

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра механічної та електричної інженерії**

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

*бакалавр*

на тему: «Проект відновлення електрообладнання теплової  
електричної станції»

КРБ.14ЕЕбд\_31[3].06.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
*«Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка»*  
спеціальності 141  
*«Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка»*  
ступеня вищої освіти *бакалавр*  
групи *141ЕЕбд\_31[3]*  
КУЗНЕЦОВ Руслан

Керівник: канд. фіз.-мат. наук, доцент  
СЕМЕНОВ Анатолій

**Полтава – 2025 року**

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	6
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА РОЗВИТКУ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ	10
1.1 Етапи становлення та інтеграції Бурштинської ТЕС до європейської енергосистеми	10
1.2 Основні підходи до відновлення електрообладнання Бурштинської теплової електричної станції	12
Висновки до розділу 1	16
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВРП 220 КВ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС	17
2.1 Об'єкт дослідження та його структура	17
2.2 Склад і технічні параметри основного електротехнічного обладнання станції	20
Висновки до розділу 2	24
РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВІДКРИТОГО РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ 220 КВ	25
3.1 Обґрунтування необхідності реконструкції відкритого розподільчого пристрою 220 кВ Бурштинської ТЕС	25
Висновки до розділу 3	32
РОЗДІЛ 4 КОМПЛЕКСНЕ ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ГРОЗОЗАХИСТ ВІДКРИТОГО РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ 220 КВ	33

4.1 Технічні характеристики обраного обладнання	33
4.2 Захисне заземлення та грозозахист для ВРП 220 кВ	40
Висновки до розділу 4	44
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС	45
5.1 Заходи з охорони праці при експлуатації та модернізації ВРП 220 кВ Бурштинської ТЕС	45
5.2 Екологічна експертиза проектного рішення	47
5.3 Економічна ефективність проектного рішення	49
Висновки до розділу 5	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	55

## ВСТУП

Стабільність та ефективність роботи енергетичних об'єктів мають критичне значення для забезпечення безперебійного постачання електроенергії споживачам та підтримки економіки країни. Серед таких об'єктів особливе місце займають теплові електричні станції, які залишаються одними з основних виробників електроенергії в Україні. Водночас тривала експлуатація обладнання без належної модернізації призводить до зниження його технічних характеристик, збільшення ризику аварійних ситуацій та підвищення експлуатаційних витрат.

Бурштинська теплова електрична станція є важливою складовою енергетичної системи західного регіону України та одним із головних експортерів електроенергії до країн Європи. У зв'язку з цим постає нагальна потреба у відновленні та модернізації електрообладнання, що забезпечує роботу станції на високому технічному рівні відповідно до сучасних вимог.

Дана бакалаврська робота присвячена розробці проєкту відновлення електрообладнання Бурштинської ТЕС, зокрема реконструкції відкритого розподільчого пристрою (ВРП) 220 кВ. У межах роботи передбачається заміна застарілих вимикачів, роз'єднувачів, вимірювальних трансформаторів струму та напруги й обмежувачів перенапруг на нові, сучасні зразки обладнання. Це дозволить підвищити надійність, енергоефективність і безпеку функціонування електростанції, що є особливо важливим в умовах активної участі України в європейському енергетичному ринку.

**Мета роботи** – розробити проєкт відновлення електрообладнання відкритого розподільчого пристрою 220 кВ Бурштинської теплової електричної станції для підвищення надійності роботи електростанції, забезпечення відповідності обладнання сучасним міжнародним стандартам і підвищення ефективності енергопостачання.

**Об'єкт розробки** – електротехнічний комплекс відкритого розподільчого пристрою 220 кВ Бурштинської теплової електричної станції, який включає

елементи електрообладнання, що забезпечують розподіл і передачу електроенергії.

**Предмет розробки** - технічний стан, принципи вибору, заміни та модернізації електрообладнання відкритого розподільчого пристрою 220 кВ Бурштинської теплової електричної станції, а також методи підвищення його надійності, енергоефективності та відповідності сучасним міжнародним стандартам експлуатації та безпеки.

**Методика досліджень.** У процесі виконання роботи використовувалися: аналіз технічної документації та нормативних вимог до електрообладнання; розрахунок параметрів струмів короткого замикання; підбір нового обладнання за критеріями номінальних параметрів, стійкості до струмів короткого замикання, електродинамічної та термічної стійкості; розрахунок заземлюючого пристрою та блискавкозахисту; техніко-економічне обґрунтування доцільності заміни обладнання.

*Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:* проаналізувати стан існуючого електрообладнання ВРП 220 кВ Бурштинської ТЕС; обґрунтувати необхідність реконструкції та визначити основні технічні вимоги до нового обладнання; виконати підбір і перевірку параметрів сучасних вимикачів, роз'єднувачів, трансформаторів струму та напруги, обмежувачів перенапруг; розробити проектні рішення із заміни обладнання на ВРП 220 кВ; провести розрахунок системи заземлення та блискавкозахисту для забезпечення електробезпеки; обґрунтувати технічну й економічну ефективність запропонованої реконструкції.

**Практична значимість та реалізація досліджень.** Реалізація розробленого проекту реконструкції дозволить значно підвищити надійність роботи Бурштинської ТЕС, зменшити ризики аварійних відключень, скоротити витрати на обслуговування електрообладнання та забезпечити відповідність енергетичного об'єкта сучасним міжнародним стандартам. Це сприятиме стабільному забезпеченню споживачів електроенергією як в Україні, так і за її межами, а також підвищить експортний потенціал електростанції.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА РОЗВИТКУ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

## 1.1 Етапи становлення та інтеграції Бурштинської ТЕС до європейської енергосистеми

Бурштинська теплова електростанція (БТЕС), раніше відома як Бурштинська державна районна електростанція (БДРЕС), до 1996 року діяла в іншому статусі. Згідно з Указом Президента України № 282/95 від 4 квітня 1995 року «Про структурну перебудову в електроенергетичному комплексі України», у квітні 1995 року Бурштинська ДРЕС увійшла до складу енергогенеруючої компанії ДАЕК «Західенерго» як окремий структурний підрозділ (з 2000 року — ВАТ «Західенерго»). Із 1996 року станція підлягала приватизації у складі цілісного майнового комплексу, де частка державної власності становила 70,1 %. Керівним органом залишалось Міністерство палива та енергетики України [1, 2].

БТЕС спеціалізується на виробництві електричної та теплової енергії, проводить ремонтні роботи, обслуговування обладнання, здійснює реконструкцію і капітальне будівництво споруд. Станція є одним із найбільших промислових підприємств Івано-Франківської області, забезпечуючи 24 % загального обсягу промислового виробництва регіону [3].

Розташована біля міста Бурштин на березі річки Гнила Липа, станція займає площу близько 25 га, а її водосховище місткістю 50 млн м<sup>3</sup> простягається на понад 1260 га з середньою глибиною 3–3,5 м.

Будівництво Бурштинської ТЕС тривало з 1962 по 1969 роки із використанням потокового методу монолітного залізобетону. На майданчику розташовано 12 енергоблоків-близнюків, зведених у машинному залі завдовжки 0,5 км. Перший турбогенератор потужністю 200 МВт почав роботу 28 квітня 1965 року, а до кінця 1969 року було введено в експлуатацію всі 12 енергоблоків, досягнувши проектної потужності 2400 МВт.

