

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Гурський Руслан Цезарович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Вибір лінії живлення ЛЕП 110 кВ, апаратів захисту закритої
трансформаторної підстанції 110(10-10) кВ.**

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

**кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело**

Гурський Р.Ц.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко Людмила Григоїєвна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Гурський Р.Ц. Вибір лінії живлення ЛЕП 110 кВ, апаратів захисту закритої трансформаторної підстанції 110(10-10) кВ. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У роботі показана необхідність відновлення енергосистеми України, яка зазнала значних пошкоджень від війни, яку веде РФ. Проведені розрахунки та вибір лінії живлення ЛЕП 110 кВ, апаратів захисту закритої трансформаторної підстанції 110(10-10) кВ.

Ключові слова: енергетичний сектор України, апарати захисту закритої трансформаторної підстанції, лінія електропередачі, аварійний режим.

ABSTRACT

Gursky R.Ts. Selection of the power supply line of the 110 kV power line, protection devices of the closed transformer substation 110 (10-10) kV. Qualification work for a bachelor's degree in specialty 141 – Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The paper shows the need to restore the energy system of Ukraine, which has suffered significant damage from the war waged by the Russian Federation. Calculations and selection of the power supply line of the 110 kV power line, protection devices of the closed transformer substation 110 (10-10) kV were carried out.

Key words: energy sector of Ukraine, protection devices of a closed transformer substation, power transmission line, emergency mode.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. СТАН ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ У ХОДІ ВИЗВОЛЬНОЇ ВІЙНИ ПРОТИ РФ.	6
1.1 Атаки на енергетичну інфраструктуру та дефіцит електроенергії.	7
1.2. Збитки завдані сектору виробництва електричної енергії	8
1.3. Пошкодження сектору атомної генерації	11
1.4. Пошкодження ТЕС і когенераційних установок	12
1.5. Пошкодження сектору відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)	13
1.6. Шкода та збитки, завдані гідроенергетичному комплексу	14
1.7. Шкода та збитки, завдані сектору передачі електричної енергії	15
1.8. Пошкодження сектору розподілу електроенергії	17
2. ВИБІР ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ ЛЕП 110 КВ	18
2.1 Вибір кабелю лінії живлення електропередачі 110 кВ	18
2.2 Опис однолінійної схеми електропостачання	22
3. ВИБІР АПАРАТІВ ЗАХИСТУ ЗАКРИТОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 110/(10-10) КВ.	26
3.1 Вибір вимикачів на підстанції	26
3.1.1 Вибір вимикачів на стороні ВН	26
3.1.2 Вибір вимикачів на стороні ПН	27
3 .2. Вибір роз'єднувачів на підстанції	30
3.2.1 Вибір роз'єднувачів за ВН	30
3.2.2 Вибір роз'єднувачів на стороні ПН	31
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33

ВСТУП

Другу зиму поспіль Росія посилює військові атаки на енергосистему України, суттєво підриваючи безпеку енергопостачання країни. Кампанія бомбардування, яка тривала протягом опалювальних сезонів 2022/23/24 років і відновилася в останні місяці, була спрямована на широкий спектр енергетичної інфраструктури, від електростанцій до нафтопереробних заводів і об'єктів централізованого тепlopостачання. Світовий банк нещодавно підрахував, що енергетичний сектор України зазнав збитків у 12 мільярдів доларів США під час війни.

У світлі нападів Росії, які тривають, збереження стійкості енергосистеми та підвищення безпеки електроенергії є ключовими пріоритетами для України. Міжнародне енергетичне агентство (МЕА), яке поглибило свої відносини з Україною після вторгнення Росії, посилює підтримку, обмінюючись даними й аналізом, а також співпрацюючи безпосередньо з політиками, оскільки вони прагнуть як задовольнити нагальні енергетичні потреби країни, так і розвивати плани на більш тривалу перспективу.

