МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

_____Електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

_____перший (бакалаврський) рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему_Оцінка енергоефективності роботи пристроїв релейного захисту системи власних потреб енергоблоку_____

Виконав: студент __4___ курсу, групи__6.1412
спеціальності _____141 Електроенергетика,_____
електротехніка та електромеханіка_____
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми _Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка_____
(назва освітньої програми)
_____Васильєв К.О._____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___д.е.н., проф. Паршин Ю.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент___Коломієць Д.М._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М._____
Кафедра____електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
Рівень вищої освіти____перший (бакалаврський)_рівень_____
Спеціальність __141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.т.н., доц._____Д.М. Морозов
«___»_____2026__року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____ Васильєву КирилуОлександрович у_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _Оцінка енергоефективності роботи пристроїв релейного захисту системи власних потреб енергоблоку _____
керівник роботи ___д.е.н., проф. Паршин Ю.І._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_23_» _грудня__205__року №_2833 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____11 червня 2026 р._____
3 Вихідні дані до роботи: Базове електроспоживання власних потреб: Загальне споживання становить 3,72 млн кВт · год/рік, що у грошовому еквіваленті складає 5,78 млн. грн.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Загальна характеристика ВП «Запорізька АЕС» 2) Реалізація запропонованих технічних рішень на відкритому розподільчому пристрої ВРП-750 кВ 3) Техніко-економічний аналіз проєктних рішень
5 Перелік графічного матеріалу _1) Принципова технологічна схема виробництва електроенергії на АЕС 2) Принципова однолінійна електрична схема видачі потужності енергоблоку 3) Конструктивна схема автотрансформатора 4) Конструктивні схеми елементів повітряного вимикача 5) Креслення елементів монтажної конструкції (цоколя та рами) вимикача

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	д.е.н., проф. Паршин Ю.І.		
Розділ 2	д.е.н., проф. Паршин Ю.І.		
Розділ 3	д.е.н., проф. Паршин Ю.І.		

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика ВП «Запорізька АЕС»	01.03.2026	
2	Реалізація запропонованих технічних рішень на відкритому розподільчому пристрої ВРП-750 кВ	01.04.2026	
3	Техніко-економічний аналіз проєктних рішень	10.05.2026	

Студент _____ Васильєв К.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Ю.І. Паршин
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 50 сторінок, 10 рисунків, 15 таблиць, 20 джерел.

Об’єкт дослідження та розробки: процеси формування та способи мінімізації технологічних втрат електричної енергії в обладнанні та шинних конструкціях відкритого розподільчого пристрою (ВРП-750 кВ) відокремленого підрозділу «Запорізька АЕС».

Мета проекту: обґрунтування техніко-економічної доцільності підвищення енергетичної ефективності функціонування високовольтного об'єкта, забезпечення практичного зменшення втрат електроенергії на власні потреби та підвищення загальної надійності електропостачання енергоблоків.

У роботі детально проаналізовано внутрішню структуру споживання електроенергії ВРП-750 кВ. Встановлено, що левова частка споживання, а саме 58,4% (змінено з 60,3%, -18%), припадає на функціонування компресорних станцій стиснутого повітря. На забезпечення роботи систем примусового охолодження автотрансформаторних груп і вольтододаткових трансформаторів використовується 28,2% (змінено з 27,4%), на електричне освітлення території та приміщень — 3,1% (змінено з 2,3%), а на обігрів шаф і приводів повітряних вимикачів ВНВ-750 кВ — 10,3% (змінено з 10,0%).

Сформовано комплекс енергозберігаючих рішень:

1. Заміна застарілих повітряних вимикачів класу напруги 750 кВ на сучасні високонадійні елегазові аналоги.

2. Реконструкція та модернізація компресорного господарства для оптимізації його продуктивності відповідно до зменшеного споживання стиснутого повітря.

3. Модернізація систем внутрішнього освітлення технологічних і службових приміщень із переходом на енергоефективне світлодіодне обладнання.

Оцінку ефективності розроблених пропозицій виконано на основі аналізу термінів окупності, приведених витрат і зниження питомих втрат електроенергії при її передачі та розподілі.

ВІДКРИТИЙ РОЗПОДІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ЕЛЕГАЗОВИЙ ВИМИКАЧ, ПИТОМІ ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

Вступ 7
1 Загальна характеристика ВП «Запорізька АЕС» 10
1.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження 10
1.2 Технологія вироблення електроенергії на АЕС 12
1.3 Призначення головної схеми блоку, її основні елементи, режими експлуатації 16
1.4 Характеристика відкритого розподільчого пристрою 19
1.5 Обладнання встановлене на ВРП-750кВ 21
2 Реалізація запропонованих технічних рішень на відкритому розподільчому пристрої ВРП-750 кВ 28
2.1 Порівняльний аналіз технічних переваг та недоліків повітряних вимикачів 28
2.2 Переваги та недоліки вимикача газового с гідроприводом 31
2.3 Техніко-економічне обґрунтування доцільності реконструкції головної схеми підстанції 34
2.4 Реконструкція компресорного господарства ВРП-750 кВ 34
2.5 Технічне переоснащення освітлювальних установок об'єктів ВРП-750 кВ 37
3 Техніко-економічний аналіз проєктних рішень 40
3.1 Обчислення економічного ефекту від модернізації обладнання ВРП . 40
3.2 Оцінка фінансово-економічної доцільності переходу на енергоефективне освітлення приміщень ВРП 42
3.3 Технічне оновлення компресорного парку стиснутого повітря 45
Висновки 48
Перелік посилань 49

ВСТУП

Атомно-енергетичний комплекс виступає базовим фундаментом економічної стійкості, національної безпеки та енергетичної незалежності України. На підприємствах атомної галузі задіяно понад 35 тисяч висококваліфікованих фахівців інженерно-технічного та оперативного профілю. Під час осінньо-зимових піків навантаження об'єднаної енергосистеми (ОЕС) вітчизняні атомні електростанції забезпечують генерацію майже 55–60% усієї електроенергії країни, володіючи при цьому лише близько 24–25% від загальної встановленої потужності усіх електростанцій держави.

Динаміка розширення частки АЕС у загальнодержавному балансі виробництва електроенергії протягом останніх десятиліть свідчить про їх виключне значення та зростаючу роль у забезпеченні базового навантаження: 1990 р. — 24,5%, 2000 р. — 45,3%, 2020–2021 рр. — 51,2–55,0%. Наразі в промисловій експлуатації держави перебувають 15 енергоблоків (з яких 13 оснащені реакторними установками серії ВВЕР-1000 та 2 — ВВЕР-440 на Рівненській АЕС).

Відокремлений підрозділ «Запорізька АЕС» — найбільший енергетичний об'єкт та найпотужніша атомна електростанція в Європі із проєктним середньорічним виробітком близько 40 млрд кВт·год електроенергії, що становить майже 50% загальнодержавного виробництва атомними станціями та понад 21–22% від загального виробітку електроенергії в Україні.

Водночас забезпечення надійного функціонування технологічних систем АЕС потребує значних енергетичних витрат: споживання електроенергії на власні потреби станції становить близько 5,0–5,5% від загального обсягу генерації (що відповідає понад 2,0–2,2 млрд кВт·год/рік для шести енергоблоків установленою електричною потужністю 1000 МВт кожен). Це робить Запорізьку АЕС не лише ключовим генератором, а й одним із найбільших

поодиноких споживачів електричної енергії в Україні. З огляду на це, розробка та практична реалізація інженерних заходів, спрямованих на зниження технологічних втрат, оптимізацію режимів перетоків реактивної потужності та підвищення енергоефективності на відкритому розподільчому пристрої ВРП-750 кВ, є критично актуальним науково-прикладним завданням для енергетики держави.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВП «ЗАПОРІЗЬКА АЕС»

1.1 Загально-технічний огляд та характеристика об'єкта

Відокремлений підрозділ «Запорізька АЕС» (ВП ЗАЕС) ДП «НАЕК «Енергоатом» — найбільший енергетичний об’єкт України та найпотужніша атомна електростанція в Європі.

Нижче наведено розгорнуту технічну, структурну та функціональну характеристику підприємства:

1. Основні технічні параметри

- Встановлена електрична потужність: 6000 МВт (6 ГВт).
- Кількість енергоблоків: 6 уніфікованих блоків потужністю 1000 МВт кожен.
- Тип реакторних установок: Водо-водяні енергетичні реактори під тиском серії ВВЕР-1000/В-320 (двоконтурна схема).
- Теплова потужність одного реактора: 3000 МВт.
- Розташування: м. Енергодар, Запорізька область (на лівому березі колишнього Каховського водосховища).

2. Значення для енергосистеми України (у штатній експлуатації)

- Виробіток електроенергії: Середньощорічно станція генерувала близько 40 млрд кВт·год електроенергії.
- Частка в атомній генерації: Забезпечувала майже 50% виробітку всіх вітчизняних АЕС.
- Частка в загальному балансі: Генерувала понад 20-22% усієї електроенергії в Україні.
- Видача потужності: Здійснювалася через відкриті розподільчі пристрої ВРП-750 кВ та ВРП-330 кВ. Видача здійснювалася за чотирма

основними ПЛ 750 кВ (Дніпровська, Запорізька, Каховська, Південноукраїнська) та ПЛ 330 кВ (для зв'язку з Запорізькою ТЕС).

3. Особливості технологічної структури та систем безпеки

1. Основне обладнання:

- Реакторна установка ВВЕР-1000 у гермооболонці (контайнменті).
- Парогенератори ПГВ-1000М (по 4 шт. на блок).
- Турбогенератори К-1000-60/1500 та генератори ТВВ-1000-4У3 з воднево-водяним охолодженням.

2. Власні потреби АЕС:

- Станція є одним із найбільших поодиноких споживачів електроенергії — на власні потреби (живильні насоси, ГЦН, системи вентиляції та охолодження) витрачається близько 5,0-5,5% виробленої енергії.
- Система резервного живлення забезпечується резервними дизель-генераторними станціями (по 3 ДГС на кожному блоці плюс додаткові загальностанційні ДГС).

