найбільш відповідальних споживачів, для яких неприпустиме аварійне відключення, тому їх електроживлення

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

повинно забезпечуватися щонайменше від двох незалежних джерел. У межах цієї категорії окремо виділяється група особливо відповідальних споживачів, що забезпечують роботу критично важливих механізмів АЕС; для них передбачається додаткове, третє, джерело гарантованого (безперебійного) електропостачання.

Ключовими елементами системи власних потреб АЕС є дизель-генераторні установки (ДГУ) та резервні акумуляторні батареї. ДГУ забезпечують аварійне електроживлення обладнання станції у разі втрати як основного, так і резервного зовнішнього живлення, гарантуючи підтримання роботи найбільш відповідальних споживачів.

Акумуляторні батареї призначені для безперебійного живлення систем керування, релейного захисту, автоматики та сигналізації при знеструмленні, а також використовуються для забезпечення надійного пуску і запуску дизель-генераторних установок.

До складу найбільш відповідального обладнання системи власних потреб АЕС також належать системи охолодження, вентиляції, протипожежного захисту та подачі води до реакторних установок, від надійності функціонування яких безпосередньо залежить безпечна експлуатація енергоблоків.

Споживачі другої категорії надійності забезпечують електроживлення важливих, але менш критичних установок і механізмів. До цієї групи належать, зокрема, лабораторії контролю та вимірювань, окремі резервні системи живлення, а також інше допоміжне обладнання, відмова якого не призводить до негайної аварійної ситуації, але може впливати на ефективність роботи станції.

Як зазначалося раніше, електроживлення розподільчої мережі споживачів власних потреб на території АЕС може здійснюватися за двома основними схемами:

– безпосередньо від шин напругою 6 кВ системи власних потреб;

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– через понижувальні трансформатори 6/0,4 кВ, які живляться від мережі ВП і забезпечують подальше розподілення електроенергії споживачам низької напруги.

Перший варіант схеми використовується для живлення кінцевих споживачів власних потреб, розрахованих на напругу 6 кВ, тоді як другий варіант призначений для забезпечення електроживлення споживачів низької напруги 0,4 кВ через понижувальні трансформатори.

Отже, у роботі виконано аналіз структури системи ВП та здійснено класифікацію її споживачів за категоріями надійності електропостачання.

З урахуванням наведених положень у подальшому розділі роботи представлено опис та технічну характеристику ділянки системи власних потреб, що підлягає реконструкції в межах даного проєкту.

1.3. Опис та вихідна характеристика схеми та обладнання ділянки системи ВП

У межах даної роботи досліджується ділянка системи власних потреб АЕС, яка віднесена до II категорії надійності. Це означає, що обладнання цієї ділянки не належить до найбільш відповідальних споживачів і не входить до групи особливої надійності.

Електрообладнання розглянутої ділянки функціонує на рівні напруги 0,38/0,22 кВ та отримує живлення від трансформаторної підстанції власних потреб (ТПВП), що забезпечує розподіл електроенергії серед відповідних споживачів.

Трансформаторна підстанція власних потреб виконана у закритому виконанні з герметизованою конструкцією та оснащена комплектними розподільчими пристроями: на стороні 6 кВ — шафами КРП, а на стороні 0,4 кВ — шафами низької напруги.

На підстанції встановлено два силові трансформатори сухого типу ТСГЛ-630/6. Порівняно з масляними трансформаторами, такі агрегати характеризуються підвищеним рівнем пожежної та вибухової безпеки, що

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

робить їх доцільними для застосування у складі ТПВП, особливо в умовах підвищених вимог до безпеки на об'єктах атомної енергетики.

У схемі ТПВП передбачено необхідний рівень резервування за рахунок живлення від двох незалежних джерел електропостачання. Секційний вимикач на стороні 0,4 кВ у нормальному режимі перебуває у відключеному стані та автоматично вмикається під дією пристрою автоматичного ввімкнення резерву (АВР). У результаті забезпечується відновлення електроживлення секції збірних шин 0,4 кВ, яка втратила основне джерело живлення.

Від ТПВП 6/0,4 кВ, що обслуговує розглянуту ділянку АЕС, здійснюється електроживлення споживачів лабораторій. Далі наведено їх коротку характеристику.

Лабораторії атомної електростанції призначені для виконання необхідних аналізів і контролю якості матеріалів, ядерного палива та води, а також для зберігання відповідних зразків і реагентів, що використовуються у процесі експлуатації станції [3].

На атомній електростанції функціонують такі основні лабораторні підрозділи:

- лабораторія радіаційного контролю (ЛРК), яка здійснює моніторинг радіаційного стану як у межах промислового майданчика, так і в навколишньому середовищі, а також контролює рівні опромінення персоналу й стан обладнання;

- лабораторія хімічного аналізу (ЛХА), що виконує контроль якості води, ядерного палива, мастил та інших матеріалів, які використовуються в технологічних процесах станції;

- лабораторія метрології та калібрування (ЛМК), призначена для перевірки, калібрування та забезпечення необхідної точності вимірювальних приладів і засобів контролю.

При цьому передбачається введення в експлуатацію нового обладнання ВП із підключенням його до існуючої системи електропостачання ВП.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Розподіл електроенергії до споживачів здійснюється через щити власних потреб, які живляться від двох секцій збірних шин 6 кВ трансформаторної підстанції системи власних потреб.