Із 31 січня 1991 року встановлена потужність була скоригована до 2300 МВт (4 блоки по 185 МВт і 8 блоків по 195 МВт). Проте станом на 1 січня 2004

року фактична потужність становила близько 2000 МВт через природне старіння обладнання та недостатнє фінансування ремонтів.

Станція здійснює передачу електроенергії через 10 високовольтних ліній електропередач напругою 220, 330 і 400 кВ [4].

Особливістю БТЕС є унікальні конструкції димових труб висотою 180 м та 250 м із технологією створення протитиску між залізобетонною оболонкою і цегляним стволом, що дозволило значно продовжити їхній експлуатаційний ресурс.

Протягом 1970–1980-х років на станції активно впроваджували інноваційні технології [5]:

- переобладнання пилосистем котлоагрегатів для безпечного сушіння вугілля димовими газами;
- впровадження автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) у 1975 році;
- модернізація пальникових пристроїв і систем пилоприготування;
- будівництво установок сухого золовідбору з електрофільтрів;
- перехід на спалювання природного газу на всіх енергоблоках;
- введення в експлуатацію асинхронізованих синхронних турбогенераторів АСТГ-200.

У 1988 році на всіх енергоблоках встановили системи реєстрації температури металу пароперегрівників, що підвищило надійність роботи.

У 1990-х роках розпочалися масштабні роботи з реконструкції електрофільтрів та модернізації для переходу станції до роботи в складі так званого «Острова Бурштинської ТЕС». Уже з 2002 року станція працювала відокремлено від Об'єднаної енергосистеми України і в паралельному режимі з європейською енергосистемою UCTE.

Підготовка до роботи в «острові» передбачала:

- реконструкцію енергоблоків (капітальні ремонти, заміну обладнання);
- впровадження сучасних електронних систем регулювання потужності;

- модернізацію телекомунікаційної мережі;
- встановлення обладнання фірм Siemens та АВВ для підвищення якості електропостачання;
- формування нових електричних зв'язків із енергосистемами Угорщини, Словаччини та Румунії через лінії 220, 400 та 750 кВ.

«Острів Бурштинської ТЕС» охоплює частини Закарпатської, Івано-Франківської та Львівської областей із населенням близько 3 млн осіб та площею 27 тис. км<sup>2</sup>. Окрім самої Бурштинської ТЕС, у забезпеченні електропостачання регіону беруть участь Калуська ТЕЦ та Теребля-Ріцька ГЕС.

Основним видом палива для БТЕС є вугілля Львівсько-Волинського басейну, а також вугілля з Донбасу та Сілезії. Допоміжними видами палива виступають природний газ і мазут. Знижена якість вугілля призводить до необхідності додаткового спалювання газу і мазуту.

Починаючи з 2001 року, Бурштинська ТЕС нарощує обсяги виробництва електроенергії, що значною мірою пов'язано із зростанням експорту завдяки підключенню до європейської енергосистеми.

Проєкт інтеграції «острова Бурштинської ТЕС» в УСТЕ став важливою віхою в енергетичній стратегії України щодо зближення з європейським енергетичним ринком, сприяв підвищенню надійності енергосистеми, поліпшенню якості електроенергії та розвитку експортного потенціалу країни [2].

## **1.2 Основні підходи до відновлення електрообладнання Бурштинської теплової електричної станції**

Бурштинська тепла електрична станція є одним із найважливіших об'єктів енергетичної інфраструктури західного регіону України, який забезпечує електроенергією не лише внутрішніх споживачів, а й здійснює експортні поставки до країн Європи. Для підтримання високого рівня надійності та ефективності роботи станції надзвичайно важливим є регулярне оновлення й модернізація електрообладнання [6].

На Бурштинській ТЕС встановлено дванадцять енергоблоків, кожен із яких складається з парової турбіни, синхронного генератора та підвищувального трансформатора. Всі енергоблоки розподілені за підключенням до відкритих розподільчих пристроїв (ВРП) залежно від рівня напруги.

Енергоблоки №1–7 підключені до ВРП 220 кВ, тоді як енергоблоки №8–12 підключені до ВРП 330 кВ (рисунок 1.1). Така схема з'єднання забезпечує гнучкість у розподілі електричної енергії між різними системами споживачів і дозволяє оптимізувати навантаження відповідно до технічних можливостей трансформаторного обладнання [7].

Крім того, на території станції функціонує ВРП 400 кВ, яке з'єднане із системами 220 і 330 кВ через відповідні автотрансформатори. Зокрема, шини ВРП 400 кВ сполучаються з ВРП 220 кВ за допомогою автотрансформаторів 2АТ і 3АТ. Перехід між ВРП 220 кВ і ВРП 330 кВ здійснюється через автотрансформатори 1АТ-А та 1АТ-Б. Для з'єднання ВРП 330 кВ із ВРП 400 кВ використовується автотрансформатор 6АТ. Також на ВРП 220 кВ встановлено автотрансформатор 5АТ, який забезпечує живлення місцевих споживачів у районі розташування станції.

На всіх розподільчих пристроях встановлені основні засоби вимірювання та захисту – трансформатори струму і напруги. Їх функція полягає в перетворенні високих робочих величин струму й напруги до рівня, придатного для подальшої обробки вимірювальними приладами та релейними захистами. Живлення вторинних кіл вимірювання та автоматизації здійснюється через шини низької напруги автотрансформаторів.

Важливим елементом у системі захисту є вакуумні дугогасильні трансформатори (ВДТ), які також живляться від шин НН і забезпечують гасіння можливих дуг при коротких замиканнях, тим самим підвищуючи рівень електробезпеки й знижуючи ризики пошкодження обладнання [7].

Проект відновлення електрообладнання Бурштинської ТЕС передбачає заміну або капітальний ремонт ключових елементів електричних з'єднань, включно з автотрансформаторами, вимірювальними трансформаторами струму і

напруги, силовими трансформаторами, розподільчими пристроями та засобами релейного захисту й автоматики.

Серед основних напрямів відновлення можна виділити [8]:

- модернізація автотрансформаторів (підвищення коефіцієнта корисної дії, зниження втрат холостого ходу та збільшення надійності);
- оновлення ВРП (заміна морально застарілих високовольтних вимикачів на вакуумні або елегазові);
- встановлення сучасних трансформаторів струму та напруги (підвищення точності вимірювання);
- реконструкція систем релейного захисту (впровадження цифрових пристроїв захисту замість електромеханічних, що забезпечить швидшу і точнішу реакцію на аварійні режими);
- оптимізація схем вторинних з'єднань (спрямована на спрощення обслуговування і підвищення надійності функціонування автоматизованих систем керування).

Запропоновані заходи спрямовані на подовження строку служби основного електрообладнання, підвищення загальної надійності енергоблоків, зменшення кількості аварійних зупинок та підвищення якості електроенергії, що подається споживачам.

Крім того, у проєкті відновлення обов'язково враховується вимога щодо відповідності обладнання сучасним міжнародним стандартам безпеки та енергоефективності, що є критично важливим з огляду на інтеграцію Бурштинської ТЕС у загальноєвропейську енергетичну систему (UCTE/ENTSO-E).