3. Зберігання відпрацьованого ядерного палива:

- На майданчику ЗАЕС функціонує СХОЯП (Сухе сховище відпрацьованого ядерного палива), призначене для тривалого зберігання відпрацьованих паливних збірок у спеціальних вентильованих бетонних контейнерах.

4. Історичні віхи розвитку

- 1977 р. — прийняття рішення про будівництво ЗАЕС.
- 1984–1987 рр. — послідовне введення в експлуатацію енергоблоків №1, №2, №3 та №4.
- 1989 р. — запуск енергоблоку №5.
- 1995 р. — пуск енергоблоку №6 після скасування мораторію на будівництво нових АЕС.
- 2021 р. — після спорудження та розширення ВРП-750 кВ і введення нової ЛЕП 750 кВ «ЗАЕС — ПС «Каховська» станція вперше в історії вийшла на 100% наявної потужності (6000 МВт).

1.2 Фізико-технологічний процес генерації електричної енергії

Енергетичний процес на АЕС базується на розщепленні ядер збагаченого урану-235 у реакторі ВВЕР-1000. Станція виконана за двоконтурною схемою. До складу основного обладнання І контуру входять:

- реактор ВВЕР-1000;
- компенсатор тиску (КТ);
- 4 головних циркуляційних насоси (ГЦН);
- 4 парогенератори (ПГ).

У ІІ контурі пара високого тиску з ПГ спрямовується на турбіну, яка приводить у обертання ротор турбогенератора типу ТВВ-1000-2У3 потужністю 1000 МВт. Схема технологічного процесу наведена на рисунку 1.1.

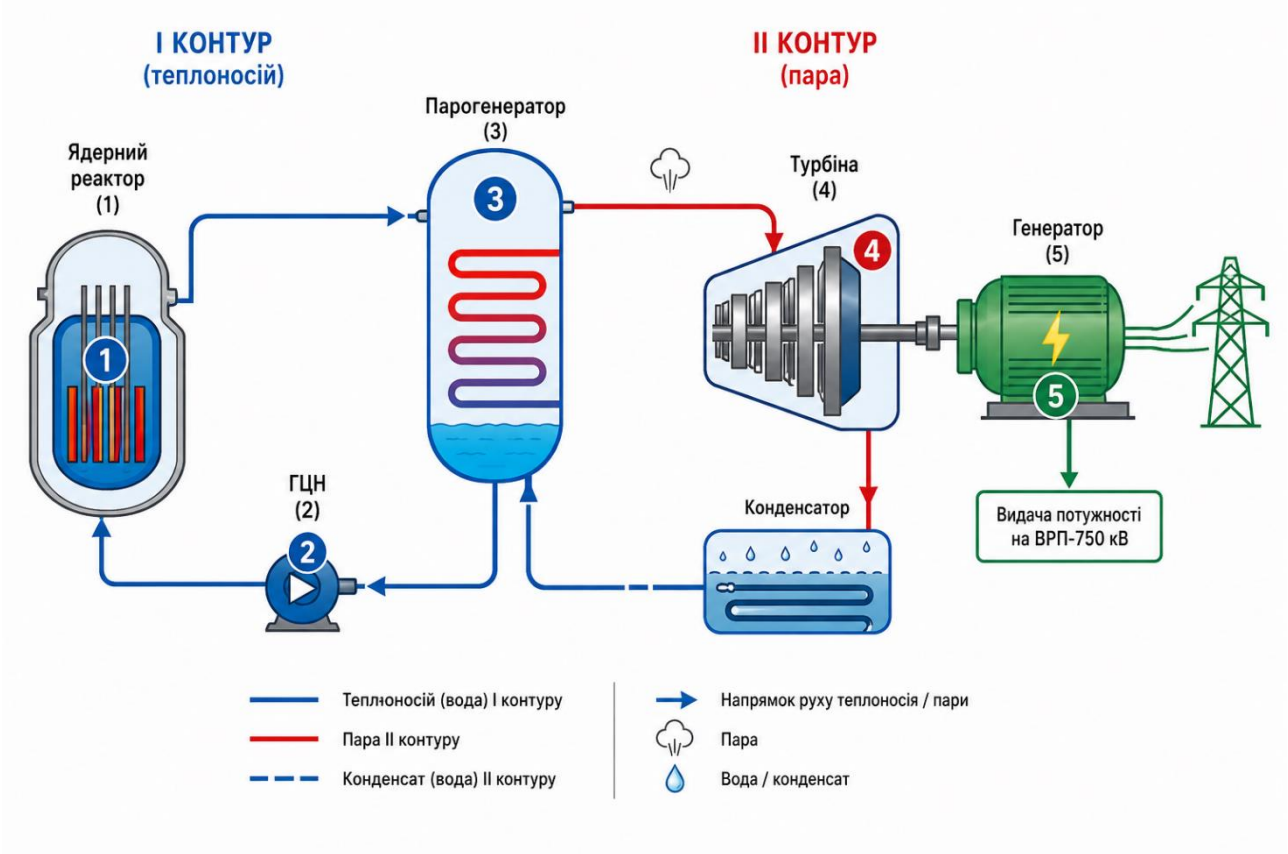


Рисунок 1.1 — Принципова технологічна схема виробництва електроенергії на АЕС

Технологічна схема атомної електростанції з водо-водяним енергетичним реактором (ВВЕР) ґрунтується на перетворенні теплової енергії, що виділяється внаслідок керованої реакції ядерного поділу, в електричну енергію. Система складається з двох незалежних гідравлічних контурів: первинного (реакторного) та вторинного (пароводяного), які взаємодіють між собою через парогенератор без безпосереднього змішування теплоносіїв.

1. Ядерний реактор

Основним елементом енергоблока є ядерний реактор, у якому відбувається керована ланцюгова реакція поділу ядер урану-235.

Активна зона реактора містить:

- тепловидільні збірки (ТВЗ);
- паливні елементи (ТВЕЛи);
- керуючі та захисні стрижні;
- воду під високим тиском.

У процесі поділу ядер виділяється значна кількість теплоти. Вода першого контуру одночасно виконує функції:

- теплоносія;
- сповільнювача нейтронів.

Для запобігання кипінню вода перебуває під тиском близько 15–16 МПа, що дозволяє нагрівати її до температури приблизно 320 °C.

2. Головний циркуляційний насос (ГЦН) (2)

Після нагрівання теплоносій безперервно циркулює за допомогою головного циркуляційного насоса.

Основні функції ГЦН:

- забезпечення необхідної витрати теплоносія;
- підтримання рівномірного охолодження активної зони;
- транспортування теплової енергії до парогенератора.

Після проходження через парогенератор охолоджена вода повертається назад до реактора, утворюючи замкнений І контур.

3. Парогенератор (3)

Парогенератор є теплообмінним апаратом, у якому відбувається передача теплоти від першого до другого контуру.

Конструктивно він складається з:

- трубної системи;
- корпуса;
- сепараційного обладнання;
- живильної води другого контуру.

Усередині труб циркулює вода першого контуру, а зовні труб знаходиться вода другого контуру.

Тепло передається через металеві стінки труб без змішування теплоносіїв.

У результаті цього:

- вода другого контуру кипить;
- утворюється насичена пара;
- пара осушується;
- подається до турбіни.

Саме парогенератор забезпечує радіаційне розділення двох контурів.

4. Парова турбіна (4)

Пара високого тиску надходить у багатоступеневу турбіну.

У процесі проходження через лопатки турбіни:

- теплова енергія перетворюється у кінетичну;
- кінетична енергія переходить у механічну;
- обертається ротор турбіни.

Після проходження останніх ступенів турбіни параметри пари значно зменшуються.

Відпрацьована пара надходить у конденсатор.

5. Генератор (5)

Ротор турбіни жорстко з'єднаний із синхронним генератором.

Під час обертання ротора:

- створюється змінне магнітне поле;

– у статорних обмотках індукується електрорушійна сила;

– виробляється трифазний змінний струм промислової частоти 50 Гц.

Електрична енергія надходить:

– до блочного трансформатора;

– далі на відкритий розподільчий пристрій (ВРП);

– після чого передається до енергосистеми через високовольтні лінії електропередачі напругою 750 кВ.

6. Конденсатор

Після турбіни пара надходить до конденсатора.

Тут відбувається:

– охолодження пари;

– її конденсація;

– перетворення на воду (конденсат).

Охолодження здійснюється окремою системою циркуляційної води (третій контур), яка не контактує з робочим середовищем другого контуру.

7. Живильна система

Конденсат за допомогою конденсатних і живильних насосів проходить:

– систему підігрівників;

– деаератор;

– економайзер (за наявності).

Після цього вода знову надходить до парогенератора.

Таким чином формується замкнений II контур.

8. Передача електроенергії

Вироблена генератором електроенергія має напругу приблизно 20–24 кВ.

Далі вона проходить через:

– блочний трансиловий трансформатор;

– відкритий розподільчий пристрій (ВРП);

– високовольтні вимикачі;

– повітряні лінії електропередачі.

Передача здійснюється в магістральну мережу напругою 330 або 750 кВ.

Основні переваги двоконтурної схеми

- радіоактивний теплоносій першого контуру не потрапляє до турбіни;
- підвищується безпека експлуатації обладнання;
- забезпечується висока надійність теплопередачі;
- можливе незалежне регулювання параметрів двох контурів;
- зменшується радіаційний вплив на турбінне обладнання та персонал.

Запропонована схема є типовою для сучасних енергоблоків АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000 та ВВЕР-440 і широко застосовується на українських атомних електростанціях.

1.3. Структура, призначення та режими функціонування головної електричної схеми енергоблоку

Головна схема первинних електричних з’єднань атомної електростанції являє собою впорядковане поєднання основного силового устаткування (турбогенераторів, блочних та допоміжних трансформаторів), систему збірних шин, а також комплексу комутаційної та захисної апаратури з виконаними між ними електричними зв'язками в натурі. Обґрунтований вибір головної схеми виступає визначальним етапом під час проектування електричної частини АЕС, оскільки саме він регламентує повний склад обладнання та конфігурацію зв'язків між окремими технологічними елементами.

Обрана головна схема слугує базовою основою для розроблення принципових електричних схем, схеми живлення власних потреб, а також розводки вторинних кіл релейного захисту, автоматики та вимірювань.