Від першої секції збірних шин забезпечується живлення відповідної групи споживачів:

- ЩВП-ЛРК-1 – перший щит власних потреб лабораторії радіаційного контролю;
- ЩВП-ЛРК-2 – другий щит власних потреб лабораторії радіаційного контролю.

Живлення зазначених споживачів забезпечується від другої секції збірних шин трансформаторної підстанції системи власних потреб, а саме:

- ЩВП-ЛХА — щит власних потреб лабораторії хімічного аналізу;
- ЩВП-ЛМК — додатковий щит власних потреб лабораторії метрології та калібрування.

Вихідні параметри споживачів, зокрема їх встановлені номінальні потужності, що живляться від ТПВП 6/0,4 кВ розглянутої ділянки АЕС, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Вихідні дані споживачів (включно з новими), які отримують живлення від ТПВП-6/0,4 кВ аналізованої ділянки системи власних потреб

Найменування споживача	Рном, кВт		Існуючий/новий (РЩ)
ЗШ-1 6 кВ			
ЩВП-ЛРК-1			
РЩ-1	11,0		Існуючий
РЩ-2	50,0		Існуючий
РЩ-3	30,0		Існуючий
РЩ-4	1,5		Існуючий
РЩ-5	1,5		Новий

Усього по ЩВП-ЛРК-1	94,0		-
ЩВП-ЛРК-2			
РЩ-6	11,0		Існуючий
РЩ-7	50,0		Існуючий
РЩ-8	30,0		Існуючий
РЩ-9	1,5		Існуючий
РЩ-10	1,5		Існуючий
РЩ-11	5,50		Новий
РЩ-12	37,0		Новий
Усього по ЩВП-ЛРК-2	136,5		-
Усього по ЗШ-1-6 кВ	230,5		-
ЗШ-2 6 кВ			
ЩВП-ЛХА			
РЩ-13	15,0		Існуючий
РЩ-14	15,0		Існуючий
РЩ-15	7,5		Існуючий
РЩ-16	5,5		Існуючий
РЩ-17	7,5		Новий
РЩ-18	1,5		Новий
РЩ-19	5,5		Новий
Всього по ЩВП-ЛХА	57,5		-
ЩВП-ЛМК			
РЩ-20	30,0		Існуючий
РЩ-21	30,0		Існуючий
РЩ-22	110,0		Існуючий

Всього по ЩВП-ЛМК	170,0		-
Всього по ЗШ-2-6 кВ	227,5		-
Освітлення	18,5		-
Всього по ТПВП	402,6		-

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. РЕКОНСТРУКЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДІЛЯНКИ СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ АЕС

2.1. Розрахунок електричних навантажень ділянки власних потреб

Для здійснення повного розрахунку електричних навантажень у системі власних потреб необхідно виконати наступні дії [4,5]:

- провести визначення сумарної потужності, що споживається всіма електричними приймачами даної ділянки власних потреб;
- виконати оцінювання максимальної потужності споживання ділянки власних потреб у режимі пікових навантажень;
- визначити середньодобову величину споживаної потужності, що припадає на ділянку власних потреб;
- розрахувати річну споживану потужність;
- виконати визначення потрібної потужності генераторної установки, призначеної для електропостачання ділянки власних потреб.
- здійснити вибір і монтаж генераторної установки відповідної потужності;
- за потреби передбачити встановлення автоматичного перемикача, який забезпечує автоматичне переключення живлення на генератор у випадку зникнення напруги в основній електромережі.

Оскільки у вихідних даних роботи задано встановлені проєктні потужності електричних навантажень електричної частини ділянки власних потреб атомної електростанції, більшість параметрів, необхідних для повного розрахунку навантажень, уже визначені.

У зв'язку з цим у роботі застосовується спрощений підхід до розрахунку електричних навантажень об'єкта — метод упорядкованих діаграм [6].

Алгоритм розрахунку передбачає послідовне визначення навантажень: спочатку обчислюються розрахункові навантаження окремих розподільчих щитів, далі — відповідних щитів власних потреб, після чого — секцій

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

збірних шин напругою 6 кВ живильної ТПВП-6/0,4 кВ. На завершальному етапі визначається сумарне навантаження підстанції власних потреб.

Активне розрахункове навантаження електричної частини ділянки власних потреб АЕС:

$$P_{p1} = K_3 \cdot P_{вст}, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

$P_{вст}$ – номінальна паспортна потужність споживачів ВП; K_3 – коефіцієнт завантаження.

Реактивне розрахункове навантаження електричної частини ділянки власних потреб атомної електричної станції:

$$Q_{p.1} = P_{p.1} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Повне розрахункове навантаження електричної частини ділянки власних потреб АЕС:

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}.$$

Розрахунковий струм електричної частини ділянки власних потреб АЕС:

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга мережі.

На прикладі РЩ-1:

$$P_p = 11 \cdot 1 = 11 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 11 \cdot 1,17 = 14,63 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{11^2 + 14,63^2} = 18,3 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{18,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 28,16 \text{ А.}$$

Аналогічним чином виконано розрахунок навантажень для інших приєднань споживачів електричної частини ділянки власних потреб атомної електростанції, результати якого наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати розрахунку електричних навантажень електричної частини ділянки ВП АЕС