Початковий наступ Росії на енергетичну систему України призвів до масштабних руйнувань. У жовтні 2022 року міністр енергетики України заявив, що близько 30% енергетичної інфраструктури України було атаковано за один день, і протягом наступних семи місяців Росія використовувала ракети та безпілотники для націлювання на енергетичні об'єкти по всій країні, майже всі енергогенеруючі системи отримали пошкодження. У результаті деякі райони мали доступ до електрики, опалення та Інтернету лише протягом кількох годин на день, а лікарням, підприємствам і домогосподарствам довелося використовувати дорогі дизельні генератори для резервного генерування електрики. За даними Світового банку, пошкоджено понад 50% енергетичної інфраструктури України.[1]

Україна доклала значних зусиль для покращення енергетичної безпеки. Протягом весни та літа енергетичні підприємства – за підтримки значних

грантів, позик та інвестицій від багатьох урядів, багатосторонніх донорів та приватного сектору – провели найбільшу в історії країни кампанію з ремонту та обслуговування енергетичної інфраструктури . Український уряд також зміцнив свої системи протиповітряної оборони та інвестував у заходи пасивного захисту, такі як інженерні укріплення для подальшого захисту енергетичної інфраструктури.

Виходячи з вище сказаного відокремлює напрямки розвитку енергосистеми України це створення енергогенеруючих систем невеликої потужності, закритих трансформаторних підстанцій. Що і визначає **актуальність теми** кваліфікаційної роботи.

Відповідно до вище сказаного **метою** кваліфікаційної роботи являється розрахунок та вибір лінії живлення ЛЕП 110 кВ, апаратів захисту закритої трансформаторної підстанції 110(10-10) кВ.

Об'єктом дослідження в даній роботі є закриті трансформаторні підстанції які необхідні для електроживлення різних об'єктів народного господарства.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Гурський Р.Ц. АПАРАТИ ЗАХИСТУ ЗАКРИТОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 110/(10-10) КВ. ВИБІР ВИМИКАЧІВ НА СТОРОНІ ВН.

Збірник тез науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ» 20 березня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 122-123.

Гурський Р.Ц., Власюк Ю.А. ВИБІР ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ ЛЕП 110 КВ ДЛЯ ЗАКРИТОЇ ТРАНСФОРМАТОНОЇ ПІДСТАЦІЇ 110(10-10) КВ

Збірник тез науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ» 20 березня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 124-127.

1. СТАН ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ У ХОДІ ВИЗВОЛЬНОЇ ВІЙНИ ПРОТИ РФ.

Енергетичний сектор України є об'єктом постійних атак, спрямованих на порушення доступу до електропостачання для мільйонів українців, а також критично важливої соціальної інфраструктури, включаючи опалення, питну воду, очищення стічних вод та зв'язок. Відновлення потужності як з передачі електроенергії, так і з виробництва електроенергії, як і раніше, є національним пріоритетом в довгостроковій перспективі.

З початку війни електроенергетичний сектор в Україні зазнав кардинальних змін. До жовтня 2022 року це зниження було пов'язане насамперед із перебуванням частин України під тимчасовим військовим контролем РФ, зменшенням промислового виробництва та переселенням значної кількості людей у більш безпечні регіони України або за кордон. Зменшення генеруючої потужності було достатнім для нормальної роботи енергосистеми.[2]

Ситуація кардинально змінилася у жовтні 2022 року, коли почалися послідовні та цілеспрямовані ракетні та безпілотні атаки на енергетичну інфраструктуру. За даними РНБО, з жовтня по грудень 2022 року російські військові випустили по енергетичній інфраструктурі України понад 1 500 ракет і дронів, а також велику кількість снарядів і гранат. Безперервні та регулярні хвилі атак на енергетичну інфраструктуру залишили 12 мільйонів людей без електроенергії, а також порушили водопостачання та системи опалення в той час, коли температура впала нижче нуля в більшості частин країни. Послідовні атаки на критичну енергетичну інфраструктуру, які розпочалися у жовтні 2022 року, та втрата доступу до активів, розташованих на непідконтрольних уряду України територіях, спричинили вимушене зниження споживання на 41 відсоток, повідомляють в «Укренерго». Середньостатистичне українське домогосподарство мало пережити п'ять сукупних тижнів без електроенергії з 10 жовтня до кінця грудня 2022 року, згідно з оцінками, заснованими на даних «Укренерго».