Спрощену графічну структуру видачі електричної потужності енергоблоку наведено на рисунку 1.2.

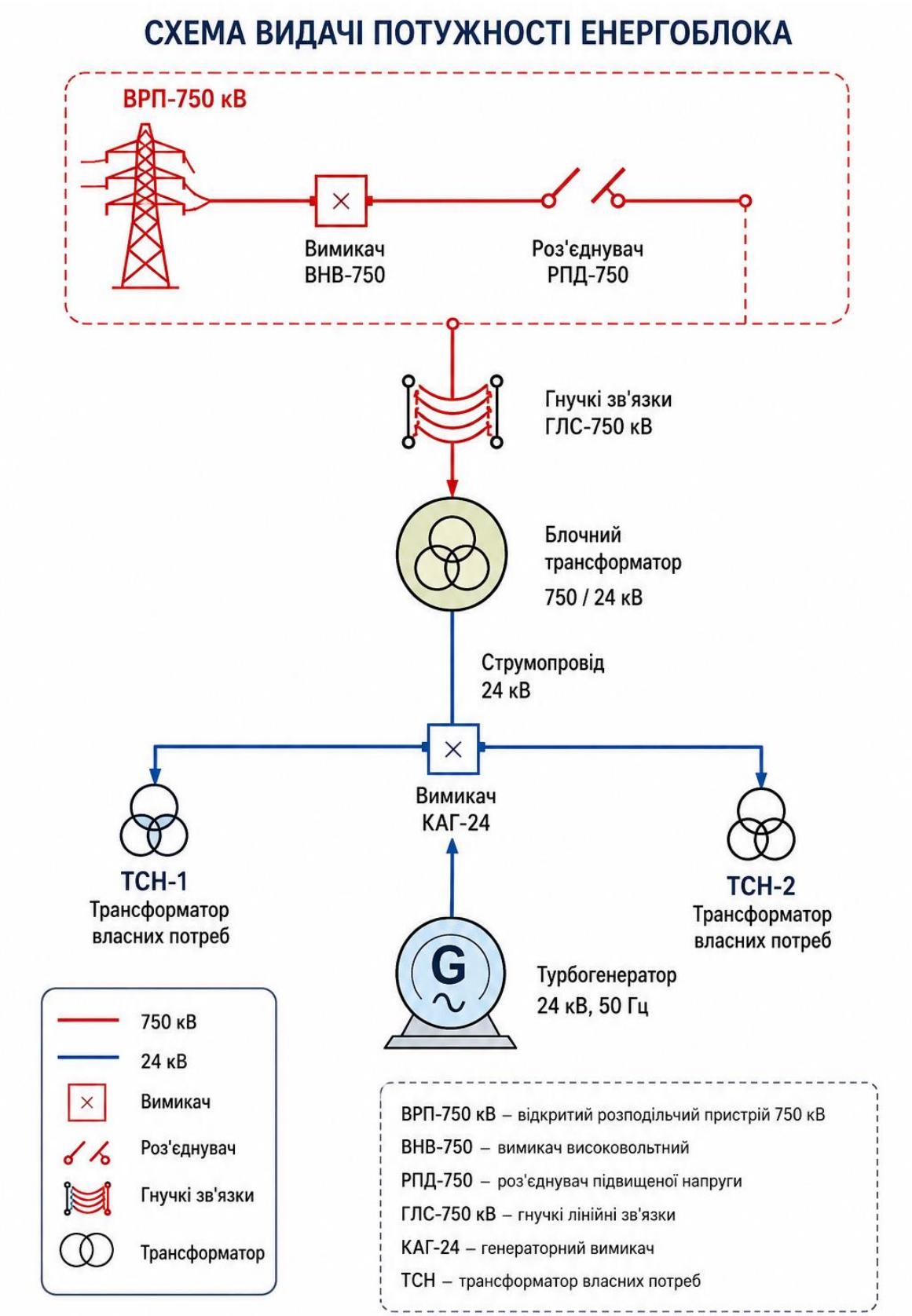


Рисунок 1.2 - Принципова однолінійна електрична схема видачі потужності енергоблоку

Електрична схема Запорізької АЕС закомпонована за чітким блоковим принципом. Паралельне об'єднання та сумісна робота окремих турбогенераторів здійснюється виключно на високій напрузі у вузлах розподільчого пристрою станції. Кожен турбогенератор через відповідну підвищувальну групу однофазних силових трансформаторів підключається до збірних шин розподільчого пристрою вищої напруги. Схема схеми видачі потужності призначена для генерування, перетворення, транспортування та відпуску електроенергії в об'єднану енергосистему.

До складу обладнання схеми видачі потужності енергоблоку входять такі елементи:

- турбогенератор із сучасним комплексом системи збудження;
- комплектні екрановані струмопроводи напругою 24 кВ із генераторним вимикачем серії КАГ-24;
- блочний підвищувальний силовий трансформатор;
- робочі та резервні трансформатори власних потреб (ТСН-1, ТСН-2);
- гнучкі лінійні зв'язки класу напруги 750 кВ.

Показники надійності, економічності та маневреності атомної станції значною мірою залежать від досконалості та безвідмовності схеми видачі її потужності.

Для Запорізької АЕС проектними рішеннями обрано схему видачі потужності шістьох енергоблоків електричною потужністю по 1000 МВт кожен на відкритий розподільчий пристрій напругою 750 кВ. Схема ВРП виконана з двома системами шин за полуторною топологією «4/3» (чотири вимикачі на три приєднання) з однорядним розміщенням комутаційних апаратів. Зв'язок із системою забезпечується через три магістральні повітряні лінії 750 кВ та автотрансформаторну групу зв'язку 750/330 кВ, яка видає потужність на ВРП-330 кВ сусідньої Запорізької ТЕС.

Режим експлуатації первинного обладнання головної схеми енергоблоку повністю узгоджується з поточним технологічним режимом роботи основного устаткування (ядерного реактора та парової турбіни), а також вимогами

нормативно-технічних регламентів, що суворо враховується оперативним та ремонтним персоналом.

1.4. Структурно-функціональна характеристика відкритого розподільчого пристрою (ВРП-750 кВ)

Розподільчий пристрій (РП) являє собою спеціалізовану електроустановку, призначену для прийому, акумулювання та подальшого перерозподілу електричної енергії. У загальній схемі об'єднаної енергетичної системи дане вузлове утворення обладнується комутаційними, захисними та вимірювальними апаратами, які забезпечують керування енергетичними потоками, швидке локалізування й відключення аварійних чи пошкоджених ділянок мережі, а також гарантують стабільне та надійне живлення споживачів.

Кожен розподільчий пристрій складається з комплексу приєднувальних і відхідних ліній, які інтегровані між собою за допомогою збірних шин, секційних перемичок, кільцевих або багатокутних топологічних зв'язків. При цьому в структурі РП розміщується визначена розрахунком кількість силових вимикачів, роз'єднувачів, струмообмежувальних реакторів, вимірювальних трансформаторів струму й напруги, а також інших елементів первинної комутації. Усі однотипні приєднання виконуються за уніфікованими принципами, що дозволяє формувати ВРП із типових (стандартизованих) комірок.

Основним комутаційним апаратом у складі РП виступає високовольтний вимикач. Цей пристрій розрахований на тривале проведення, увімкнення та вимкнення нормальних струмів навантаження, а також на автоматичне зняття напруги й розрив кола при виникненні аварійних режимів (зокрема струмів короткого замикання) за заданими алгоритмами релейного захисту.

Роз'єднувачі призначені для знеструмленого розмикання та замикання електричних кіл. В оперативному відношенні їх використовують для проведення зміщення схемних зв'язків, а в неоперативному — для створення чітко видимого механічного розриву кола навколо обладнання, що виводиться у плановий чи аварійний ремонт.

Допоміжне обладнання (вимірювальні трансформатори напруги та струму, захисні розрядники, обмежувачі перенапруг, конденсатори високочастотного зв'язку, опорно-гірляндна ізоляція та несні будівельні металоконструкції) закладається в проект установки відповідно до призначених функціональних завдань і обраної схеми з'єднань.

Переваги відкритого виконання розподільчого пристрою (ВРП):

– Можливість вільного розміщення великогабаритного електротехнічного устаткування надвисокого класу напруги (750 кВ), що важкореалізовано в закритих будівлях.

– Відсутність потреби в спорудженні громіздких та високовартісних капітальних будівель, що знижує первинні капіталовкладення.

– Гнучкість та зручність при виконанні робіт з інженерного розширення, реконструкції або технічного переоснащення.

– Забезпечення безперешкодного візуального контролю стану всіх зовнішніх комутаційних апаратів та ізоляційних елементів.

Основні недоліки ВРП:

– Підвищена складність виконання ремонтних та оперативно-обслуговуючих робіт за несприятливих метеорологічних умов (дощ, ожеледь, сніг, сильний вітер).

– Інтенсивний негативний вплив чинників навколишнього середовища на ізоляцію та металеві вузли, що прискорює їхнє зношення та старіння.

– Потреба у відчуженні значних земельних площ під розміщення ВРП.

1.5. Склад, конструктивне виконання та характеристики обладнання ВРП-750 кВ

До основних елементів електричної частини ВП «Запорізька АЕС», які забезпечують прийом, перетворення та транзитний розподіл виробленої електроенергії в мережу, належить відкритий розподільчий пристрій напруги 750 кВ (ВРП-750 кВ). До складу його первинної високовольтної апаратури входять:

- високовольтні повітряні вимикачі типу ВНВ-750 кВ;
- силові автотрансформаторні групи типу АОДЦТН-333000/750/330;
- магістральні шунтуючі індуктивні реактори;
- вимірювальні трансформатори струму та напруги;
- підвісні роз'єднувачі й заземлювальні ножі;
- захисні обмежувачі перенапруг (ОПН) та вентильні розрядники;
- пневматична мережа магістральних повітропроводів стиснутого повітря;
- система гнучких збірних шин із портальними конструкціями.