Найменування споживача	Вихідні дані Рном, кВт	Рр,кВт	Qр, квар	Sp,кВА	Ip,А
ЗШ-1 6 кВ					
ЩВП-ЛРК-1					
РЩ-1	11	11	14,63	18,30	28,16
РЩ-2	50	50	58,5	76,96	118,39
РЩ-3	30	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-4	1,5	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-5	1,5	1,5	1,13	1,88	2,88
Усього по ЩВП-ЛРК-1	94,0	94,0	111,11	145,54	223,91
ЩВП-ЛРК-2					
РЩ-6	11	11	14,63	18,30	28,16
РЩ-7	50	50	58,50	76,96	118,39
РЩ-8	30	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-9	1,5	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-10	1,5	1,5	1,13	1,88	2,88
РЩ-11	5,50	5,50	6,44	8,47	13,02
РЩ-12	37,0	37,0	27,75	46,25	71,15
Усього по ЩВП-ЛРК-2	136,50	136,50	145,30	199,36	306,70
Усього по ЗШ-1-6 кВ	230,5	230,5	256,41	344,78	530,43
ЗШ-2 6 кВ					
ЩВП-ЛХА					
РЩ-13	15	15	19,95	24,96	38,40
РЩ-14	15	15	17,55	23,09	35,52

РЩ-15	7,5	7,5	8,78	11,54	17,76
РЩ-16	5,5	5,5	6,44	8,47	13,02
РЩ-17	7,5	7,5	5,63	9,38	14,42
РЩ-18	1,5	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-19	5,5	5,5	4,13	6,88	10,58
Усього по ЩВП-ЛХА	57,50	57,5	64,22	86,20	132,61
ЩВП-ЛМК					
РЩ-20	30	30	39,90	49,92	76,80
РЩ-21	30	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-22	110	110	128,70	169,30	260,47
Усього по ЩВП-ЛМК	170	170	203,70	265,32	408,18
Усього по ЗШ-2-6 кВ	227,5	227,5	267,92	351,49	540,74
Усього по ТПВП	458	458	524,33	696,19	1071,1
Освітлення	18,5	18,5	7,40	19,93	30,65
Усього ТПВП з освітленням	476,5	476,5	531,73	714,00	1098,45

2.2. Перевірка силових трансформаторів підстанції власних потреб

На вибір трансформаторів впливають наступні фактори:

- основні параметри трансформатора, зокрема номінальна потужність, номінальна напруга, струм і робоча частота;
- умови експлуатації, включаючи температуру навколишнього середовища, рівень вологості, висоту встановлення над рівнем моря та інші чинники, що можуть впливати на роботу трансформатора;
- відповідність обраного трансформатора чинним стандартам і нормативно-технічним вимогам;
- рівень якості та надійності виробника, а також його ділову репутацію на ринку електротехнічного обладнання;
- технічна документація на трансформатор, зокрема наявність сертифікатів відповідності та протоколів випробувань;

– випробування трансформатора, зокрема навантажувальні випробування, перевірка в режимі короткого замикання та вимірювання його основних параметрів;

– відповідність фактичних параметрів трансформатора вимогам проєктної документації, а також чинним нормам і стандартам.

На ТПВП-6/0,4 кВ встановлено два силові трансформатори типу ТСГЛ-630/6 сухого виконання. Вибір їх номінальної потужності для даної підстанції здійснюється на основі відомої розрахункової умови:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}} + P_{\text{ст.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \text{кВА},$$

де $S_{\text{ном.т.}}$ – номінальна (паспортна) потужність силового трансформатора ТПСН-6/0,4 кВ; $S_{\text{ном.т.р}}$ – розрахункова потужність трансформатора, який встановлений на ТПВП-6/0,4 кВ; $P_{\text{р.}}$ – сумарне активне навантаження споживачів, що отримають живлення від ТПВП-6/0,4 кВ; $P_{\text{ст.}}$ – сумарне активне навантаження сторонніх споживачів, які теж отримають живлення від ТПВП-6/0,4 кВ.

Таким чином, для ТПВП-6/0,4 кВ ділянки ВП АЕС:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{476,5}{2 \cdot 0,7} = 340,36 \text{кВА}.$$

За результатами виконаних розрахунків для ТПВП-6/0,4 кВ у роботі доцільно зберегти два сухі силові трансформатори типу ТСГЛ-630/6, які вже експлуатуються на живильній підстанції власних потреб. Розподіл сумарного активного навантаження між ними забезпечує роботу в допустимих режимах, що виключає перевантаження трансформаторів.

Прийняті трансформатори ТПСН-6/0,4 кВ необхідно перевірити на відповідність умовам роботи як у нормальному, так і в після аварійному режимах.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8.$$

$$K_3^H = \frac{714}{630 \cdot 2} = 0,57 \leq 0,8.$$

$$K_3^{н.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6.$$

$$K_3^{н.ав} = \frac{714}{630 \cdot (2-1)} = 1,13 \leq 1,4.$$

Отже, в результаті виконаних розрахунків встановлено, що силові трансформатори типу ТСГЛ-630/6, встановлені на ТПВП-6/0,4 кВ системи електропостачання ділянки власних потреб АЕС, забезпечують надійну роботу як у нормальному, так і в після аварійному режимах з урахуванням підключення додаткових споживачів до системи власних потреб цього об'єкта.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Вихідна розрахункова схема для розрахунку струмів КЗ на знижувальній підстанції ТПВП-6/0,4 кВ представлена рис. 3.1.