Відновлення електрообладнання передбачає також модернізацію інформаційно-керуючих систем, у тому числі інтеграцію сучасних систем SCADA для моніторингу і управління роботою станції в режимі реального часу. Це дозволить оптимізувати процес виробництва електроенергії, підвищити рівень автоматизації і оперативного реагування на зміни навантаження або виникнення позаштатних ситуацій.

Комплексний підхід до оновлення електрообладнання на Бурштинській ТЕС є запорукою надійної та ефективної роботи станції у довгостроковій перспективі. Проведення модернізаційних заходів забезпечить не лише технічне оновлення обладнання, а й загальне підвищення конкурентоспроможності української енергетики на внутрішньому та зовнішньому ринках [2].

## Висновки до розділу 1

Бурштинська ТЕС є одним із ключових об'єктів енергетичної інфраструктури України, яка забезпечує значну частину внутрішнього енергопостачання Західного регіону та виконує експортні поставки електроенергії до країн Європи.

Будівництво БТЕС відбувалося протягом 1962–1969 років за потоковою технологією монолітного залізобетону, що забезпечило швидке введення в експлуатацію потужностей і дозволило досягти проектної потужності у 2400 МВт.

З роками потужність станції зазнала зниження до 2000 МВт через старіння обладнання та недостатнє фінансування ремонтно-відновлювальних робіт, що актуалізує потребу в комплексній модернізації електрообладнання.

Особливістю інфраструктури БТЕС є складна система електричних з'єднань між енергоблоками та відкритими розподільчими пристроями 220, 330 та 400 кВ, що забезпечує гнучке і надійне функціонування енергосистеми.

У 2002 році Бурштинська ТЕС успішно інтегрувалася у європейську енергетичну систему UCTE, що стало визначним досягненням у сфері енергетичної безпеки України та підвищення надійності паралельної роботи з європейськими країнами.

Сучасний стан електрообладнання потребує подальшого оновлення, зокрема модернізації автотрансформаторів, високовольтних вимикачів, систем релейного захисту та вимірювальних приладів для забезпечення стабільної і безпечної роботи у відповідності до міжнародних стандартів.

Розробка проекту відновлення електрообладнання є важливим завданням, яке сприятиме підвищенню надійності функціонування Бурштинської ТЕС, поліпшенню якості електроенергії, зменшенню експлуатаційних витрат та розширенню можливостей експортних поставок електроенергії на європейський ринок.

## РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВРП 220 КВ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС

### 2.1 Об'єкт дослідження та його структура

Об'єктом дослідження є відкритий розподільчий пристрій (ВРП) 220 кВ Бурштинської теплової електричної станції (Бурштинська ТЕС) [4].

ВРП 220 кВ (рисунок 2.1) є одним із ключових структурних елементів електротехнічного комплексу електростанції. Основне його призначення полягає в забезпеченні приймання, розподілу та передавання електричної енергії споживачам через високовольтні лінії електропередачі, а також у з'єднанні генеруючого обладнання станції з електричною мережею.

Структурно об'єкт складається із таких основних груп обладнання:

- силових вимикачів, що забезпечують включення та відключення ліній при нормальних і аварійних режимах;
- роз'єднувачів, які забезпечують створення видимого розриву в електричному колі для безпечного проведення ремонтних робіт;
- трансформаторів струму та напруги, які здійснюють перетворення параметрів електричної енергії для потреб вимірювальних приладів і релейного захисту;
- обмежувачів перенапруг, які захищають електрообладнання від атмосферних та комутаційних перенапруг;
- шинних з'єднань, заземлюючого контуру та допоміжної інфраструктури (опори, приводи управління, пристрої автоматики).

На Бурштинській ТЕС 12 енергоблоків виробляють електроенергію, з якої через трансформатори передача здійснюється на шини ВРП 220 кВ. Від цих шин електрична енергія подається далі на підстанції споживачів через дев'ять ліній електропередачі напругою 110-400 кВ.

Внаслідок тривалої експлуатації обладнання ВРП 220 кВ, побудованого ще у 1960-х роках, його фізичний і моральний знос значно зріс, що призвело до [6]:

- підвищення аварійності;
- ускладнення технічного обслуговування;

- зниження ефективності енергопередачі;
- невідповідності сучасним міжнародним стандартам надійності та безпеки.

Об'єктом розробки є існуюча система високовольтного розподілу енергії ВРП 220 кВ Бурштинської ТЕС, а саме її електротехнічне обладнання, яке потребує модернізації та часткової або повної заміни для забезпечення стабільної та безпечної роботи електростанції у довгостроковій перспективі.

Реконструкція ВРП 220 кВ має на меті не тільки заміну застарілих вимикачів, роз'єднувачів та вимірювальних трансформаторів, але й інтеграцію новітніх технологій — зокрема, застосування елегазового обладнання, сучасних цифрових систем релейного захисту і моніторингу, що відповідають вимогам інтеграції в загальноєвропейську енергетичну систему ENTSO-E [2].

Дослідження включають технічні рішення, методики вибору і обґрунтування параметрів електротехнічного обладнання відкритого розподільчого пристрою (ВРП) 220 кВ Бурштинської теплової електричної станції при його реконструкції.

Більш детальноше напрямок досліджень передбачає:

1. Аналіз технічного стану існуючого обладнання – оцінювання ступеня фізичного і морального зносу вимикачів, роз'єднувачів, трансформаторів струму та напруги, обмежувачів перенапруг і допоміжних систем.
2. Вибір нового обладнання – техніко-економічне обґрунтування вибору сучасних елегазових вимикачів, роз'єднувачів, трансформаторів, що відповідають сучасним вимогам надійності, безпеки та енергоефективності.
3. Розрахунок режимів роботи електрообладнання – визначення короткочасних та тривалих струмів, напруги, теплових і динамічних навантажень, що діють на вибране обладнання в нормальних та аварійних умовах.
4. Розробка технічних рішень щодо модернізації – обґрунтування схем підключення нового обладнання, способів покращення електробезпеки, заходів зі зниження втрат енергії.

5. Розрахунок заземлення та блискавкозахисту ВРП – визначення оптимальної структури заземлюючого пристрою і системи захисту від атмосферних перенапруг для забезпечення нормативної безпеки персоналу та захисту обладнання.

6. Оцінка ефективності реконструкції – техніко-економічний аналіз доцільності модернізації з урахуванням витрат на заміну обладнання, зниження експлуатаційних витрат та підвищення експлуатаційної надійності.

Основна увага у дослідженні приділяється забезпеченню відповідності технічних параметрів нового обладнання нормативним документам України та міжнародним стандартам (IEC, EN, IEEE), зокрема щодо вимог до діелектричної міцності, стійкості до коротких замикань, енергоефективності та стійкості до впливу зовнішніх чинників (атмосферних явищ, механічних навантажень, старіння).

## Висновки до розділу 2

У розділі проаналізовано об'єкт дослідження — відкритий розподільчий пристрій (ВРП) 220 кВ Бурштинської теплової електростанції, який виконує функції приймання, розподілу та передачі електроенергії через високовольні лінії споживачам. Встановлено, що структура ВРП включає ключові елементи енергетичної інфраструктури: силові вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму і напруги, обмежувачі перенапруг та шинні з'єднання.

Оцінка технічного стану обладнання показала, що через тривалий термін експлуатації обладнання має високий ступінь фізичного і морального зносу. Це призводить до зростання аварійності, складності технічного обслуговування та невідповідності сучасним вимогам надійності й безпеки.