Атаки в першу чергу були націлені на Об'єднану енергетичну систему України. Таким чином, основна увага в Оцінці збитків енергетичному сектору 2022 року була приділена двом сферам, які зазнали найбільшої шкоди. У секторі виробництва електроенергії доступна потужність українських електростанцій впала з 36 ГВт до 13,9 ГВт у 2022 році, за даними РНБО, здатність виробляти електроенергію скоротилася на 61% протягом року. Із загальної кількості 75 енергоблоків 6 зруйновано, 16 пошкоджено, 1 перебував під тимчасовим військовим контролем РФ, а 22 вийшли з експлуатації через логістичні проблеми з постачанням газу чи вугілля, повідомляють в Укренерго. Що стосується передачі електроенергії, то 41 з 94 критично важливих високовольтних трансформаторів, розташованих на підконтрольних уряду територіях, були пошкоджені або знищені ракетами або дронами. Більше половини з них зазнавали ударів більше одного разу, щоб їх ніколи не можна було відремонтувати. Зменшення пропускної спроможності системи розподілу електроенергії ще більше обмежило енергопостачання по всій країні.[3]

1.1. Атаки на енергетичну інфраструктуру та дефіцит електроенергії

Енергосистема продовжує працювати в аварійному режимі практично без запасу міцності як для електромереж, так і для генерації. По-перше, потрібно збільшити резервні генеруючі потужності, оскільки наявні потужності з виробництва електроенергії скоротилися майже вдвічі, знизившись з 37,6 ГВт. на початку 2022 року до 18,3 ГВт. По-друге, системі критично не вистачало можливостей для маневрування. Наявна потужність ТЕС, основного джерела маневрових потужностей, впала на 68% з 14,3 ГВт до 4,6 ГВт. Нарешті, пропускна спроможність мережі передачі ще не повністю відновлена. У період із січня по квітень 2023 року було уражено лише одну додаткову підстанцію, всі інші неодноразово ставали мішенями.

Незважаючи на всі зусилля, до початку зимового сезону 2023/24 майже не поставлено та не встановлено нове обладнання через шестимісячний

затримку на поставку обладнання. Це означає, що система залишається дуже вразливою до широкого спектру загроз, включаючи безперервні атаки на енергетичну інфраструктуру, протяги, що спричиняють зниження генеруючої потужності гідроелектростанцій (ГЕС), тривалі ремонти атомних електростанцій та швидке відновлення попиту тощо.

Виробництво електроенергії всіх видів генерації з січня по квітень 2023 року скоротилося на 32,5 відсотка в порівнянні з аналогічним періодом 2021 року і склало 36,5 ТВт/год через ракетні удари по енергетичній інфраструктурі та падіння споживання електроенергії, повідомляє «Укренерго». Виробництво електроенергії у першому кварталі 2023 року зросло на 9,7 відсотка порівняно з четвертим кварталом 2022 року, коли доступна потужність українських електростанцій не перевищувала 13,9 ГВт. Ситуація в енергосистемі тимчасово стабілізована завдяки зусиллям українських енергетиків та підтримці міжнародних партнерів.

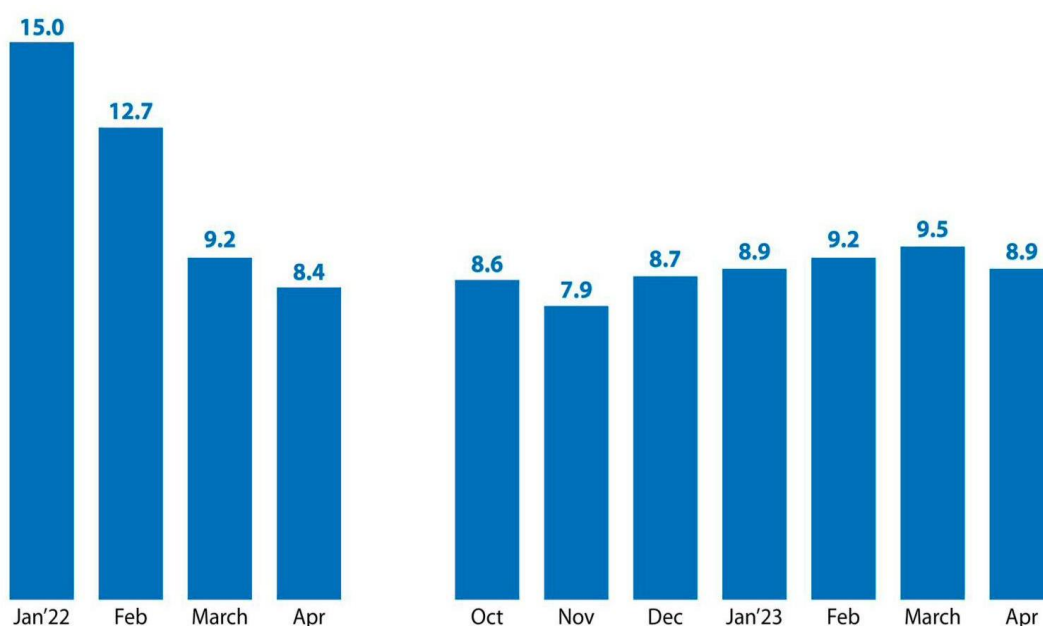


Рис.1- Динаміка виробництва електроенергії у 2022-2023 роках, ТВт/год

У період з січня по квітень 2023 року енергосистема України була частково відновлена. Починаючи з середини лютого 2023 року, дефіцит електроенергії, який спостерігався в системі з жовтня, здебільшого був