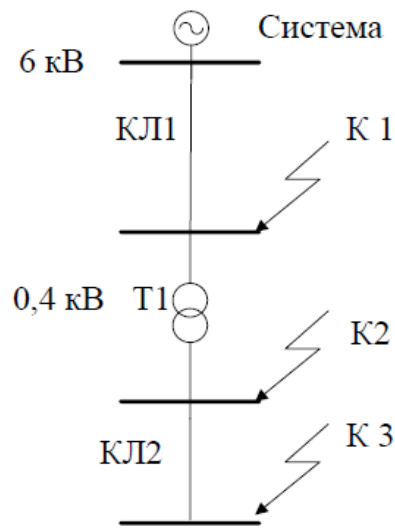


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема

Складається також вихідна схема заміщення для розрахунку струмів КЗ максимальному режимі у системі електропостачання власних потреб АЕС (рис.3.2).

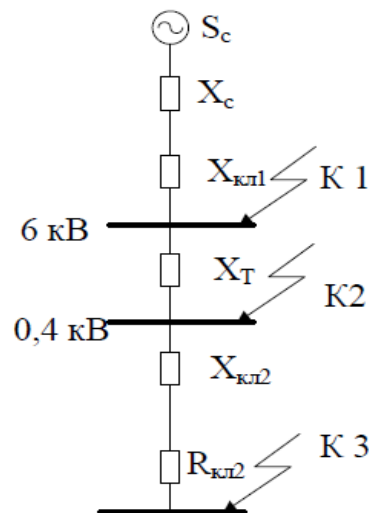


Рисунок 3.2 - Вихідна схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Базисні умови:

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$S_{\delta} = 630 \text{ кВА} = 0,63 \text{ МВА}.$$

$$U_{\delta.} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \text{кВ}.$$

$$U_{\delta.1} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ}.$$

$$U_{\delta.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ}.$$

Базисний струм:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}.$$

$$I_{\delta 1} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,03 \text{ кА}.$$

$$I_{\delta 2} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,9 \text{ кА}.$$

Індуктивний опір кабельних ліній:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{\text{уд.}W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}.$$

$$X_{KL1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,005 \text{ о}$$

$$X_{KL2} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,0135$$

Активний опір кабельних ліній:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{\text{уд.}W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}.$$

$$R_{KL1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,006$$

$$R_{KL2} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,093$$

Індуктивний опір силового трансформатора:

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{HT}}.$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,63}{0,63} = 0,0525$$

Струм трифазного КЗ визначається, як:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E}{z_{\kappa 1}} \cdot I_{\delta}, \kappa A.$$

Повний опір ланцюга КЗ:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1})^2 + R_{KЛ2}^2}.$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,03 = 1,25 \kappa A.$$

Повний опір ланцюга КЗ до розрахункової точки К2 та струм КЗ у точці К2:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T)^2 + R_{KЛ2}^2}.$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,9 = 3,71 \kappa A.$$

Аналогічно в точці К3:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T + X_{KЛ2})^2 + (R_{KЛ1} + R_{KЛ2})^2}.$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,9 = 1,84 \kappa A.$$

Ударний струм:

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}.$$

$$i_{y\partial.\kappa1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА}.$$

$$i_{y\partial.\kappa2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА}.$$

$$i_{y\partial.\kappa3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА}.$$

Струм двофазного КЗ:

$$I_{\kappa}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}.$$

$$I_{\kappa1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,25 = 1,09 \text{ кА}.$$

$$I_{\kappa1}^{(2)} = 0,87 \cdot 3,71 = 3,23 \text{ кА}$$

$$I_{\kappa1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,84 = 1,60 \text{ кА}.$$

Подальше визначення опорів ланцюга живлення короткого замикання та розрахунків струмів КЗ для інших точок виконано за аналогічною методикою, а отримані результати наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунків струмів короткого замикання в розрахункових точках системи електропостачання ділянки системи ВП

Параметр	Одиниця виміру	Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I^{(3)} \text{ кЗ}$	кА	1,25	3,71	1,84
$I^{(2)} \text{ кЗ}$	кА	1,09	3,23	1,60
$i_{уд}$	кА	2,47	5,25	2,60

4. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ ТА СТРУМОВЕДУЧИХ ЧАСТИН У СИСТЕМІ ДІЛЯНКИ ВП

У роботі здійснюється вибір електричних апаратів напругою 6 кВ для встановлення на ТПВП-6/0,4 кВ з боку високої напруги, а також обладнання низьковольтних мереж власних потреб, призначеного для розміщення в РП-0,4 кВ цієї підстанції та забезпечення захисту відхідних ліній ВП.

4.1. Вибір високовольтних вимикачів

Вибір вимикачів високої напруги здійснюється, виходячи з наступних умов:

– по номінальній напрузі:

$$U_{уст} \leq U_n.$$

де $U_{уст}$, U_n – відповідно напруга установки та номінальна напруга вимикача (параметр заводу-виробника);

- по максимальному робочому струму:

$$I_{раб.макс} \leq I_n.$$

де $I_{роб.макс}$, I_n – відповідно максимальний робочий струм електроустановки та номінальне значення струму вимикача;

– перевірка вимикача на симетричний струм відключення:

$$I_{пт} \leq I_{откн}.$$

де $I_{пт}$ – значення періодичної складової струму КЗ в момент початку розходження дугогасних контактів; $I_{відк.н}$ – номінальний струм відключення вибраного вимикача, кА;

– перевірка вимикача на відключення аперіодичного струму КЗ:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n),$$

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де $i_{ат}$ – значення аперіодичної складової струму короткого замикання в момент розходження контактів; β_n – номінальне значення відносного змісту аперіодичної складової у струмі КЗ, що відключається; τ – найменший час від початку короткого замикання до моменту розходження дугогасних контактів, визначається так:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в},$$