Аналіз технічних характеристик основного обладнання станції підтвердив необхідність його комплексної модернізації. Основними заходами мають стати заміна старих вимикачів і трансформаторів на сучасні елегазові зразки, впровадження цифрових систем моніторингу та управління, а також вдосконалення схем заземлення і захисту від перенапруг.

Модернізація ВРП 220 кВ дозволить підвищити надійність енергопередачі, забезпечити відповідність міжнародним стандартам (IEC, ENTSO-E) та знизити експлуатаційні витрати. Запропоновані технічні рішення сприятимуть стабільній та безпечній роботі електростанції у довгостроковій перспективі.

## РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВІДКРИТОГО РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ 220 КВ

### 3.1 Обґрунтування необхідності реконструкції відкритого розподільчого пристрою 220 кВ Бурштинської ТЕС

Головною передумовою необхідності реконструкції відкритого розподільчого пристрою (ВРП) 220 кВ Бурштинської теплової електростанції є фізичне та моральне старіння встановленого обладнання, яке було введено в експлуатацію ще в 1960-х роках минулого століття [6, 8]. За десятиліття інтенсивної роботи електротехнічні апарати втратили свою надійність, що призвело до зростання кількості відмов і аварій. Більшість діючого обладнання наразі більше не виготовляється, а пошук запасних частин для ремонту стає вкрай складним або взагалі неможливим.

Додатковим чинником, що обумовлює потребу у модернізації, є невідповідність існуючих технічних рішень сучасним міжнародним стандартам надійності, енергетичної ефективності та безпеки (IEC, EN, IEEE). В умовах інтеграції української енергосистеми до європейської (ENTSO-E) це є критично важливим аспектом стабільної роботи.

Одним із основних напрямів модернізації є впровадження новітнього технологічного обладнання [10], зокрема елегазових вимикачів [11], що мають істотні переваги над традиційними повітряними аналогами. Елегаз (шестифториста сірка, SF<sub>6</sub>) у порівнянні з повітрям характеризується вдвічі вищою діелектричною міцністю та кращими дугогасильними властивостями при нормальному атмосферному тиску. Це дозволяє забезпечити більш ефективне і безпечне гасіння електричних дуг при вимиканні струму.

Відключення елегазових вимикачів відбувається практично безшумно, що зменшує шумове навантаження на обслуговуючий персонал і навколишнє середовище. Також застосування елегазових вимикачів усуває необхідність у компресорних установках для продування повітря, що, у свою чергу, дозволяє зменшити витрати електроенергії на власні потреби станції.

До інших важливих переваг елегазових вимикачів відносяться [11]:

- компактні габаритні розміри, що дозволяють зменшити площу розподільчого пристрою та витрати на спорудження і грозозахист;
- підвищена довговічність і стійкість до зовнішніх впливів;
- покращення електробезпеки обслуговуючого персоналу;
- зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт.

Крім заміни вимикачів, проект реконструкції передбачає встановлення нових типів трансформаторів струму і напруги, що заповнюються кварцовим піском та електроізоляційним маслом. Такі конструкції підвищують діелектричну міцність трансформаторів, забезпечують більшу термічну стійкість та безпечну роботу в умовах підвищених навантажень.

Оновлені роз'єднувачі нового покоління також забезпечують вищий рівень надійності роботи, особливо за несприятливих кліматичних умов (сильні вітри, дощ, обмерзання). Їхня конструкція дозволяє зменшити ризик виникнення дугових розрядів при переключеннях та підвищити безпеку ремонтних і експлуатаційних операцій [12].

Застосування сучасного обладнання дозволить значно знизити експлуатаційні витрати, зменшити кількість аварійних вимкнень, підвищити надійність передачі електричної енергії та забезпечити відповідність вимогам сучасних нормативних документів щодо енергоефективності, технічної безпеки й екологічних стандартів.

### **3.2 Розрахунок струмів короткого замикання**

У процесі проектування реконструкції ВРП 220 кВ важливим етапом є визначення струмів короткого замикання (КЗ), оскільки саме ці параметри визначають вимоги до вибору нового електротехнічного обладнання за показниками термічної та електродинамічної стійкості [10, 12].

Схема відкритого розподільчого пристрою ВРП 220 кВ представлена на рисунку 3.1

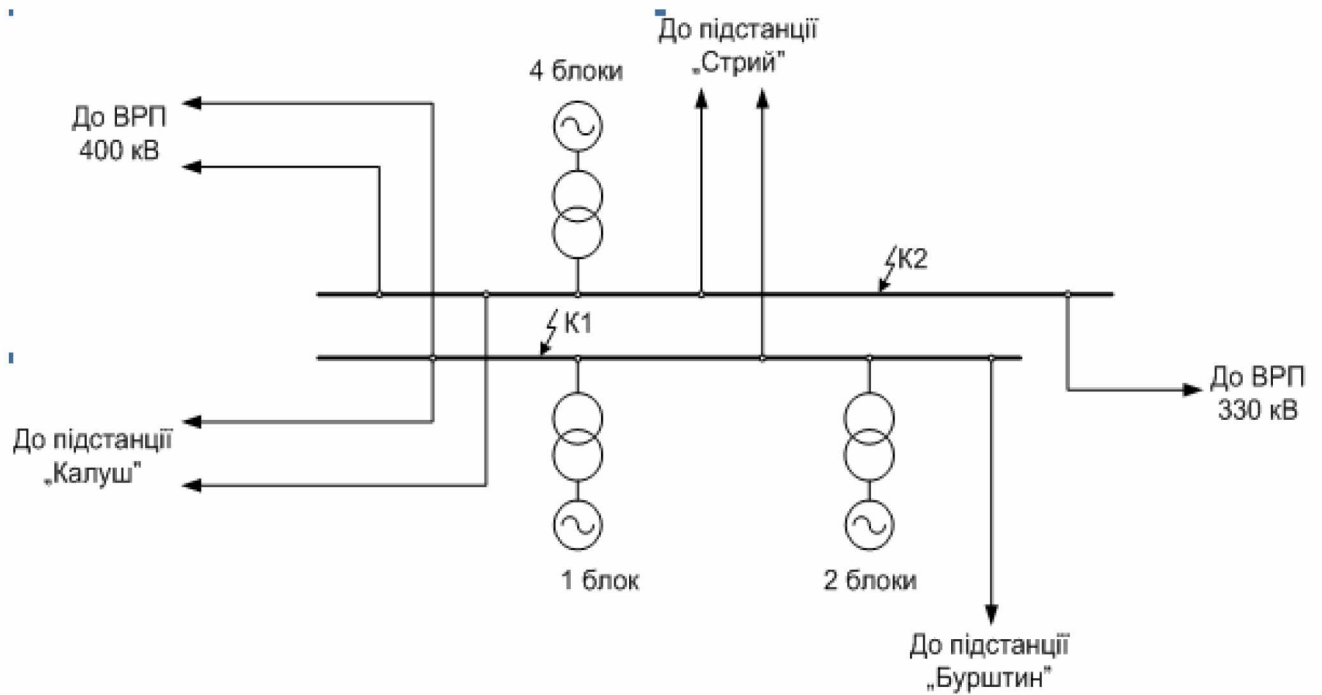


Рисунок 3.1 – План ВРП-220 кВ

Розраховані значення струмів короткого замикання наведено у таблиці 3.1.