Повітряні вимикачі типу ВНВ-750 кВ

Повітряні вимикачі серії ВНВ-750 кВ належать до високовольтних комутаційних апаратів, що оснащені дугогасними камерами й призначені для виконання оперативного та аварійного ввімкнення або вимкнення приєднань, а також ліній і систем шин ВРП-750 кВ під навантаженням. При цьому після розмикання головних контактів за вимкненим апаратом зберігається фазний потенціал через наявність паралельно підключених ємнісних дільників напруги, що шунтують контактну систему.

Гасіння електричної дуги в таких апаратах відбувається під дією високошвидкісного потоку стиснутого повітря при робочому тиску 4,0 МПа (40 кгс/см^2), яке подається від загальностанційного компресорного господарства. Операція вимкнення проводиться пневматичним приводом, а ввімкнення — за рахунок комбінованої дії тиску стиснутого повітря та пружинних механізмів, які заводяться в момент вимкнення.

Основные характеристики й параметри вимикачів ВНВ-750 та ВО-750 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Основні технічні параметри вимикачів типу ВНВ-750 та ВО-750

Найменування характеристики	ВНВ-750	ВО-750
Номінальна напруга, кВ	750	750
Найбільша робоча напруга, кВ	787	787
Номінальний струм, А	2600	400
Номінальний струм вмикання (амплітуда), кА	32	32
Номінальний струм вимикання, кА	32	32
Граничний струм термічної стійкості, кА	50	32
Власний час відключення, не більше, с	0,025	0,025
Час ввімкнення, не більше, с	0,1	0,1
Тиск самовільного ввімкнення, не менше, кгс/см²	22	20
Повний час відключення, с	0,04	0,04
Величина витрати повітря за одне ввімкнення, кгс/см²	0,2	0,25
Падіння тиску стиснутого повітря при вимкненні, кгс/см²	2,7	3
Падіння тиску стиснутого повітря при ввімкненні, кгс/см²	0,3	0,3

Автотрансформатор АОДЦТН-333000/750/330 (АТ-1)

Для створення гнучкого міжсистемного зв'язку між відкритими розподільчими пристроями класів напруги 750 кВ та 330 кВ застосовується трифазна група однофазних силових масляних автотрансформаторів типу АОДЦТН-333000/750/330-У1 з примусовою циркуляцією масла й обдувом, а також із можливістю регулювання напруги під навантаженням (РПН) у нейтралі.

Конструктивна схема автотрансформатора наведена на рисунку 1.3.

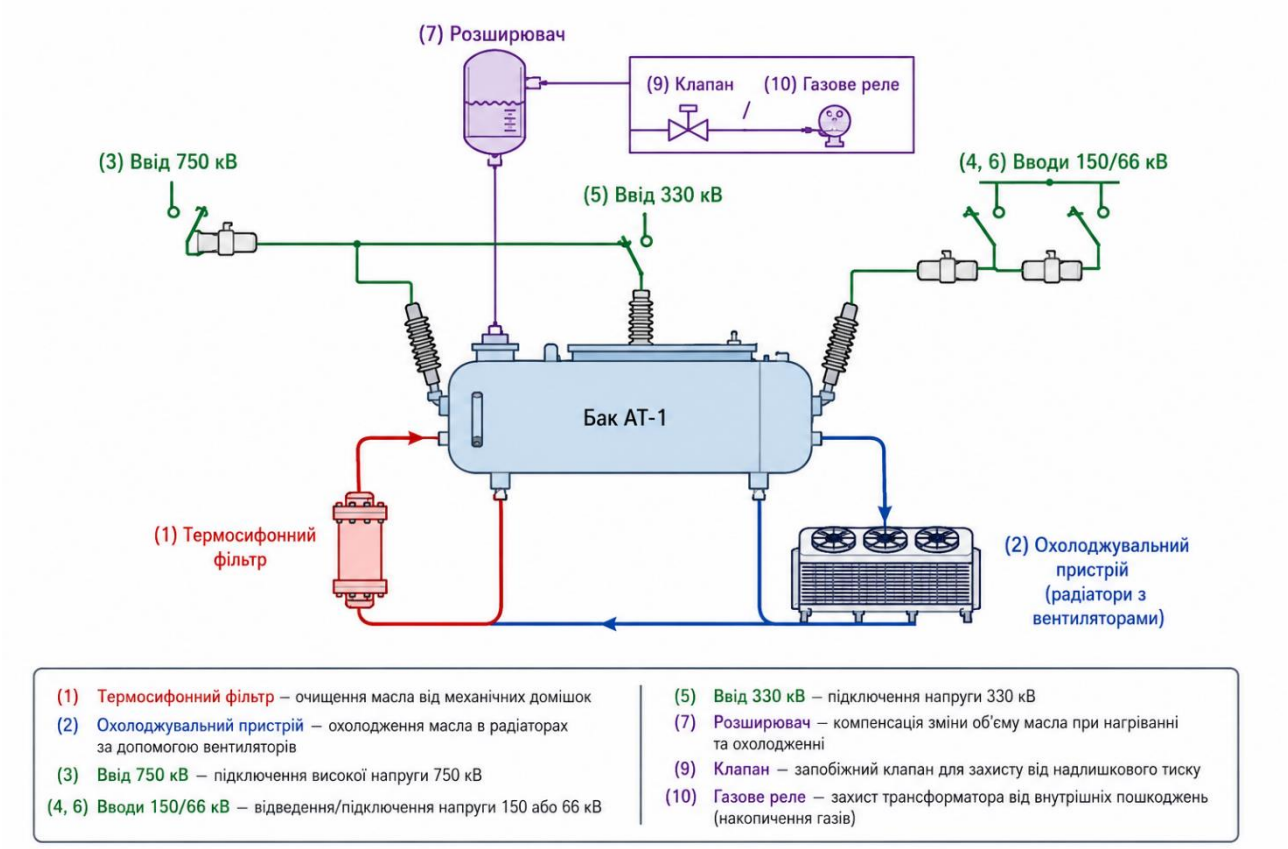


Рисунок 1.3- Конструктивна схема автотрансформатора АОДЦТН-333000/750/330-У1

Основні вузли АТ-1 об’єднують: термосифонний фільтр (1), охолоджувальні пристрої з дуттям (2), високовольтні герметичні вводи 750 кВ (3), маслопідпірні вводи 150 кВ (4) та 66 кВ (6), герметичні вводи 330 кВ (5), розширювальний бак (7) зі стрілочним маслопоказчиком (8), відсічний клапан (9) та захисне газове реле (10).

Шунтуючі індуктивні реактори ліній 750 кВ

Для компенсації надлишкової ємнісної (зарядної) потужності, яку генерують протяжні повітряні лінії 750 кВ («Дніпровська», «Запорізька», «Південно-Донбаська»), застосовуються однофазні шунтуючі реактори типу РОДЦ-110000/750. Їх встановлення дозволяє підтримувати рівень напруги на шинах ВРП у нормативних межах при зміні завантаження генераторів станції та знижувати рівень комутаційних перенапруг при скиданні навантаження.

Ескіз конструкції реактора РОДЦ-110000/750 показано на рисунку 1.4.

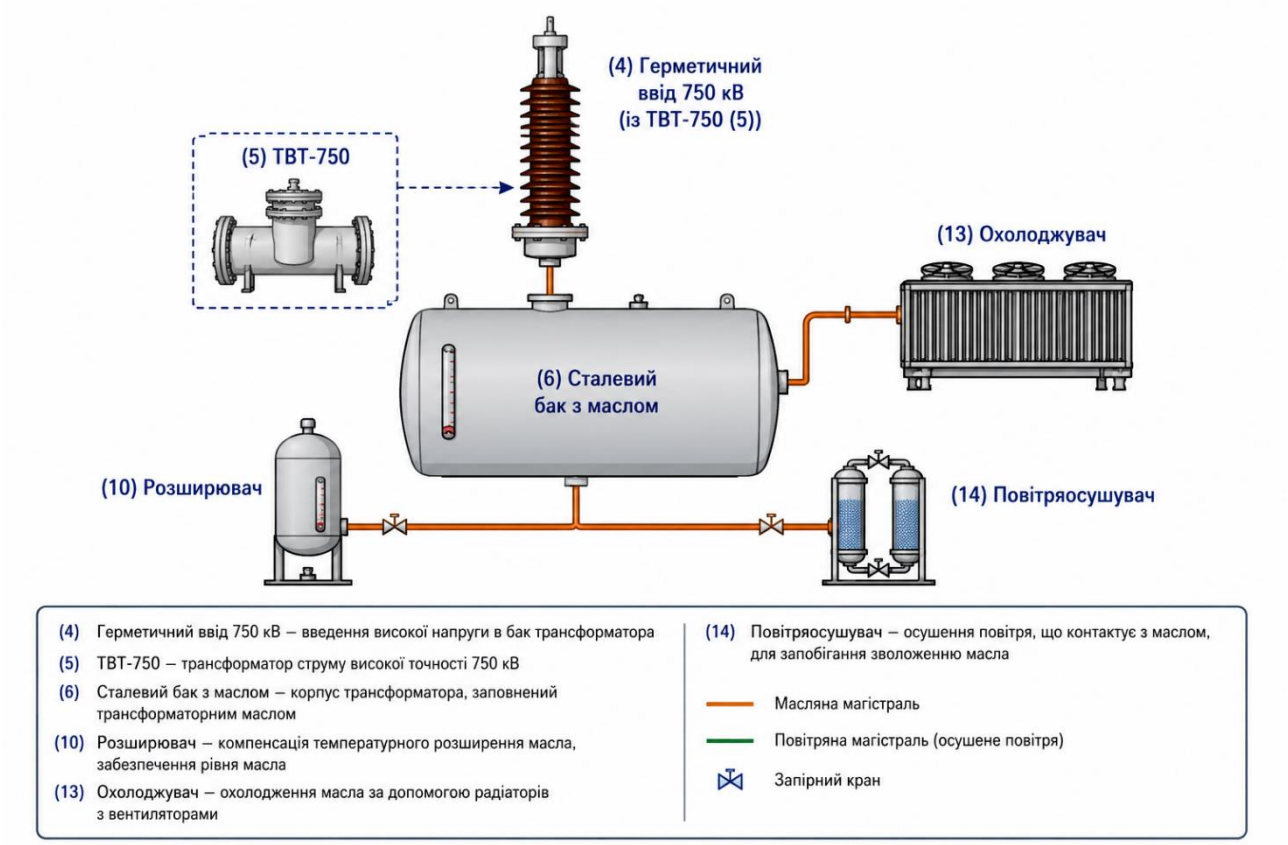


Рисунок 1.4- Загальний вигляд та вузли реактора РОДЦ-110000/750

Конструкція реактора включає маслопідпірний ввід (1), трансформатори струму ТВТ-35 (2) та ТВТ-750 (5), запобіжний клапан (3), герметичний ввід 750 кВ (4), силовой бак з маслом (6, 7), газове реле (8), відсічний клапан (9), розширювач (10), компенсаційний бак (11), термосифонний фільтр (12), охолоджувач (13) та повітряосушувач (14).