де t_z – мінімальний час дії релейного захисту, с; $t_{с.в}$ - власний час відключення вимикача, с;

– на електродинамічну стійкість обраний вимикач перевіряється за значенням граничного наскрізного струму КЗ:

$$i_y \leq i_{пр.с},$$

де i_y – ударний струм короткого замикання в ланцюзі вимикача; $i_{пр.с}$ – значення граничного наскрізного струму КЗ, що діє;

– перевірка вимикача на термічну стійкість за значенням теплового імпульсу:

$$B_k \leq I_T^2 t_T,$$

де B_k – тепловий імпульс за розрахунком, $кА^2 \cdot с$; I_T – граничний струм термічної стійкості, $кА^2 \cdot с$; t_T – тривалість струму термічної стійкості, с;

Тепловий імпульс визначається:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a).$$

Результати вибору вимикачів високої напруги представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати вибору вимикачів ТПВП-6/0,4 кВ

Найменування апарату	Умови вибору	Розрахункові дані	Паспортні дані
Вимикачі VD-4-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_n$	$U_{мер.} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{мах} \leq I_n$	$I_{мах} = 50,98 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$I_{пт} \leq I_{відк ном}$	$I_{пт} = 1,25 \text{ кА}$	$I_{н відк} = 2 \text{ кА}$

	$i_{уд} \leq i_{дин}$	$i_{уд} = 2,47 \text{ кА}$	$i_{дин} = 20 \text{ кА}$
	$B_k \leq I_T^2 t_T$	$I_T^2 t_T = 1,25^2 3 = 4,69 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 20^2 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибрані вимикачі задовольняють всім необхідним умовам.

4.2. Вибір вимірювальних трансформаторів струму (ВТС)

На стороні 6 кВ ТПВП-6/0,4 кВ для живлення вторинних ланцюгів застосовуються вимірювальні трансформатори струму (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 - Вибір трансформаторів струму для встановлення в РП-6 кВ живильної ТПВП-6/0,4 кВ

Назва апарату	Умови вибору	Розрахункові дані	Паспортні дані
Трансформатори струму ТПОЛМ-10	$U_{уст} \leq U_n$	$U_{мер} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
	$I_{мах} \leq I_n$	$I_{мах} = 50,98 \text{ А}$	$I_n = 100 \text{ А}$
	$i_{уд} \leq i_{дин}$	$i_{уд} = 2,47 \text{ кА}$	$i_{дин} = 20 \text{ кА}$
	$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 1,25^2 3 = 4,69 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 20^2 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

4.3. Вибір та перевірка електричних апаратів напругою 0,38/0,22 кВ

Для захисту та комутації живильної та розподільчої мереж 0,38/0,22 кВ ділянки системи власних потреб АЕС, на об'єкті застосовуються автоматичні вимикачі.

Номінальні струми автомата та уставки теплового розчіплювача автомату:

$$I_{ном.а} \geq I_{р.}$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_{р.}$$

Струм електромагнітного розчіплювача:

$$I_{н роз} \geq K \text{ то } I_p \geq I_k$$

У роботі передбачається використання сучасних автоматичних

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

вимикачів серії ВА, оснащених регульованими тепловими та електромагнітними розчіплювачами.

Результати підбору автоматичних вимикачів для системи електропостачання ділянки власних потреб АЕС, призначених для захисту та керування мережею живлення споживачів, наведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вибір автоматів вводу та секційного автомата живильної КТП-6/0,4 кВ, а також мережі живлення 0,38/0,22 кВ

Споживач	I_p , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.е.}$, А
Ввідні автомати ТПВП	969,2	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секційний автомат ТПВП	860,12	ВА 55-41	1000	1000	3000
Ввідний автомат ЩВП-ЛРК-1	223,91	ВА 52-35	250	200	600
Ввідний автомат ЩВП-ЛРК-2	306,70	ВА 52-37	400	320	960
Ввідний автомат ЩВП-ЛХА	132,61	ВА 52-35	250	200	600
Ввідний автомат ЩВП-ЛМК	408,18	ВА 57-39	630	630	1890

Результати вибору автоматичних вимикачів системи електропостачання ділянки системи власних потреб АЕС для захисту та управління розподільчою мережею представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Вибір трифазних автоматів розподільчої мережі 0,38/0,22 кВ системи електропостачання ділянки системи власних потреб

Споживач	I_p , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.е.р.}$, А
РЩ-1	18,30	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-2	76,96	ВА 52-31	100	100	300
РЩ-3	46,17	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-4	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-5	1,88	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9

РЩ-6	18,30	BA 47-29	25	25	75
РЩ-7	76,96	BA 52-31	100	100	300
РЩ-8	46,17	BA 52-31	100	63	189
РЩ-9	2,31	BA 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-10	1,88	BA 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-11	8,47	BA 47-29	10	10	30
РЩ-12	46,25	BA 52-31	100	63	189
РЩ-13	24,96	BA 47-29	25	25	75
РЩ-14	23,09	BA 47-29	25	25	75
РЩ-15	11,54	BA 47-29	16	16	48
РЩ-16	8,47	BA 47-29	10	10	30
РЩ-17	9,38	BA 47-29	10	10	30
РЩ-18	2,31	BA 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-19	6,88	BA 47-29	10	10	30
РЩ-20	49,92	BA 52-31	100	63	189
РЩ-21	46,17	BA 52-31	100	63	189
РЩ-22	169,30	BA 52-35	250	200	600
ЩРО	19,93	BA 47-29	25	25	75
ЩАО	1,99	BA 47-29	6,3	6,3	18,9

4.4. Вибір та перевірка струмоведучих частин

Відповідно до рекомендацій, у роботі передбачається застосування кабельних ліній електропередачі для живильної та розподільної мереж системи електропостачання ділянки власних потреб АЕС, а саме:

– на напрузі 6 кВ — живильна кабельна лінія для подачі електроенергії до ТПВП-6/0,4 кВ від шин РП ВП-6 кВ;

– на напрузі 0,38/0,22 кВ — розподільна мережа для забезпечення електропостачання споживачів системи власних потреб об'єкта.