відсутній, а стабілізаційні відключення застосовувалися локально, переважно після регулярних обстрілів. У березні та квітні в Україні не застосовувалися стабілізаційні відключення. Відносне збільшення доступної генеруючої потужності та часткове відновлення мереж передачі та розподілу електроенергії підвищило операційну безпеку енергосистеми та зменшило ризик дефіциту. Однак після того, як сезонні паводки пройдуть, і якщо кілька енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) вийдуть з ладу, енергосистема може зіткнутися з дефіцитом енергії.

Загальне споживання електроенергії з січня по квітень 2023 року склало 32,4 ТВт/год, що на 18,9 відсотка менше, ніж у 2022 році, і на 33,5 відсотка менше, ніж у 2021 році, останньому порівнянному періоді, на який не вплинула війна. Споживання в першому кварталі 2023 року зросло на 12,7 відсотка порівняно з четвертим кварталом 2022 року.

1.2. Збитки завдані сектору виробництва електричної енергії

На кінець квітня 2023 року в Україні не було жодної ТЕС чи ГЕС, які б не були пошкоджені тією чи іншою мірою внаслідок військових дій та ракетних ударів по об'єктах енергетичної інфраструктури. Загалом понад 90 відсотків вітрової генерації, близько 75 відсотків теплової генерації, майже половина атомної генерації (через Запорізьку АЕС, яка розташована на непідконтрольних уряду територіях), понад 30 відсотків сонячної генерації та блочних ТЕС пошкоджені або перебувають на непідконтрольних територіях під час війни. Доступна потужність зменшилася з 37,6 ГВт на початок 2022 року до 18,3 ГВт

До кінця квітня 2023 року через зниження інтенсивності ракетних обстрілів, високі темпи відновлення та значну міжнародну допомогу деяким генеруючим потужності вдалося повернутися до критичної роботи; Однак консолідованої інформації про ремонти та фактичний стан обладнання поки що немає. Станом на кінець квітня 2023 року всі типи електростанцій працюють, а гідроелектростанції значно виграють від весняних паводків.

Також підтримується сезонно високий рівень генерації з відновлюваних джерел енергії.

З січня по квітень 2023 року структура генерації електроенергії змінилася наступним чином:

- Виробництво електроенергії на атомних електростанціях зменшилося порівняно з аналогічним періодом 2021 року (останній порівнянний період, на який не вплинула війна). Виробництво впало з 29,0 ТВт-год до 19,5 ТВт-год, при цьому його частка в національному електроенергетичному балансі дещо змінилася з 53,6% до 53,4%. Це пов'язано з зупинкою Запорізької АЕС – найбільшого ядерного об'єкта країни, який залишився на території, що перебуває під тимчасовим військовим контролем РФ.
- Генерація теплової електростанції зменшилася з 13,9 ТВт/год до 7,6 ТВт/год. Отже, частка цього виду виробництва електроенергії в національній структурі електроенергії зменшилася з 25,6 відсотка до 20,8 відсотка.
- Виробництво електроенергії на ТЕЦ зменшилося з 4,8 ТВт/год до 2,8 ТВт/год, а частка цього виду генерації в загальній структурі зменшилася з 8,8% до 7,8%;
- Генерація з відновлюваних джерел зменшилася з 3,2 ТВт/год до 2,1 ТВт/год, або з 5,9% до 5,7% структури виробництва електроенергії, оскільки велика кількість вітрових та сонячних електростанцій, розташованих на півдні України, наразі перебувають на територіях, що перебувають під тимчасовим військовим контролем Російської Федерації, пошкоджені або перебувають у зоні бойових дій.
- Виробництво електроенергії на ГЕС та ГАЕС зросло з 3,3 ТВт/год до 4,5 ТВт/год. Так, частка такої електроенергії в структурі національної електроенергетики суттєво зросла з 6,1 відсотка до 12,3 відсотка. Таке зростання пов'язане насамперед із природним підвищенням рівня води,

а також нижчим рівнем пошкодження об'єктів гідроенергетики порівняно з ТЕС та ТЕЦ.