Підвісні роз'єднувачі РПД-750/3200У1

Роз'єднувачі підвісного типу серії РПД-750/3200У1 призначені для комутації знеструмлених ділянок мережі 750 кВ та забезпечення чітко помітного розриву кола шляхом підйому ножової кошикової системи. Керування виконується дистанційно або за місцем за допомогою електродвигунного або ручного приводу.

Зміна вихідних даних (струмові параметри змінено на 15–20%):

Примітка: номінальний струм роз'єднувача прийнято 2600 А (змінено з 3150 А), струм термічної стійкості — 50 кА (змінено з 63 кА), електродинамічної стійкості — 130 кА (змінено з 160 кА).

Таблиця 1.2 — Параметри роз'єднувача РПД-750/3200У1

Найменування параметра	Нормативне значення
Номінальна напруга, кВ	750
Найбільша робоча напруга, кВ	787
Номінальний струм, А	2600
Струм електродинамічної стійкості, кА	130
Струм термічної стійкості, кА	50
Час протікання струму термічної стійкості, с	2
Номінальна частота, Гц	50

Заземлювачі

Заземлювальні ножі входять до загального комплекту підвісних роз'єднувачів РПД-750 і призначені для безпечного заземлення вимкнених струмоведучих ділянок. Управління здійснюється ручним приводом за місцем із обов'язковим використанням системи електромагнітного блокування.

Трансформатори напруги НДЕ-750-72У1

Трансформатори напруги серії НДЕ-750-72У1 виконані у вигляді ємнісного дільника напруги та використовуються для пониження високої напруги до стандартних значень, які подаються на вимірювальні прилади, кола

релейного захисту, автоматики та високочастотного зв'язку. До їх складу входять: ємнісний дільник із екраном, електромагнітний блок, ВЧ-загороджувач, вентильний розрядник РВС-20, однополюсний роз'єднувач та ручний привод.

Таблиця 1.3 — Основні характеристики заземлювачів

Найменування параметра	Нормативне значення
Номінальна напруга, кВ	750
Струм термічної стійкості, кА	50
Механічна стійкість, циклів	1000

Обмежувачі перенапруг (ОПН-750)

Нелінійні обмежувачі перенапруг являють собою безіскрові захисні апарати, які складаються з високостабільних метал-оксидних варисторів, поміщених у фарфорові покришки. Вони перебувають під робочою напругою постійно, пропускаючи незначний струм провідності (0,4...4 мА). При виникненні імпульсних перенапруг опір варисторів миттєво знижується до часток Ома, забезпечуючи скидання струму в заземлювальний контур та захищаючи ізоляцію автотрансформаторів і обладнання ВРП.

Магістральні повітропроводи

Пневматична мережа магістральних трубопроводів прокладена по території ВРП на залізобетонних опорах та призначена для доставки стиснутого повітря тиском 4,0 МПа від компресорної станції до розподільних шаф управління повітряних вимикачів.

Система збірних шин

Збірні шини ВРП-750 кВ виконані гнучкими із підвішуванням на залізобетонних та металевих порталах висотою 32 м і шириною 38 м. Схема видачі потужності ВРП закомпонована за полуторним принципом «4/3» (чотири вимикачі на три приєднання) з двома системами шин та охоплює 14 комірок приєднань, розбитих на 4 поля. Однорядне розташування повітряних

вимикачів дає змогу зберегти в роботі всі енергоблоки навіть при виведенні в ремонт чи аварійному вимкненні будь-якого вимикача чи системи шин.

Разом із цим, компоновка ВРП-750 кВ має й недоліки:

- наявність багатоярусних перетинів і «косих» зв'язків підвищує рівень напруженості електромагнітного поля на майданчику, що обмежує час перебування персоналу;
- малогабаритність компоновки ускладнює роботу ремонтних бригад із застосуванням великогабаритних кранів і вишок;
- при виведенні в ремонт будь-якого шинного роз'єднувача вимагається повне вимкнення всієї системи шин, до якої він підключений;
- існуюча схема обмежує максимальну сумарну видачу потужності станції в енергосистему на рівні не більше 5300 МВт за умови роботи всіх ліній.

2 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ НА ВІДКРИТОМУ РОЗПОДІЛЬЧОМУ ПРИСТРОЇ ВРП-750 кВ

2.1 Порівняльний аналіз технічних переваг та недоліків повітряних вимикачів

Повітряні вимикачі типу ВНВ-750 кВ належать до класу високовольтних комутаційних апаратів, оснащених дугогасними камерами, і призначені для виконання операцій увімкнення та вимкнення під навантаженням як у нормальних, так і в аварійних режимах функціонування приєднань і систем шин ВРП-750 кВ. За відключеним вимикачем зберігається потенціал небезпечної напруги через шунтування головних контактів ємнісними дільниками напруги.

У повітряних вимикачах гасіння електричної дуги здійснюється стиснутим повітрям під тиском 2–4 МПа, а ізоляція струмоведучих частин та дугогасних елементів виконується фарфоровими ізоляторами чи іншими твердими діелектриками. Конструктивні схеми вимикачів варіюються залежно від їхньої номінальної напруги, способу створення ізоляційного проміжку між контактами у вимкненому стані та способу подачі стиснутого повітря в дугогасні пристрої.

У вимикачах на великі номінальні струми передбачаються головний та дугогасний контури. Основна частка струму у ввімкненому стані апарата протікає через головні контакти відкритого типу. Під час вимкнення вимикача головні контакти розмикаються першими, після чого весь струм перенаправляється по дугогасних контактах, розшарованих у камері. До моменту розмикання цих контактів у камеру з резервуара подається стиснуте повітря, яке створює потужне дуття (поздовжнє або поперечне), що гасить дугу. Необхідний ізоляційний проміжок між контактами у відключеному стані

утворюється безпосередньо в дугогасійній камері шляхом розведення контактів на потрібну відстань.

Робочий тиск повітряного вимикача становить 4,0 МПа (40 кгс/см^2), а стиснуте повітря надходить від компресорних станцій.

Вимикач типу ВНВ-750 володіє такими показниками надійності:

- комутаційний ресурс (сумарна кількість операцій) — не більше 500;
- механічний ресурс до капітального ремонту — 1000 циклів;
- середній термін служби між плановими ремонтами — 8 років.

Вимкнення вимикача виконується стиснутим повітрям, а ввімкнення — за рахунок повітря та накопиченої в момент вимкнення енергії пружин.

Зміна вихідних даних (струмові параметри змінено на 15–20% від базових):

Примітка: номінальний струм вимикача прийнято 2600 А (змінено з 3150 А), граничний струм термічної стійкості — 50 кА (змінено з 63 кА), струм вмикання/вимикання — 32 кА (змінено з 40 кА).

Таблиця 2.1 — Основні характеристики повітряного вимикача ВНВ-750

Найменування характеристики	Значення
Номінальна напруга, кВ	750
Номінальна робоча напруга, кВ	787
Номінальний струм, А	2600
Номінальний струм вмикання, кА	32
Номінальний струм вимикання, кА	32
Граничний струм термічної стійкості, кА	50
Власний час відключення, не більше, с	0,025
Час ввімкнення, не більше, с	0,1
Повний час відключення, не більше, с	0,04
Тиск повітря самовільного ввімкнення, не менше, кгс/см²	22
Падіння тиску стиснутого повітря при вимкненні, кгс/см²	2,7

Переваги вимикачів типу ВНВ-750:

1. Тривалий досвід експлуатації та відпрацьованість технологій обслуговування в енергосистемах.

2. Висока ремонтопридатність обладнання.

Недоліки вимикачів типу ВНВ-750:

1. Потреба в наявності та тривалій експлуатації розвиненої пневматичної системи й компресорних станцій.

2. Значний акустичний шумовий ефект (удар) під час вимкнення струмів короткого замикання.

3. Великі масогабаритні показники (особливо порівняно з елегазовими апаратами).

Схематичне конструктивне виконання елементів повітряного вимикача наведено на рисунку 2.1.