У роботі передбачається застосування комбінованого способу

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

прокладання кабельних ліній ділянки системи власних потреб АЕС — у залізобетонних блоках із використанням гнучких поліетиленових труб та кабелів з негорючою ізоляцією. Такий спосіб є сучасним рішенням і забезпечує суттєве зниження ймовірності виникнення пожежі на об'єкті.

Вибір кабельної лінії живлення (для живлення ТПВП-6/0,4 кВ від шин РП ВП-6кВ) здійснюється за відомим критерієм економічної щільності струму.

Розрахунковий робочий струм лінії:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}$$

Максимальний розрахунковий струм лінії:

$$I_{p. max} = 1,4 I_{p. max}.$$

Перевірка кабельної лінії проводиться за умовами нагрівання максимальним робочим струмом:

$$I_{доп} \geq I_{p. max}.$$

де $I_{доп}$ - тривало - допустимий струм кабелю, А; $I_{p. max}$ – максимальний струм ділянки (лінії), А.

Умова вибору перетину по економічній щільності струму:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}}.$$

Розрахункове значення струму в нормальному режимі для живильної кабельної лінії:

$$I_{p.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

Тобто:

$$F_{\text{э}} = \frac{36,4}{1,6} = 22,7 \text{ мм}^2.$$

За результатами виконаних розрахунків для живлення ТПВП-6/0,4 кВ

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

до встановлення приймається силовий кабель марки АСБл-10 (3×25), допустимий тривалий струм якого при прокладанні в ґрунті становить: $I_{\text{доп}} = 115 \text{ А}$.

Максимальний струм кабельної лінії 6 кВ ТПВП-6/0,4 кВ:

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 36,4 \approx 51 \text{ А}$$

Перевірка живильної кабельної лінії 6 кВ ТПВП-6/0,4 кВ за умовою допустимого нагріву в після аварійному режимі показує, що ця вимога виконується:

$$90 \text{ А} \geq 51 \text{ А}$$

Вибір кабельних ліній напругою 0,38/0,22 кВ для мережі ділянки системи електропостачання власних потреб АЕС здійснюється з урахуванням умов допустимого нагріву, результати якого наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Результати вибору перерізу кабелів мережі живлення ВП

Споживач	I_p , А	Марка силового кабелю	$I_{\text{доп}}$, А
ЗШ-1 6 кВ			
ЩВП-ЛРК-1	223,91	ВВГнг-LS (5×70)	237
ЩВП-ЛРК- 2	306,70	ВВГнг-LS (5×120)	321
ЗШ-2 6 кВ			
ЩВП-ЛХА	132,61	ВВГнг-LS (5×35)	158,0
ЩВП-ЛМК	408,18	ВВГнг-LS (5×240)	468,0

Для розподільчої мережі обрано чотирижильні кабелі марки ВВГнг-LS.

Результати вибору кабельних ліній напругою 0,38/0,22 кВ для розподільної мережі ділянки системи електропостачання власних потреб АЕС наведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - Результати вибору перерізу кабелів розподільної мережі ділянки ВП

Назва споживача	I_p , А	Марка силового кабелю	$I_{\text{доп}}$, А
-----------------	-----------	-----------------------	----------------------

РЦ-1	18,30	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-2	76,96	ВВГнг-LS (4×10)	84,0
РЦ-3	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	64,0
РЦ-4	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-5	1,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-6	18,30	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-7	76,96	ВВГнг-LS (4×10)	84,0
РЦ-8	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЦ-9	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-10	1,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-11	8,47	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-12	46,25	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЦ-13	24,96	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-14	23,09	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-15	11,54	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-16	8,47	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-17	9,38	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-18	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-19	6,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЦ-20	49,92	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЦ-21	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЦ-22	169,30	ВВГнг-LS (4×50)	196,0
ЩРО	19,930	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
ЩАО	1,99	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0

5.ОХОРОНА ПРАЦІ

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Реконструкція електричної частини системи власних потреб атомної електростанції потужністю 4000 МВт пов'язана з виконанням робіт в умовах підвищеної небезпеки, що зумовлено наявністю електроустановок високої та низької напруги, значними струмами короткого замикання, можливістю виникнення електричної дуги, а також специфікою експлуатації обладнання на об'єктах ядерної енергетики. У зв'язку з цим питання забезпечення безпечних умов праці є одним із ключових при реалізації проєктних рішень.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами при виконанні робіт є дія електричного струму, електричної дуги, підвищені рівні електромагнітних полів, шуму від роботи трансформаторів і комутаційних апаратів, можливість механічних травм при монтажі обладнання, а також вплив підвищеної температури та продуктів горіння при аварійних режимах. Особливу увагу слід приділяти також пожежній безпеці, оскільки кабельні споруди та розподільні пристрої можуть бути джерелом займання при пошкодженні ізоляції або виникненні коротких замикань.