### 3.3 Вибір та перевірка обладнання за термічною та електродинамічною стійкістю

Розподільчі пристрої електричних станцій повинні забезпечувати стабільну роботу в нормальних режимах і витримувати навантаження, що виникають при коротких замиканнях [12]. Вибір обладнання здійснюється з урахуванням його термічної та електродинамічної стійкості, а також впливу умов навколишнього середовища: вологості, температури, висоти над рівнем моря тощо.

#### *Вимикачі та роз'єднувачі*

Вибір вимикачів і роз'єднувачів проводиться за основними технічними характеристиками, наведеними в таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 – Основні параметри для вибору вимикачів

Таблиця 3.3 – Основні параметри для вибору роз'єднувачів

### *Вибір вимикача*

Для реконструкції обрано елегазовий вимикач типу HPL-245B1, паспортні характеристики якого наведено у таблиці 3.4.

#### *Перевірка вибору вимикача:*

- Номінальна напруга відповідає вимогам схеми ВРП [11].
- Номінальний та відключаючий струми перевищують розраховані струми короткого замикання.
- Вимикач забезпечує необхідну термічну і електродинамічну стійкість.

Вибраний елегазовий вимикач HPL-245B1 відповідає всім необхідним вимогам проекту.

### *Вибір роз'єднувача*

В якості роз'єднувача обрано пристрій SGF 245 [13], технічні характеристики якого наведено в таблиці 3.5.

*Перевірка вибору роз'єднувача:* роз'єднувач відповідає всім вимогам по напрузі, струму і стійкості до струмів короткого замикання.

### *Вибір вимірювальних трансформаторів струму і напруги*

Вимірювальні трансформатори необхідні для перетворення високої напруги та струму в безпечні для вимірювальних і захисних пристроїв величини. Критерії вибору наведено у таблицях 3.6 і 3.7.

#### *Вибрані трансформатори (таблиці 3.8 та 3.9).*

Трансформатор ІМВ 245 відповідає усім технічним вимогам.

Трансформатор СРА 245 також повністю відповідає необхідним вимогам щодо експлуатації на Бурштинській ТЕС [14].

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У результаті проведеного аналізу встановлено, що основною причиною необхідності реконструкції відкритого розподільчого пристрою (ВРП) 220 кВ Бурштинської теплової електростанції є фізичне і моральне старіння обладнання, що експлуатується з 1960-х років. Встановлене устаткування вже не відповідає сучасним вимогам енергетичної безпеки, енергоефективності та міжнародним технічним стандартам (IEC, EN, IEEE), що в умовах інтеграції до ENTSO-E набуває особливої актуальності.

Визначені розрахункові значення струмів короткого замикання дозволили сформулювати обґрунтовані технічні вимоги до вибору нового електротехнічного обладнання, зокрема вимикачів, роз'єднувачів і вимірювальних трансформаторів струму та напруги. Проведений розрахунок підтвердив необхідність застосування обладнання, яке має високу термічну та електродинамічну стійкість.

У межах проекту реконструкції для заміни застарілих пристроїв було обрано сучасні елегазові вимикачі типу HPL-245B1 та роз'єднувачі типу SGF 245, що забезпечують надійне функціонування ВРП за умов значних електродинамічних та теплових навантажень. Елегазова технологія дозволяє не лише зменшити площу розподільчого пристрою та експлуатаційні витрати, а й суттєво підвищити рівень електробезпеки та довговічності обладнання.

Для точного вимірювання електричних параметрів у високовольтних ланцюгах були обрані трансформатори струму ІМВ 245 і трансформатори напруги СРА 245, які мають підвищену діелектричну міцність, стійкість до короткочасних перенавантажень та відповідають суворим вимогам щодо експлуатації в умовах підвищених температурних та механічних навантажень.

## РОЗДІЛ 4 КОМПЛЕКСНЕ ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ГРОЗОЗАХИСТ ВІДКРИТОГО РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ 220 КВ

### 4.1 Технічні характеристики обраного обладнання

Вимикачі серії HPL підтримують як одно-, так і триполюсне керування. Моделі з однією дугогасильною камерою на полюс можуть працювати в обох режимах, тоді як пристрої з декількома камерами передбачають управління лише одним полюсом. Кожен полюс встановлюється на окремій опорі й має власну відключаючу пружину. При триполюсному керуванні полюси об'єднані сполучною тягою [10].

Полюс вимикача — це герметична колонка, наповнена елегазом ( $\text{SF}_6$ ), що містить дугогасильний механізм, опорний ізолятор і корпус механізму. Надійність і довговічність елегазових вимикачів залежать від забезпечення герметичності камери та нейтралізації вологи й продуктів розкладання газу.

Особливості конструкції:

- використання подвійних кільцевих ущільнень з нітрил-каучуку мінімізує ризик витоку газу;
- усередині дугогасильної камери розташовується фільтр-десикант для поглинання вологи;
- полюс обладнаний монітором щільності газу – реле тиску з температурною компенсацією, яке активує сигнал тривоги або блокування у разі падіння тиску елегазу.

Автокомпресійні дугогасильні пристрої ефективно гасять дугу при великих струмах, таких як струми короткого замикання. Під час горіння дуги відбувається блокування потоку газу через сопло, що призводить до зростання тиску як у автокомпресорному, так і компресійному об'ємах. Після закриття автокомпресорного клапана дугу гасить тиск газу в замкнутому об'ємі.

При слабких струмах пристрій працює аналогічно компресійній системі, без закриття автокомпресорного клапана. Енергії приводу при цьому потрібно менше, що підвищує загальну енергоефективність вимикача.

*Електричні характеристики:* відключення струмів короткого замикання здійснюється максимум за 40 мс; під час відключення ємнісних і індуктивних струмів ризик повторного пробоя мінімізований; висока діелектрична міцність завдяки оптимальному розміру міжконтактного проміжку.

*Механічні характеристики:* висока стабільність часу спрацьовування ( $\pm 1$  мс); корозійна стійкість за рахунок використання алюмінієвих сплавів; стійкість до кліматичних впливів і сейсмостійкість до прискорень  $3 \text{ м/с}^2$  без додаткових заходів.

Габарити вимикача HPL-245B1 наведені на рисунку 4.1 та в таблиці 4.1. Ресурс — понад 30 років або 10 000 механічних операцій без навантаження [13].

Таблиця 4.1 - Габарити HPL-245B1

Габарити, мм	A	B	C	D	E	F
	6703	1914	1955	4570	3500	8400

*Роз'єднувач SGF 245 (рисунок 4.2)*

Високовольтні роз'єднувачі типу SGF призначені для роз'єднання ділянок мережі, створюючи видимий розрив у колі. Можуть перемикати ненавантажені трансформатори та лінії при певних умовах.

Рисунок 4.2 – Роз'єднувач SGF 245

*Основні характеристики:*

- Однополюсна конструкція зовнішньої установки.
- Управління роз'єднувачем і заземлювачем здійснюється окремо.
- Під час перемикання контакти обертаються на  $90^\circ$ .
- Приводи можуть бути ручними або електричними.
- Система блокування унеможливорює неконтрольовані перемикання.
- Є можливість електричного блокування приводів.