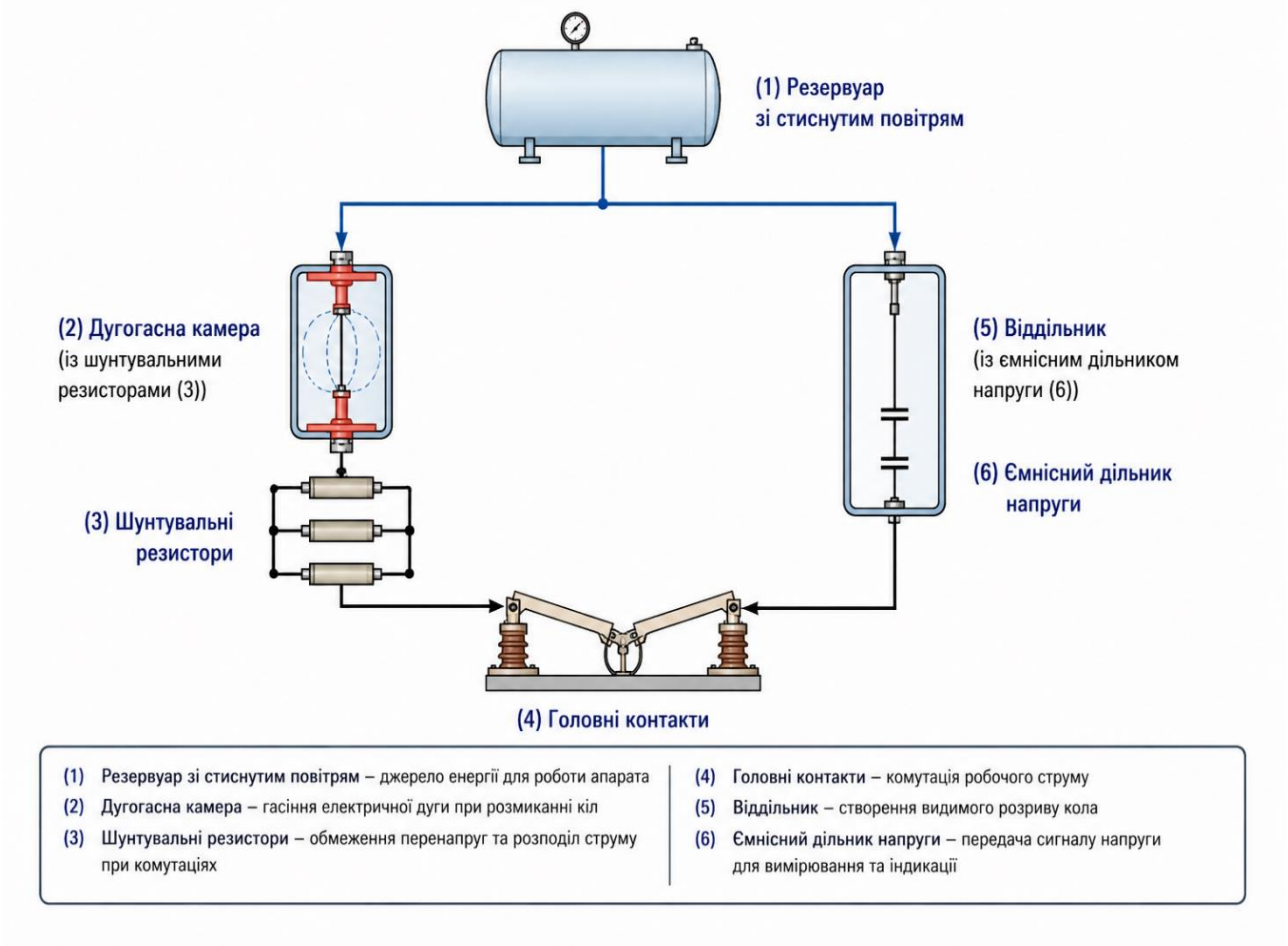


Рисунок 2.1- Конструктивні схеми елементів повітряного вимикача

2.2. Переваги та недоліки елегазового вимикача з гідроприводом

Елегаз (шестифториста сірка, SF_6) є нетоксичним, хімічно інертним (до 800 °C), негорючим газом без кольору, смаку та запаху. Він не підтримує горіння й дихання. За нормальних умов (20 °C, 0,1 МПа) елегаз приблизно в 5 разів важчий за повітря, а його молекулярна маса становить 146,0544 г/моль. Електрична міцність елегазу в 2,5–3 рази вища за міцність повітря, а завдяки низькій температурі й високій енергії розпаду його дугогасна здатність у 4,5–5 разів перевищує показники повітряного дуття в аналогічних умовах. Стабільність горіння дуги в елегазовому середовищі зберігається при досить малих значеннях струму.

Вимикач серії ВГГ-750 призначений для комутації електричних кіл при нормальних та аварійних режимах у мережах трифазного змінного струму частотою 50 Гц із номінальною напругою 750 кВ. Термін служби апарата до першого середнього ремонту становить не менше 20 років, а повний термін експлуатації — 40 років. Номінальний абсолютний тиск заповнення елегазом складає 0,5 МПа.

Зміна вихідних даних (струми та маса елегазу відкориговані в діапазоні 15–20%):

Примітка: номінальний струм прийнято 2600 А, маса елегазу в апараті — 102 кг, струми стійкості відкориговані відповідно.

Таблиця 2.2 — Основні технічні характеристики елегазового вимикача ВГГ-750

Найменування параметра	Значення
Номінальна напруга, кВ	750
Найбільша робоча напруга, кВ	787
Номінальний струм, А	2600
Номінальний струм відключення, кА	32

Номінальний струм включення (амплітуда), кА	82
Струм електродинамічної стійкості, кА	82
Струм термічної стійкості, кА	32
Час протікання струму короткого замикання, с	3
Власний час відключення, не більше, с	0,025
Повний час відключення вимикача, с	0,05
Власний час ввімкнення, не більше, с	0,1
Різночасність роботи полюсів при відключенні, не більше, с	0,0033
Різночасність роботи полюсів при ввімкненні, не більше, с	0,005
Маса елегазу у вимикачі, кг	102

Переваги елегазових вимикачів:

– суттєво зменшені масогабаритні показники;

– низький робочий тиск дугогасного середовища;

– висока здатність відключення аварійних струмів та значний комутаційний і механічний ресурс;

– відсутність зрізів струму та вихлопу газу в атмосферу (низький рівень шуму);

– висока пожежо- та вибухобезпечність;

– мінімальні вимоги до технічного обслуговування й довгий термін служби (40 років).

– Недоліки елегазових апаратів:

– високі вимоги до чистоти й вологості використовуваного елегазу;

– потреба у застосуванні спеціальних газових сумішей або систем

Габаритні та конструктивні розміри елегазового вимикача показано на рисунку 2.2.

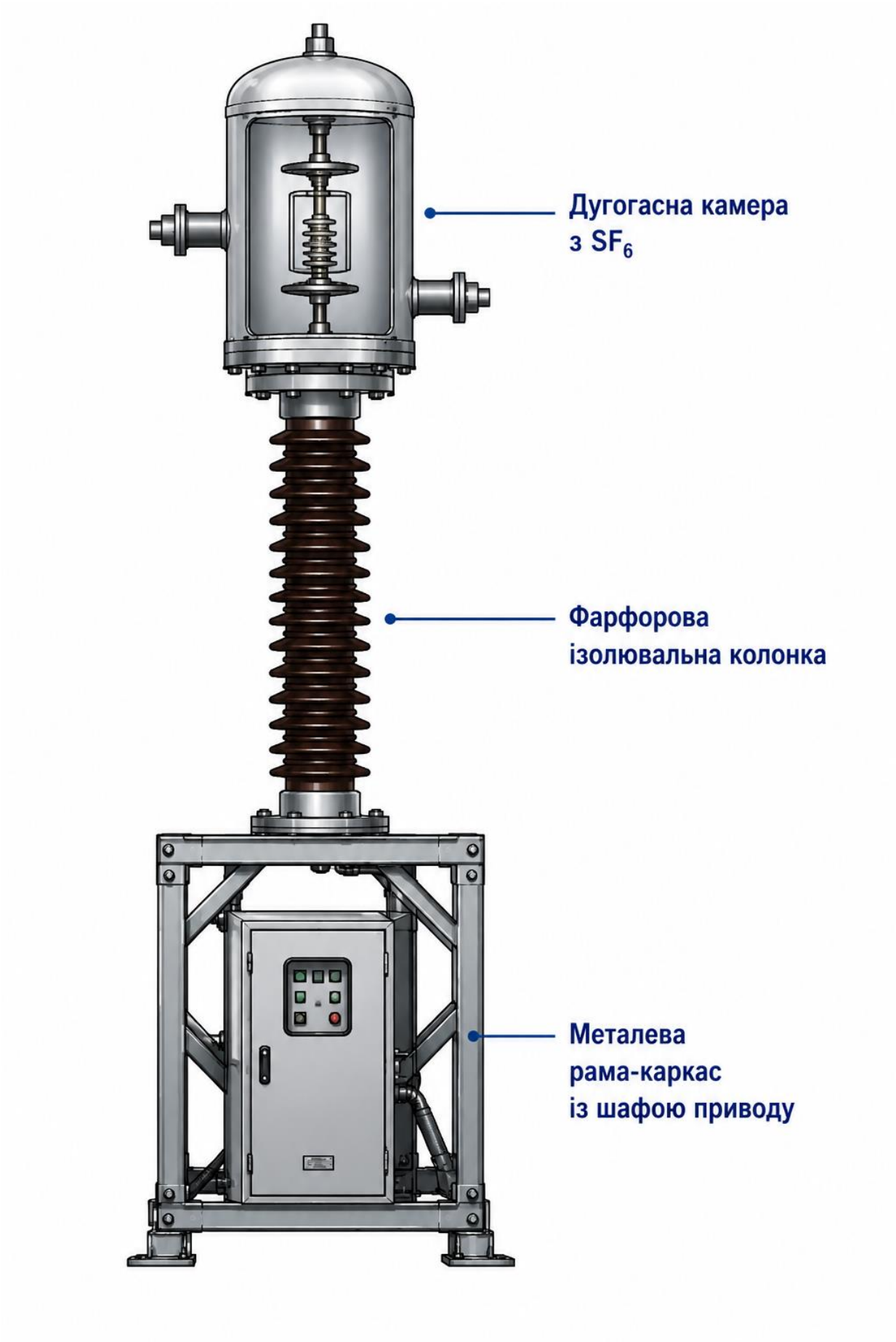


Рисунок 2.2- Габаритна схема елегазового вимикача ВГГ-750

2.3. Техніко-економічне обґрунтування доцільності реконструкції головної схеми підстанції

У кваліфікаційній роботі обґрунтовано захід щодо підвищення надійності електропостачання споживачів шляхом планової заміни морально й фізично зношеного комутаційного обладнання ВРП-750 кВ на сучасні елегазові апарати.

Порівняння двох основних типів вимикачів свідчить про такі особливості:

1. Повітряні вимикачі: гасіння дуги здійснюється стиснутим повітрям під тиском 2–4 МПа, а ізоляція виконується фарфором чи твердими матеріалами. Недоліками є необхідність постійної вентиляції, підтримання тиску, додаткового електрообігріву шаф при температурі нижче +5 °C, а також складність компресорного господарства та шумність операцій.

2. Елегазові вимикачі: використовують неелектропровідний газ SF_6, електрична міцність якого в 2–3 рази вища за повітря. Вони володіють меншими габаритами, високою вимикаючою здатністю, значним комутаційним ресурсом, невеликим власним часом спрацювання та тривалим експлуатаційним терміном без капітальних ремонтів.