1.3. Пошкодження сектору атомної генерації

Три з чотирьох атомних електростанцій, що працювали на початку війни, продовжують працювати в Об'єднаній енергосистемі України станом на кінець квітня 2023 року: Південноукраїнська АЕС, Рівненська АЕС та Хмельницька АЕС. Доступні потужності атомної генерації у квітні 2023 року зменшилися на 44,2 відсотка порівняно з квітнем 2021 року, останнім порівнянним періодом, на який не вплинула війна. Порівняно з кінцем 2022 року ситуація практично не змінилася.

З 4 березня 2022 року російські війська взяли під контроль майданчик ЗАЕС. До повномасштабного вторгнення Росії в Україну станція була найбільшою діючою атомною електростанцією в Європі, у 2021 році її потужність становила 43 відсотки від загальної потужності атомної генерації в Україні, а її робоча потужність перевищувала 20 відсотків загальної генерації Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС).

До серпня 2022 року, незважаючи на розміщення військової техніки та російського персоналу на території ЗАЕС, два її блоки продовжували працювати та постачати електроенергію до ОЕС України, повідомляють в Енергоатомі. З вересня 2022 року станція не працює, але залишається підключеною до української енергосистеми для живлення систем охолодження та безпеки енергоблоків. Станом на кінець квітня 2023 року чотири з шести енергоблоків станції перебували в холодній зупинці, а два – п'ятий і шостий – у режимі гарячої зупинки, але реактори були зупинені.

Внаслідок обстрілу шість разів було пошкоджено єдину лінію зв'язку між станцією та ОЕС України, внаслідок чого системи безпеки та охолодження станції знеструмлені та живляться від генераторів, повідомили в Енергоатомі. Усі інші АЕС продовжують працювати в енергосистемі України, про значні пошкодження не повідомлялося.

Обсяги генерації АЕС у січні-квітні 2023 року зменшилися з 29,0 ТВт/год до 19,5 ТВт/год, або на 32,8 відсотка, порівняно з відповідним періодом 2021 року. Відсутність ЗАЕС у системі частково компенсується збільшенням обсягів генерації трьох діючих станцій.[4]

1.4. Пошкодження ТЕС і когенераційних установок

За даними «Укренерго», станом на кінець квітня 2023 року на підконтрольній уряду території не було жодної ТЕС чи великої ТЕЦ, які б не зазнали пошкоджень різного ступеня через бойові дії та ракетні обстріли. Попри це, всі 9 ТЕС та найбільші ТЕЦ на підконтрольній території працюють на частковій потужності. Завдяки високим темпам відновлювальних робіт, у період з січня по квітень 2023 року вдалося збільшити доступну потужність теплової генерації (ТЕС та ТЕЦ) з 4,5 ГВт на кінець грудня 2022 року до 6,0 ГВт на кінець квітня 2023 року. Проте 11,1 ГВт із 17,1 ГВт наявної потужності станом на 30 квітня 2023 року залишаються пошкодженими, перебувають під тимчасовим військовим контролем Російської Федерації або не можуть бути підключені до ОЕС України з різних причин.

З 13 ТЕС (77 одиниць) станом на кінець 2023 року в експлуатації перебували 9 ТЕС (22 одиниці) з наявною потужністю 4,6 ГВт, що на 68 відсотків менше, ніж на кінець 2021 року, останнього порівнянного періоду, на який не вплинула війна. Внаслідок бойових дій та ракетних обстрілів пошкоджено 6,6 ГВт або 46,2 відсотка наявної потужності ТЕС, та 3,1 ГВт або 21,7 відсотка знаходяться під тимчасовим військовим контролем Російської Федерації. У першому кварталі 2023 року 6 ТЕС (всього 13 енергоблоків) зазнали різного ступеня пошкоджень через ракетні та артилерійські обстріли.