### *Трансформатори струму типу ІМВ*

Трансформатори ІМВ мають герметичну конструкцію з алюмінієвим баком і фарфоровим ізолятором (рис. 4.3). Ізоляційний простір заповнений кварцовим піском і мінеральним маслом.

#### Рисунок 4.3 - Трансформатор струму типу ІМВ:

1 - газова подушка; 2 – кришка отвору для заливки масла (не показано); 3 - кварцовий пісок; 4 – струмопровід з паперовою ізоляцією; 5 - сердечники/вторинні обмотки; 6 – коробка вторинних виводів; 7 - ємнісний вивід; 8 - розширювальна система; 9 - показник рівня масла; 10 - вивід первинної обмотки; 11 - заземлюючий вивід.

#### Основні характеристики:

- Первинна обмотка виконується з алюмінію або міді з високоякісною паперовою ізоляцією.
- Сердечники вимірювальних обмоток – з нікелевого сплаву для високої точності.
- Сердечники захисних обмоток – із сталі з орієнтованою структурою.
- Азотна подушка компенсує зміни об'єму масла.

Середній строк служби — понад 30 років.

Габарити ІМВ 245 наведені в таблиці 4.2.

### *Трансформатор напруги СРА245*

Трансформатори типу СРА обладнані ємкісним дільником і електромагнітним блоком (рис. 4.4).

#### Основні характеристики:

- Ємкісні елементи виготовлені з поліпропіленової плівки та електротехнічного паперу.
- Використовується синтетичне масло з високими діелектричними властивостями.
- Висока точність вимірювання і стабільність характеристик.
- Тривалий термін експлуатації понад 30 років.

- Наявність компенсуючого реактора забезпечує зниження паразитної ємності.

Рисунок 4.4 – Трансформатор напруги СРА245:

1 – розширювальна система; 2 – ємнісні елементи; 3 - ввід проміжної напруги; 4 -показчик рівня масла; 5 - компенсуючий реактор; 6 - антиферорезонансний ланцюг; 7 - первинна і вторинна обмотки; 8 - плоский лінійний вивід; 9 – газова подушка; 10 -виведення низької напруги (для підключення апаратури ВЧ зв'язки); 11 – коробка виводів; 12 – сердечник.

В таблиці 4.3 наведені габаритні розміри СРА 245.

*Обмежувач перенапруги (ОПН) PEXLIM P 180-XV245*

ОПН захищає обладнання від імпульсних перенапруг (грозових і комутаційних). Процедура вибору включає два основних етапи:

- вибір електричних характеристик згідно з параметрами мережі;
- вибір механічних характеристик та його кліматичне виконання.

В таблиці 4.4 наведені технічні характеристики ОПН PEXLIM P 180-XV245.

## 4.2 Захисне заземлення та грозозахист для ВРП 220 кВ

З метою безпеки осіб, які можуть опинитися в зоні можливого ураження, підлягають захисному заземленню усі металеві елементи електроустановок, що зазвичай не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею у випадку пошкодження ізоляції [9].

Виконується розрахунок заземлювального пристрою відкритого розподільчого пункту (ВРП) 220 кВ, який займає площу  $270 \times 85$  м.

Питомий опір, початкові дані:

- пісок  $\rho_1 = 400 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$ ,

- чорнозем  $\rho_2 = 40 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$ .

Глибина верхнього шару ґрунту –  $h_1 = 1,5\text{м}$ ;

Глибина прокладання заземлення –  $t = 0,6\text{м}$ ;

Висота вертикальних заземлювачів –  $l_B = 7\text{м}$ ;

Відстань між ними –  $a = 6\text{м}$ .

В якості безпечного значення приймається допустима напруга дотику, що визначається згідно з тривалістю протікання струму через тіло людини.

*Розрахунок елементів заземлення:*

На основі генерального плану визначається довжина горизонтального заземлення.

Планова площа трансформується у квадратну модель із розрахунковим боком:  $\sqrt{S} = \sqrt{b \cdot h}$ , де  $\sqrt{S} = \sqrt{270 \cdot 84} = 150,6\text{ м}$

Кількість вертикальних заземлювачів, розміщених по периметру, визначається як:  $\frac{a}{l_e} = \frac{6}{7} = 0,86$ ,  $n_e = \frac{150,6 \cdot 4}{0,86 \cdot 7} = 100,07$  шт.

Загальна кількість вертикальних електродів:  $n = 101$ .

Загальна довжина вертикальних електродів та горизонтальних провідників розраховується окремо.

Визначається відносна глибина заземлення, а далі – загальний опір складного заземлювального контуру:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_{\text{э}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{э}}}{L_{\Gamma} + L_B}$$

де  $A = (0,444 - 0,84 \cdot \frac{l_e + t}{\sqrt{S}})$  – сумарний опір,  $\rho_{\text{э}}$  – еквівалентний питомий опір ґрунту.

*Напруга дотику:*

Коефіцієнт напруги дотику розраховується за формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{M \cdot \beta}{\left( \frac{l_e \cdot L_{\Gamma}}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}}$$

де  $M=0,82M$  – параметр, що залежить від типу електродів;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує опір тіла людини та розтікання струму від стоп.

Опір тіла людини приймається:

$$R_C = 1,5 \cdot \rho_1 = 1,5 \cdot 400 = 600 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 600} = 0,625$$

$$K_{II} = \frac{0,82 \cdot 0,625}{\left( \frac{7 \cdot 7650}{6 \cdot 150,6} \right)^{0,45}} = 0,082$$

Розраховується напруга дотику  $U_{np}$ :

$$U_{np} = K_{II} \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,082 \cdot 13,55 \cdot 0,138 = 0,153 \text{ кВ},$$

яка повинна задовольняти умову безпеки:  $U_{np}^{don} > U_{np}$ , оскільки  $400 \text{ В} > 153 \text{ В}$ . Таким чином умова виконується.

*Розрахунок блискавкозахисту:*

Для захисту об'єктів ВРП від прямих ударів блискавки передбачається використання стрижневих громовідводів.

За умовами завдання, на майданчику розмірами  $d = 84 \text{ м}$  розміщується 28 громовідводів висотою 25 м. Максимальна висота об'єкта, що підлягає захисту, -  $h_x = 11,0 \text{ м}$ .

Радіус зони захисту одного громовідводу визначається за формулою:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h_a}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot \frac{5,5}{\sqrt{h}} = \frac{1,6 \cdot 25}{1 + \frac{11}{25}} \cdot \frac{5,5}{\sqrt{25}} = 17,111 \text{ м},$$

де  $h_a = h - h_x = 25 - 11 = 14 \text{ м}$  – перевищення громовідводу над об'єктом.

На рисунку 4.6 наведена зона захисту двох стрижневих громовідводів.

Таким чином, зони захисту пар громовідводів визначаються для кожної пари по периметру ВРП. Підсумки подано у таблиці 4.5.

На рисунку 4.7 схематично зображено розміщення зон грозозахисту по периметру ВРП 220 кВ.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У результаті аналізу технічних характеристик вибраного обладнання для ВРП 220 кВ встановлено, що елегазові вимикачі серії HPL забезпечують високу надійність та безпечну роботу завдяки ефективній системі дугогасіння, автокомпресійним технологіям та використанню герметичних полюсів із елегазовим заповненням.