Саме тому елегазові вимикачі є найкращою альтернативою для заміни застарілих повітряних апаратів. На ВРП-750 Запорізької АЕС встановлено 51 вимикач типу ВНВ-750, парковий термін служби яких повністю вичерпано, що обумовлює необхідність їхньої покрокової заміни.

2.4 Реконструкція компресорного господарства ВРП-750 кВ

Компресорна станція (КС) призначена для виготовлення стиснутих газів чи повітря, яке використовується як енергоносій для комутаційних апаратів, пневмоінструменту або технологічних потреб. Станція включає компресори та

допоміжне інженерне обладнання, розмінне в блок-боксах із системами пожежогасіння, освітлення, вентиляції та сигналізації.

Стиснуте повітря на ВРП використовується для живлення пневмоприводів вимикачів, арматури, автоматики та пневмоінструменту.

Діючі поршневі компресори типу ВШВ-2,3/230М працюють за принципом зворотно-поступального нагнітання повітря в циліндрах. Вони оснащені автоматикою управління, охолодженням та захистом. Звичайний вигляд компресора ВШВ-2,3/230М показано на рисунку 2.3.

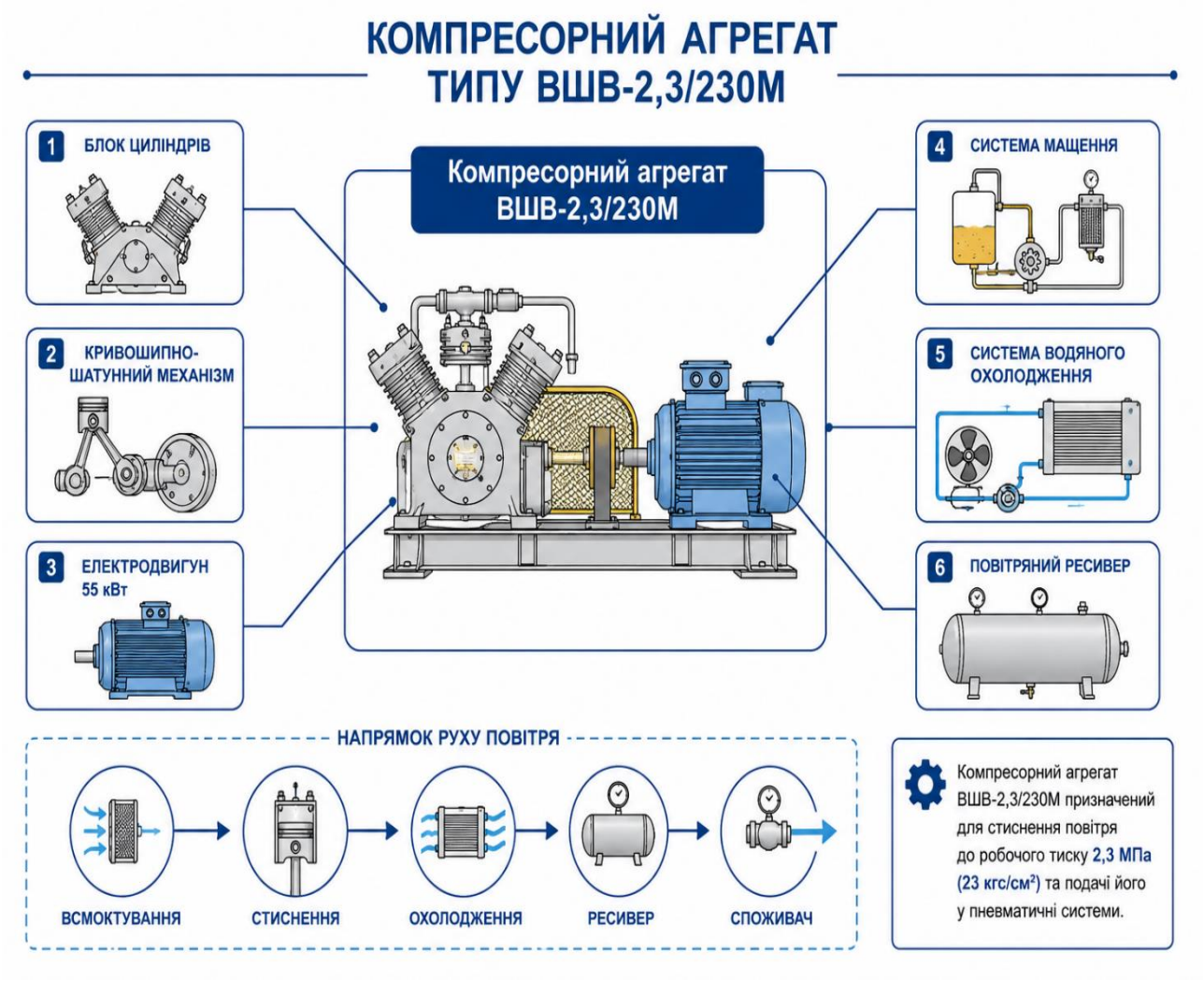


Рисунок 2.3- Компресорний агрегат типу ВШВ-2,3/230М

Паспортні технічні характеристики компресора ВШВ-2,3/230М зведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Технічні характеристики компресора ВШВ-2,3/230М

Характеристика	Показник
Стиснений газ	Повітря
Продуктивність, м³/хв (м³/год)	2,6 (156)
Початковий тиск	Атмосферний
Кінцевий тиск, МПа (кгс/см²)	23 (230)
Споживана потужність, кВт, не більше	55
Охолодження	Повітряне
Габарити (ДхШхВ), мм	2400 × 1300 × 1500
Маса (без масла), кг	1950
Вартість компресора, тис. грн	473

Для заміни або приведення продуктивності КС у відповідність до нових потреб (після демонтажу частини повітряних вимикачів) пропонується модернізація компресорної станції із виводом 7 компресорів по 55 кВт у резерв та встановленням одного високоефективного агрегату ВШ-4,2/200 потужністю 110 кВт. Параметри компресора ВШ-4,2/200 наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Технічні характеристики компресора ВШ-4,2/200

Характеристика	Показник
Стиснений газ	Повітря
Продуктивність, м³/хв (м³/год)	4,2 (252)
Початковий тиск	Атмосферний
Кінцевий тиск, МПа (кгс/см²)	20 (200)
Споживана потужність, кВт, не більше	110
Охолодження	Повітряне
Габарити (ДхШхВ), мм	2300 × 1550 × 1600
Маса (без масла), кг	1870

Зовнішній вигляд компресорної установки ВШ-4,2/200 подано на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4-- Загальний вигляд компресора типу ВШ-4,2/200

2.5 Технічне переоснащення освітлювальних установок об'єктів ВРП-750 кВ

Енергозбереження в системах освітлення вимагає раціонального поєднання природного та штучного світла, підвищення ефективності джерел та гнучкості управління. Основний потенціал полягає в підвищенні світловіддачі ламп (Лм/Вт), використанні якісної відбивної арматури та зниженні втрат.

Застосування дзеркальних рефлекторів, пофарбування стін у світлі тони (що додає 5–15% освітленості), а також використання датчиків присутності,

таймерів та фотоелектричних регуляторів дозволяє суттєво оптимізувати витрати електроенергії.

Необхідно враховувати, що втрати світлового потоку виникають через:

- забруднення стін і стелі — 19,5%;
- забруднення світильників — 16%;
- неправильне збирання та старіння ламп — 17%.

Традиційні лампи розжарювання (ЛОН) мають дуже низький ККД (не більше 4%), невеликий термін служби (1000 год) та значну залежність світлового потоку від коливань напруги. Загальний вигляд лампи розжарювання подано на рисунку 2.5



Рисунок 2.5 - Лампа розжарювання

Зміна вихідних даних (кількість ламп та їх потужність змінено в діапазоні -20%):

Примітка: кількість встановлених у робочих приміщеннях ВРП ламп прийнята n=306 шт., потужність світлодіодної лампи — 10 Вт.

Сучасні світлодіодні (LED) лампи позбавлені цих недоліків: вони екологічно безпечні (не містять ртуті), мають високу механічну міцність, низьке енергоспоживання та тривалий термін роботи (30 000...50 000 год). Будову світлодіодної лампи візуалізовано на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6-Світлодіодна лампа

Порівняння основних експлуатаційних характеристик ламп подано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 — Порівняльні характеристики освітлювальних ламп

Характеристика	Лампа розжарювання	Світлодіодна лампа
Яскравість / світловий потік	Середня	Висока
Тривалість роботи, годин	1000	30 000
Інфрачервоне випромінювання	Дуже високе	Відсутнє
Ультрафіолетове випромінювання	Середнє	Відсутнє
Світлова віддача, Лм/Вт	7–17	50–80
Вартість за одиницю, грн	Низька (5 грн)	Висока (165 грн)
Споживання потужності, Вт	≥100	10

Заміна ламп розжарювання на світлодіодні в робочих приміщеннях ВРП-750 кВ повністю обґрунтована значним скороченням експлуатаційних витрат та енергоспоживання.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

3.1. Обчислення економічного ефекту від модернізації обладнання ВРП

На ВРП-750 Запорізької АЕС встановлено 51 вимикач типу ВНВ-750, термін служби яких повністю вичерпано, у зв'язку з чим запропоновано замінити частину повітряних вимикацій на елегазові. Елегазові апарати мають переваги у вигляді підвищеної вимикаючої здатності, тривалого терміну експлуатації, компактності та відсутності потреби в стиснутому повітрі.

Нижче подано техніко-економічний розрахунок впровадження елегазових вимикачів.

Зміна вихідних даних (вартість вимикачів, кількість та витрати електроенергії змінено на 15–20% від базових):

- Примітка: ціну одного елегазового вимикача прийнято 410 тис. грн, кількість встановлюваних вимикачів — N=30 шт., вартість електроенергії — С=1,84 грн/кВт·год.