Для забезпечення електробезпеки персоналу передбачено виконання організаційних і технічних заходів відповідно до вимог нормативних документів (ПУЕ, ПТЕЕС, НПАОП).

До *організаційних* заходів належить оформлення нарядів-допусків, проведення інструктажів, допуск до роботи лише кваліфікованого персоналу з відповідною групою з електробезпеки, а також постійний контроль з боку відповідальних осіб.

Технічні заходи включають зняття напруги, перевірку її відсутності, встановлення заземлень, огороження робочого місця та застосування засобів індивідуального захисту, зокрема діелектричних рукавиць, килимків, інструменту з ізольованими ручками.

1. Одним із важливих аспектів є оцінка безпечних відстаней до струмоведучих частин. Мінімально допустима відстань для установок напругою 6 кВ визначається відповідно до нормативів і становить не менше

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

0,6 м при виконанні робіт поблизу струмоведучих частин. Дотримання цієї вимоги забезпечує зниження ризику ураження електричним струмом та пробою ізоляції повітряного проміжку.

2. Особливу роль у системі охорони праці відіграє пожежна безпека. У роботі передбачено використання кабелів з негорючою ізоляцією, прокладання їх у залізобетонних каналах і поліетиленових трубах, що знижує ймовірність поширення вогню (рис.5.1).



Рисунок 5.1 – Прокладання кабелю з умов пожежної безпеки

Крім того, необхідно передбачити системи автоматичного пожежогасіння та сигналізації, а також забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння (вуглекислотні та порошкові вогнегасники).

3. Під час реконструкції електричної частини системи власних потреб АЕС значну увагу необхідно приділяти питанням зниження шумового навантаження, оскільки основними джерелами шуму є силові трансформатори, реактори, вентиляційне обладнання та комутаційні апарати. Тривалий вплив підвищених рівнів шуму негативно впливає на стан здоров'я персоналу, знижує працездатність і може призводити до професійних захворювань, тому забезпечення нормативних рівнів шуму є обов'язковою вимогою.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Основним джерелом шуму у трансформаторах є магнітострикційні процеси в осерді, які викликають вібрації, що передаються на бак трансформатора і далі — у навколишнє середовище. Рівень шуму трансформаторів великої потужності може досягати 70–85 дБ, що перевищує допустимі значення для виробничих приміщень, тому необхідно застосовувати комплекс інженерних рішень.

Одним із найефективніших методів є зниження шуму безпосередньо в джерелі його виникнення. Це досягається використанням сучасних трансформаторів із покращеною конструкцією магнітопроводу, застосуванням шихтованої сталі з низькими втратами, а також використанням конструкцій з пониженим рівнем магнітострикції. Крім того, важливим є якісне складання та пресування осердя, що зменшує вібрації.

Значний ефект забезпечує встановлення трансформаторів на віброгасних опорах або амортизаторах. Такі опори обмежують передачу механічних коливань на будівельні конструкції, що знижує рівень структурного шуму. Для цього використовуються гумометалеві або пружинні ізолятори, які підбираються залежно від маси обладнання та частотного спектру вібрацій.

Додатково застосовуються акустичні екрани та кожухи, які встановлюються навколо трансформаторів. Вони виготовляються з багатошарових матеріалів, що поєднують звукопоглинальні та звукоізолюючі властивості. Ефективність таких конструкцій може досягати зниження шуму на 10–20 дБ. У приміщеннях розподільних пристроїв доцільно використовувати звукопоглинальні облицювання стін і стелі (мінеральна вата, перфоровані панелі), що зменшують рівень відбитого шуму.

Для оцінки рівня шуму використовується логарифмічна шкала, а сумарний рівень шуму від декількох джерел визначається за формулою:

$$L_{\Sigma} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right),$$

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де L_i — рівень шуму окремого джерела. Це дозволяє врахувати сукупний вплив усіх елементів обладнання на акустичну обстановку.

Важливим заходом є раціональне планування розміщення обладнання. Трансформатори та інші шумні установки необхідно розташовувати на максимальній відстані від постійних робочих місць персоналу. При цьому враховується, що рівень шуму зменшується зі збільшенням відстані приблизно на 6 дБ при подвоєнні відстані від джерела.

Організаційні заходи передбачають обмеження часу перебування персоналу в зонах з підвищеним рівнем шуму, застосування засобів індивідуального захисту (навушники, беруші), а також проведення періодичного контролю рівнів шуму за допомогою шумомірів.

Нижче наведена схема (рис.5.2), що ілюструє основні технічні рішення щодо зниження шуму від силового трансформатора:

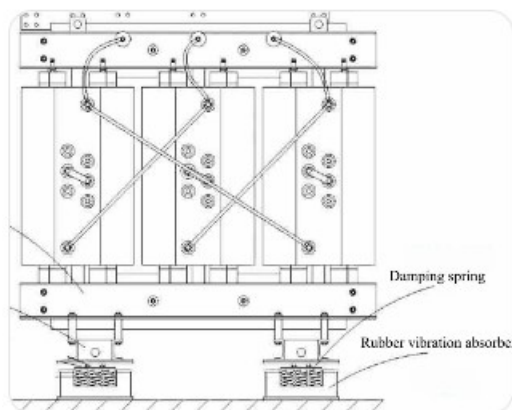


Рисунок 5.2 – Структурна схема трансформатору щодо зниження шуму

Як видно зі схеми, основними елементами системи шумозахисту є віброгасні опори, акустичний кожух та звукопоглинальні матеріали, які разом забезпечують комплексне зниження рівня шуму.