Механічні та електричні параметри вимикача HPL-245B1, включаючи швидкість відключення (до 40 мс) і стійкість до сейсмічних навантажень, відповідають вимогам сучасних електроенергетичних систем і гарантують тривалий термін служби.

Високовольтні роз'єднувачі типу SGF 245 забезпечують надійне створення видимого розриву кола при обслуговуванні та ремонті, а також передбачають систему механічного та електричного блокування, що виключає можливість помилкових дій персоналу.

Трансформатори струму типу ІМВ мають герметичну конструкцію з кварцовим заповненням і масляною ізоляцією, що забезпечує надійність роботи протягом щонайменше 30 років. Використання сплавів із високими магнітними характеристиками дозволяє досягти точності вимірювань і надійного захисту.

Трансформатори напруги типу CPA 245 завдяки ємнісним подільникам і компенсуючим реакторам гарантують високу точність сигналів для вимірювальної та захисної апаратури, а також зменшують паразитні ємності в мережі.

Обмежувачі перенапруги типу PEXLIM P 180-XV245 захищають елементи обладнання від грозових та комутаційних імпульсів завдяки високим параметрам енергетичної витримки, стійкості до пікових струмів і механічної міцності, що підтверджує їхню придатність для роботи в умовах надвисокої напруги.

Проведений розрахунок системи заземлення та грозозахисту ВРП 220 кВ підтверджує відповідність обраного обладнання вимогам безпеки: опір заземлювального пристрою та напруга дотику не перевищують допустимі значення, а зона дії громовідводів повністю покриває розподільчий пристрій.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС

### 5.1 Заходи з охорони праці при експлуатації та модернізації ВРП 220 кВ Бурштинської ТЕС

Забезпечення охорони праці під час експлуатації та реконструкції відкритого розподільчого пристрою (ВРП) 220 кВ Бурштинської ТЕС є необхідною умовою для захисту життя та здоров'я персоналу, а також запобігання аваріям, що можуть виникнути внаслідок ураження електричним струмом, термічних впливів або механічних пошкоджень. Охорона праці у сфері енергетики регламентується Законом України «Про охорону праці» [15], Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98), ДНАОПами [16], вимогами СУОП (системи управління охороною праці) та внутрішніми нормативами підприємства.

#### *Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів*

У процесі обслуговування та модернізації ВРП 220 кВ можливий вплив наступних небезпечних факторів:

- ураження електричним струмом високої напруги;
- термічні опіки при виникненні електричних дуг;
- падіння з висоти під час монтажу обладнання;
- ураження внаслідок падіння важких частин обладнання;
- токсичний вплив газів при витоку елегазу (SF<sub>6</sub>);
- шумове навантаження та вібрації під час роботи обладнання;
- вплив атмосферних явищ (дощ, ожеледиця, гроза);
- психофізіологічне перевантаження персоналу, зокрема при виконанні аварійно-відновлювальних робіт.

### *Організаційно-технічні заходи безпеки*

Для працівників, що виконують обслуговування ВРП, передбачено:

- проходження медичного огляду, інструктажу з охорони праці та перевірки знань з електробезпеки;
- використання спеціального одягу, захисних рукавичок, касок, діелектричних ботів і інструментів з ізольованими ручками;
- обов'язкове застосування попереджувальних знаків, огорожень та блокуючих пристроїв при проведенні робіт;
- виконання робіт у відповідності до нарядів-допусків з чітким розмежуванням зон відповідальності;
- виконання заземлення обладнання, що виведене з експлуатації;
- контроль вмісту SF<sub>6</sub> у вимикачах з метою недопущення перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК);
- забезпечення наявності комплекту першої допомоги та засобів пожежогасіння.

### *Для робіт на висоті:*

- монтажні роботи проводяться з використанням сертифікованих страхувальних поясів;
- встановлюються робочі майданчики, помости або вишки;
- забороняється працювати під час несприятливих погодних умов (сильний вітер, ожеледиця, гроза).

### *Електробезпека та грозозахист*

Електробезпека реалізується через:

- наявність ефективної системи захисного заземлення;
- правильну експлуатацію трансформаторів струму та напруги;
- використання індикаторів наявності напруги;
- проведення регулярної перевірки реле тиску SF<sub>6</sub>;
- контроль за станом ізоляції;
- надійне функціонування системи блискавкозахисту згідно з вимогами ПУЕ.

### *Протипожежна безпека*

У зоні ВРП передбачено:

- розміщення вогнегасників (вуглекислотних та порошкових);
- наявність протипожежних щитів;
- дотримання вимог до зберігання легкозаймистих матеріалів (кабельної ізоляції, мастил);
- заборона використання відкритого вогню.

### *Заходи під час модернізації*

При виконанні реконструкції ВРП 220 кВ:

- проводиться повне відключення відповідної ділянки обладнання з видимим розривом ланцюга;
- персонал повинен мати групу електробезпеки не нижче III;
- демонтаж та монтаж проводиться механізованим способом із застосуванням підйомно-транспортного обладнання;
- встановлюється постійний технічний нагляд відповідального за електробезпеку;
- забезпечується зв'язок між усіма членами бригади.

## **5.2 Екологічна експертиза проектного рішення**

Проект реконструкції відкритого розподільчого пристрою (ВРП) 220 кВ Бурштинської ТЕС передбачає заміну застарілого електротехнічного обладнання на сучасне, енергоефективне та екологічно безпечне. З огляду на значну роль ТЕС у енергетичній системі регіону, особливої уваги потребує оцінка впливу модернізації на навколишнє середовище [17].

### *Аналіз потенційного впливу на навколишнє середовище*

Під час експлуатації діючого обладнання, встановленого ще в 1960-х роках, можливе виникнення таких екологічних ризиків [18, 19]:

- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- викиди зношених елементів із маслами, що містять шкідливі домішки;

- підвищена небезпека витоків у разі втрати герметичності трансформаторів;
- забруднення ґрунтів і підземних вод у разі аварійної ситуації.

Проектом передбачено використання нового обладнання [19, 20], що відповідає вимогам стандартів IEC, EN, ISO 14001 та директив ЄС щодо охорони довкілля, а саме:

- елегазові вимикачі (SF<sub>6</sub>) з герметичними полюсами та системами контролю тиску газу, які мінімізують витoki;
- сучасні трансформатори струму та напруги з маслозаповненням у герметичних корпусах, що виключає контакт із зовнішнім середовищем;
- роз'єднувачі з високою надійністю та довговічністю, що не потребують частого технічного втручання.

#### *Заходи з екологічної безпеки*

У проєкті враховано такі заходи з мінімізації негативного впливу:

- використання обладнання, яке не потребує постійної заміни мастильних матеріалів, що зменшує кількість відходів;
- передбачено установку герметичних піддонів під трансформаторами для збирання потенційних протікань масла;
- упровадження моніторингових систем для виявлення витоків газу SF<sub>6</sub> та інших експлуатаційних відхилень;
- утилізація демонтованого обладнання згідно з вимогами ДСТУ EN 50625-1 та настановами з утилізації електротехніки, яка містить небезпечні речовини.

#### *Оцінка відповідності проєкту вимогам екологічного законодавства*

Проект повністю відповідає вимогам:

- Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Закону України «Про відходи»;
- Закону України «Про екологічну експертизу»;
- міжнародним директивам з охорони атмосферного повітря та захисту від електромагнітного випромінювання.