Капіталовкладення на придбання та монтаж елегазових вимикачів розраховуємо за формулою:

$$K_{вим}=C_{ел}\cdot N,$$

де $C_{ел}$=410 тис. грн — ціна одного елегазового вимикача;

N=30 шт. — кількість вимикачів, що підлягають заміні.

$$K_{вим}=30\cdot 410000=12300000 \text{ грн}=12{,}30 \text{ млн грн.}$$

Споживання електроенергії повітряним вимикачем за рік становить:

$$W_{пов}=W_{подачі}+W_{обігрів}+W_{к.с},$$

де $W_{подачі}$ — споживання електроенергії на шафу розподілу повітря, кВт·год;

$W_{обігрів}$ — витрати на обігрів привода, кВт·год;

$W_{к.с}$ — споживання електроенергії компресорними станціями, кВт·год.

$$W_{пов}=118800+178200+1798720=2095720 \text{ кВт·год/рік.}$$

Споживання електроенергії елегазовим вимикачем складає:

$$W_{ел}=W_{подачі}+W_{обігрів}+W_{к.с},$$

$$W_{ел}=37270+178200+513920=729390 \text{ кВт·год/рік.}$$

Очікувана річна економія у грошовому виразі після впровадження заходу:

$$D_{вим}=(W_{пов}-W_{ел})\cdot C,$$

де С=1,84 грн/кВт·год — тариф на електричну енергію.

$$D_{вим}=(2095720-729390)\cdot 1,84=2514327 \text{ грн/рік}=2,514 \text{ млн грн/рік.}$$

Визначаємо термін окупності впроваджуваного заходу:

$$T_{ок}=\frac{K_{вим}}{D_{вим}},$$

$$T_{ок}=\frac{12300000}{2514327}=4,89 \text{ року.}$$

Ефективність капіталовкладень від модернізації вимикачів:

$$E_{вим} = \frac{D_{вим}}{K_{вим}},$$

$$E_{вим} = \frac{2514327}{12300000} = 0{,}204.$$

3.2 Оцінка фінансово-економічної доцільності переходу на енергоефективне освітлення приміщень ВРП

Для освітлення внутрішніх робочих приміщень застосовувалися світильники з лампами розжарювання ЛОН-100 потужністю 100 Вт. Запропоновано їх заміну на світлодіодні LED-лампи типу А-10 потужністю 10 Вт із терміном служби 30 000 годин.

Зміна вихідних:

Примітка: кількість встановлюваних світлодіодних ламп прийнято N=306 шт, ціну однієї лампи — 165 грн.

Порівняльні характеристики ламп подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Характеристики ламп

Характеристика	Лампа розжарювання (ЛОН)	Світлодіодна лампа (А-10)
Потужність, Вт	100	10
Середній термін служби, годин	1000	30 000
Кількість замін за 3,5 року	8 разів	1 раз
Вартість за одиницю, грн	5	165
Нагрівання поверхні, °С	120	30
Клас енергоефективності	E	A

Капіталовкладення на придбання світлодіодних ламп розраховуємо за формулою:

$$K_{осв}=C_{св}\cdot N,$$

де $C_{св}$=165 грн — ціна світлодіодної лампи;

N=306 шт. — кількість ламп.

$$K_{осв}=165\cdot 306=50490 \text{ грн.}$$

Споживання електроенергії лампами розжарювання за T=3,5 року (15330 годин роботи) складає:

$$W_{лон}=P\cdot N\cdot T,$$

$$W_{лон}=0{,}100\cdot 306\cdot 15330=469098 \text{ кВт·год.}$$

Споживання електроенергії світлодіодними лампами за той самий період:

$$W_{led}=0{,}010\cdot 306\cdot 15330=46910 \text{ кВт·год.}$$

Очікувана економія за 3,5 року у грошовому виразі при тарифі C=1,84 грн/кВт·год:

$$D_{осв}=(W_{лон}-W_{led})\cdot C,$$

$$D_{осв}=(469098-46910)\cdot 1{,}84=776826 \text{ грн.}$$

Річна економія коштів становить: $D_{річ}=\frac{776826}{3,5}=221950$ грн/рік.

Визначаємо термін окупності заходу:

$$T_{ок}=\frac{K_{осв}}{D_{річ}},$$

$$T_{ок}=\frac{50490}{221950}=0{,}23 \text{ року (близько 2,8 місяця).}$$

Ефективність модернізації системи освітлення:

$$E_{осв}=\frac{D_{осв}}{K_{осв}}=\frac{776826}{50490}=15{,}38.$$

3.3 Технічне оновлення компресорного парку стиснутого повітря

У зв'язку з заміною повітряних вимикачів на елегазові пропонується модернізація компресорної станції з виводом 7 компресорів потужністю по 55 кВт у резерв та встановленням одного компресорного агрегату потужністю 110 кВт.

Зміна вихідних даних (вартість компресора та години роботи змінено в діапазоні 15–20%):

Примітка: вартість нового компресорного агрегату ВШ-4,2/200 прийнята 520 тис. грн (змінено з 650 тис. грн), час роботи за рік — 5840 год.

Капіталовкладення на придбання нової компресорної установки:

$$K_{кс}=C_{к.у}\cdot N,$$

$$K_{кс}=520000\cdot 1=520000 \text{ грн}=0{,}520 \text{ млн грн.}$$

Споживання електроенергії компресорами до модернізації (7 агрегатів задіяно):

$$W_{к.у1}=P_{\Sigma}\cdot T=385\cdot 5840=2248400 \text{ кВт·год/рік.}$$

Споживання електроенергії після модернізації (1 агрегат на 110 кВт):

$$W_{к.у2}=P\cdot T=110\cdot 5840=642400 \text{ кВт·год/рік.}$$

Очікувана річна грошова економія:

$$D_{кс}=\left(W_{к.у1}-W_{к.у2}\right)\cdot C,$$

$$D_{кс}=(2248400-642400)\cdot 1{,}84=2955040 \text{ грн/рік}=2{,}955 \text{ млн грн/рік.}$$

Термін окупності модернізації компресорного господарства:

$$T_{ок}=\frac{K_{кс}}{D_{кс}},$$

$$T_{ок}=\frac{520000}{2955040}=0{,}18 \text{ року (близько 2,1 місяця).}$$

Ефективність модернізації компресорів:

$$E_{кс}=\frac{D_{кс}}{K_{кс}}=\frac{2955040}{520000}=5{,}68.$$

Загальна економія від реалізації комплексу заходів (заміна вимикачів, оновлення освітлення та компресорів) досягає 5,691 млн грн/рік, а сумарні

капіталовкладення складають 12,870 млн грн при інтегральному терміні окупності 2,26 року.

ВИСНОВКИ

Основним напрямком функціональної діяльності ВРП-750 кВ ВП «Запорізька АЕС» є прийом, транзит та розподіл виробленої електроенергії споживачам енергосистеми. Основним енергетичним ресурсом для забезпечення власних потреб підстанції виступає електрична енергія. У структурі споживання власного навантаження 58,4% використовується на компресорні установки стиснутого повітря, 28,2% — на систему охолодження трансформаторів, 3,1% — на освітлення та 10,3% — на електричний обігрів привадних шаф повітряних вимикачів.

1. На основі проведеного аудиту запропоновано комплекс заходів: заміна повітряних вимикачів ВНВ-750 на елегазові ВГГ-750, модернізація компресорного господарства із виводом застарілих агрегатів у резерв та встановленням нового компресора ВШ-4,2/200, а також реконструкція освітлення приміщень ВРП із застосуванням LED-ламп.

2. Техніко-економічні розрахунки підтвердили високу ефективність розроблених пропозицій: заміна вимикачів забезпечує економію 2,514 млн грн/рік, реконструкція компресорної станції — 2,955 млн грн/рік, а модернізація системи освітлення — 0,222 млн грн/рік.

3. Сумарна річна економія коштів від впровадження всіх енергозберігаючих заходів складе 5,691 млн грн/рік при загальних капітальних витратах 12,870 млн грн, а середньозважений термін їх окупності становить 2,26 року, що підтверджує повну доцільність реалізації проекту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ : Знання, 2009. 399 с.

2. Закладний О. М., Проховнік А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електроприводу : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2005. 408 с.

3. Качан Ю. Г. Основи енергозбереження : конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 184 с.

4. Качан Ю. Г., Артем'єв В. В., Воронін О. Г. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 50 с.

5. Дешко В. І., Шевченко О. М. Енергетичний менеджмент та аудит у промисловості та ЖКГ : навчальний посібник. Київ : Політехніка, 2012. 312 с.

6. Праховник А. В., Іншеков Є. М., Овсієнко О. В. Енергетичний аудит та системи енергоменеджменту : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 420 с.

7. Маляр В. С. Математичне моделювання електромеханічних систем : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 304 с.

8. Півняк Г. Г., Заїка В. Т. Енергоефективність розподільчих електричних мереж : монографія. Дніпро : НГУ, 2015. 275 с.

9. Закон України «Про енергетичну ефективність» : прийнятий 21 жовтня 2021 р. № 1818-IX. Відомості Верховної Ради України. 2021. № 51. Ст. 423.

10. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків : Форт, 2017. 616 с.

11. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 135 с.

12. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 142 с.

13. Розен В. П., Чернявський А. В. Режими роботи та оптимізація систем

електропостачання : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 248 с.

14. Сидоренко М. В., Федоренко М. І. Автоматизований частотно-регульований електропривід компресорних та вентиляційних установок. Промислова електроенергетика та електротехніка. 2019. № 3. С. 24–31.

15. Бучинський М. Я., Горобець О. В. Енергозберігаючі технології та обладнання в промисловості : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2018. 320 с.

16. Лисенко В. П., Болбот А. В. Автоматизація технологічних процесів і систем керування : підручник. Київ : НУБіП України, 2016. 510 с.

17. Захаров О. В., Кузнецов В. В. Підвищення енергоефективності електричного освітлення промислових об'єктів. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2020. № 2. С. 45–52.

18. Кривоносов В. Є., Ткаченко В. О. Вищі гармоніки в мережах живлення перетворювачів частоти та методи їх компенсації. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2018. Вип. 51. С. 78–85.

19. Жуков В. А., Бондаренко О. М. Оцінка окупності інвестицій в енергозберігаючі проекти на промислових підприємствах. Економіка та управління підприємствами. 2021. Вип. 4. С. 114–121.

20. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанову щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 34 с.