Рисунок 5.3 ілюструє конструктивне виконання системи шумозахисту силового трансформатора із застосуванням акустичного кожуха.



Рисунок 5.3 – Система шумозахисту (від повітряного шуму)
трансформатора

Його основне призначення полягає у зменшенні поширення повітряного шуму від джерела до навколишнього середовища. На такій схемі, як правило, показано багат шарову структуру огорожувальних панелей, що поєднують звукопоглинальні та звукоізолюючі властивості. Це дозволяє не лише відбивати звукові хвилі, а й частково поглинати їх енергію, знижуючи рівень шуму, який виходить за межі установки. Крім того, такі кожухи часто передбачають вентиляційні канали зі шумоглушниками, що забезпечує охолодження обладнання без погіршення акустичних характеристик.

Рисунок 5.4 демонструє принцип зниження структурного шуму за рахунок використання віброгасних опор і ізоляції трансформатора від будівельних конструкцій.



Рисунок 5.4 - Система шумозахисту (від вібрацій і структурного шуму)
трансформатора

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Його призначення полягає у запобіганні передачі механічних коливань від обладнання до фундаменту та далі — до стін і перекриття будівлі. На схемі зазвичай відображено пружні або гумометалеві елементи, які виконують роль демпферів. Завдяки цьому значно зменшується рівень низькочастотного шуму, який поширюється через конструкції будівлі, що є особливо важливим для приміщень з постійним перебуванням персоналу.

Таким чином, реалізація комплексу конструктивних, технічних та організаційних заходів дозволяє забезпечити допустимі рівні шуму на робочих місцях персоналу, що відповідає вимогам охорони праці та підвищує безпечність експлуатації електрообладнання АЕС.

Отже, у розділі охорони праці обґрунтовано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці під час реконструкції електричної частини системи власних потреб АЕС. Розглянуто основні небезпечні фактори, заходи електробезпеки, пожежного захисту та зниження шумового впливу, а також наведено відповідні розрахункові залежності. Запропоновані рішення забезпечують відповідність нормативним вимогам, підвищують надійність роботи обладнання та мінімізують ризики для обслуговуючого персоналу.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи проведено комплексний аналіз системи електропостачання власних потреб АЕС на рівні напруги 6 кВ, що дозволило обґрунтувати існуючі принципи побудови схеми та способи живлення споживачів. На основі цього встановлено, що структура мережі відповідає вимогам до надійності та безперервності електропостачання відповідальних електроприймачів.

Виконано класифікацію споживачів системи власних потреб за категоріями надійності, що дало можливість визначити вимоги до резервування, схемних рішень та режимів роботи обладнання. Це, у свою чергу, стало підґрунтям для прийняття технічно обґрунтованих рішень щодо реконструкції ділянки системи.

У роботі детально проаналізовано стан і особливості функціонування досліджуваної ділянки системи власних потреб, що підлягає реконструкції, з урахуванням її ролі у забезпеченні стабільної роботи енергоблока. Встановлено, що електропостачання даної ділянки здійснюється від двотрансформаторної підстанції (ТПВП), оснащеної двома сухими силовими трансформаторами марки ТСГЛ-630/6.

З урахуванням отриманих результатів підтверджено доцільність використання існуючої схеми живлення та обладнання як базової основи для подальшої модернізації, що забезпечує необхідний рівень надійності, гнучкості та безпеки роботи системи власних потреб АЕС.

Встановлено, що необхідність реконструкції схеми електричних з'єднань ТПВП-6/0,4 кВ обумовлена підключенням додаткового навантаження до шин 0,4 кВ даної підстанції.

У процесі реалізації заходів з модернізації системи електропостачання ділянки власних потреб АЕС, пов'язаних із введенням нових споживачів, виконано комплекс ключових розрахунків, необхідних для обґрунтування прийнятих технічних рішень і забезпечення надійної роботи системи.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Виконано розрахунок максимальних струмів короткого замикання, за результатами якого обґрунтовано вибір сучасних вакуумних вимикачів для встановлення в нових комірках КРП типу КРП К-213.

Також проведено перевірку обладнання, призначеного для встановлення в РП-0,4 кВ трансформаторної підстанції, а також у живильній і розподільній мережах електропостачання напругою 0,38/0,22 кВ.

У розділі охорони праці обґрунтовано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці під час реконструкції електричної частини системи власних потреб АЕС. Розглянуто основні небезпечні фактори, заходи електробезпеки, пожежного захисту та зниження шумового впливу, а також наведено відповідні розрахункові залежності. Запропоновані рішення забезпечують відповідність нормативним вимогам, підвищують надійність роботи обладнання та мінімізують ризики для обслуговуючого персоналу.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. В.С. Костишин, М.І. Федорів. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посібник, Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 243 с.
2. В.М. Гаряжа, А.О. Карюк В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 149 с.
3. Правила устаткування електроустановок. Київ: 2023. 176 с.
4. Правила технічної експлуатації електростанцій та підстанцій: РД43.20.501-95, 2020. – 325 с
5. Пантелєєва І.В. Електрична частина станцій та підстанцій. Конспект лекцій для студентів спец. 141/ Укр. інж.-пед. акад. – Харків: 2021. – 81 с.
6. Продукція Schneider Electric Energy Management and Control System (EMCS) [Электронный ресурс]: URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Schneider_Electric_Energy_Management_and_Control_System_%28EMCS%29.

					ЕТ та ЕЕ 052.001.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		