### *Висновки екологічної експертизи*

1. Проектне рішення не передбачає розширення виробничих площ чи зміни типу господарської діяльності, тому не потребує проведення оцінки впливу на довкілля (ОВД) згідно з чинним законодавством.

2. Запланована модернізація сприятиме зменшенню аварійності та зниженню ризику потрапляння шкідливих речовин у навколишнє середовище.

3. Використання енергоефективного обладнання та сучасних систем моніторингу забезпечить екологічну безпеку об'єкта в довгостроковій перспективі.

4. Всі заходи та технічні рішення відповідають вимогам нормативної документації у сфері екологічної безпеки.

Проект реконструкції ВРП 220 кВ Бурштинської ТЕС є екологічно обгрунтованим, відповідає чинним законодавчим вимогам та сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки об'єкта.

### **5.3 Економічна ефективність проектного рішення**

Економічна ефективність проектного рішення визначається за рахунок зниження експлуатаційних витрат [20], зменшення втрат електроенергії, підвищення надійності електропостачання, а також зменшення аварійних простоїв та витрат на технічне обслуговування.

Модернізація ВРП 220 кВ передбачає встановлення сучасного обладнання з тривалим ресурсом роботи, меншою потребою у профілактичному обслуговуванні та підвищеними техніко-економічними показниками. Заплановане технічне оновлення дозволить оптимізувати витрати та забезпечити сталу експлуатацію об'єкта [23].

Таблиця 5.1 - Структура витрат на реалізацію проекту

Найменування	Сума, тис. грн
Закупівля нового електротехнічного обладнання	4800

Найменування	Сума, тис. грн
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	1000
Демонтаж старого обладнання	400
Витрати на транспорт, логістику	250
Технічна експертиза, навчання персоналу	150
Разом капітальні витрати	6600

Таким чином, очікувані економічні вигоди включають [24]:

- зменшення витрат на технічне обслуговування – приблизно 400 тис. грн/рік;

- зниження витрат електроенергії в обладнанні – до 280 МВт·год/рік, що при тарифі 3,5 грн/кВт·год дає економію  $\approx 980$  тис. грн/рік;

- підвищення надійності та зниження кількості аварійних ситуацій, що дозволяє уникнути витрат у розмірі  $\approx 350$  тис. грн/рік;

- зниження витрат на ремонт –  $\approx 300$  тис. грн/рік.

Загальна річна економія:

$$400 + 980 + 350 + 300 = 2030 \text{ тис. грн/рік}$$

*Розрахунок терміну окупності*

Термін окупності  $T$  визначається за формулою:

$$T = C_{\text{інвест}} / E_{\text{річна}}$$

де  $C_{\text{інвест}}$  – загальні капітальні вкладення = 6600 тис. грн;  $E_{\text{річна}} = 2030$  тис. грн.

$$T = 6600 / 2030 \approx 3,25 \text{ роки}$$

Таким чином, реконструкція ВРП 220 кВ дозволяє досягти значної економії на експлуатаційних витратах і витрат електроенергії. Термін окупності

проєкту становить приблизно 3,25 роки, що є прийнятним з позиції інвестиційної привабливості. У довгостроковій перспективі оновлення обладнання дозволить знизити аварійність, продовжити термін безаварійної експлуатації та підвищити енергетичну безпеку об'єкта. Проєкт є економічно доцільним, ефективним і відповідає принципам раціонального використання ресурсів.

## Висновки до розділу 5

Проведено аналіз потенційних небезпек та шкідливих виробничих факторів, характерних для умов експлуатації обладнання відкритого розподільчого пристрою 220 кВ. Встановлено, що основними ризиками є ураження електричним струмом, можливість короткого замикання, аварійне вимкнення обладнання та вплив метеорологічних умов на відкриті установки.

Запропоновані технічні та організаційні заходи з охорони праці та електробезпеки забезпечують належний рівень захисту персоналу при обслуговуванні та ремонті обладнання. Особливу увагу приділено заземленню, блокуванню, сигналізації та застосуванню засобів індивідуального захисту.

Розроблено рекомендації щодо безпечної експлуатації в умовах аварійних ситуацій, що включають порядок дій при коротких замиканнях, перенапругах та виході обладнання з ладу. Наведено алгоритм інформування диспетчерських служб і проведення оперативного відеонагляду за станом обладнання.

Оцінено ефективність впровадження систем попередження аварій, таких як автоматизовані системи діагностики та моніторингу стану електрообладнання, що дозволяє зменшити час реагування на відмови та підвищити загальний рівень безпеки.

Згідно з вимогами нормативних документів (Правила безпечної експлуатації електроустановок, ДНАОП, ПУЕ), проєкт відповідає встановленим стандартам, а розроблені заходи дозволяють зменшити ризики травмування персоналу та забезпечити безперебійну роботу об'єкта.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті виконання бакалаврської роботи проаналізовано сучасний стан електрообладнання відкритого розподільчого пристрою 220 кВ Бурштинської ТЕС. Виявлено основні технічні недоліки та моральне старіння окремих елементів, що знижують надійність і ефективність роботи всієї енергосистеми.

2. Обґрунтовано доцільність відновлення електрообладнання ВРП 220 кВ, оскільки реалізація модернізаційних заходів дозволяє зменшити втрати електроенергії, підвищити рівень автоматизації та забезпечити відповідність чинним нормативним документам та вимогам міжнародних стандартів.

3. У ході роботи розроблено принципову схему модернізованого відкритого розподільчого пристрою 220 кВ з урахуванням вимог до селективності, резервування та підвищеної надійності електропостачання. Схема забезпечує ефективну роботу під час нормальних і аварійних режимів функціонування енергосистеми.

4. Вибір і технічне обґрунтування нового обладнання (вимикачів, трансформаторів струму й напруги, пристроїв релейного захисту) проведено з урахуванням параметрів навантаження, режимів роботи та кліматичних умов експлуатації, що гарантує його довговічність, стійкість до перенавантажень і відповідність міжнародним стандартам ІЕС та ДСТУ.

5. Проведено технічну оцінку проектного рішення, яка передбачає заміну застарілого обладнання на сучасні високовольтні вимикачі, трансформатори струму та напруги, а також впровадження систем релейного захисту та автоматизації з дистанційним керуванням.

6. Розглянуто екологічні аспекти реалізації проекту, зокрема вплив на навколишнє середовище та промислову безпеку. Встановлено, що оновлене обладнання відповідає сучасним екологічним вимогам і не створює додаткового навантаження на довкілля.

7. Проведено оцінку економічної ефективності запропонованих технічних рішень. Розрахунки засвідчили зменшення експлуатаційних витрат,

підвищення енергоефективності та скорочення витрат на технічне обслуговування, що забезпечує швидку окупність проєкту.

8. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та безпеки в умовах експлуатації та аварійного режиму. Запропоновано комплекс організаційно-технічних заходів для зменшення ризиків ураження електричним струмом і забезпечення безпечної роботи обслуговуючого персоналу.

9. Результати проведеного дослідження можуть бути використані як практичні рекомендації для підприємств енергетичного сектора при модернізації та технічному переоснащенні високовольтного обладнання в умовах діючих електростанцій.