Значних пошкоджень зазнали і потужності ТЕЦ. Станом на 30 квітня 2023 року деякі підрозділи великих ТЕЦ були виведені з ладу через ракетні обстріли. З 25 найбільших малих ТЕЦ вісім не виробляють електроенергію, а більшість інших пошкоджені. Це призвело до скорочення доступної потужності ТЕЦ з 2,9 ГВт на кінець 2021 року до 1,4 ГВт на кінець квітня 2023

року. Пошкоджені потужності становлять 1,4 ГВт або 48,3 відсотка, при цьому 0,1 ГВт або 3,4 відсотка залишаються на території, яка перебуває під тимчасовим військовим контролем Російської Федерації. 16 з січня по квітень 2023 року чотири ТЕС зазнали пошкоджень від ракетних та артилерійських обстрілів.

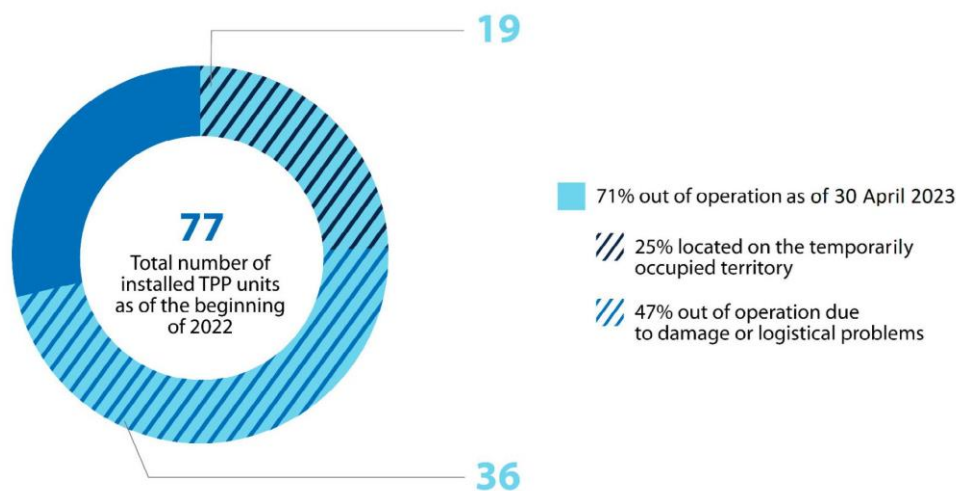


Рис.2.- Стан енергоблоків ТЕС станом на кінець квітня 2023 року.

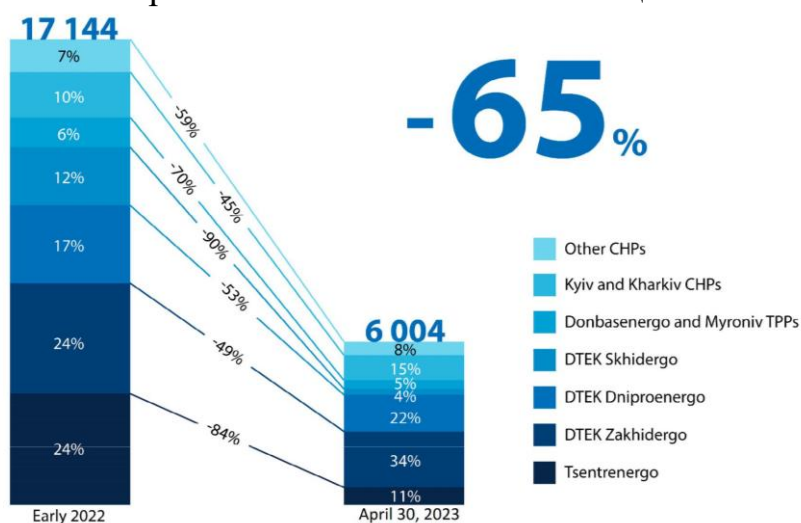


Рис.3. Доступні потужності ТЕС, МВт.

1.5. Пошкодження сектору відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)

Станом на 30 квітня 2023 року до 40 відсотків об'єктів відновлюваної енергетики зазнали різного впливу, насамперед у південних та південно-східних областях України. Виробництво вітрової та сонячної енергії скоротилося на третину. Більш точна оцінка збитків стане можливою після

того, як ці території повернуться під контроль Уряду України. Доступна потужність генерації з відновлюваних джерел зменшилася з 8,2 ГВт на кінець 2021 року до 6,3 ГВт.¹⁷ Найбільше руйнувань сталося через розміщення об'єктів генерації в зонах бойових дій або зміну їх контролю в перші місяці повномасштабного вторгнення.

Порівняно з кінцем 2022 року ситуація практично не змінилася. Значних додаткових пошкоджень об'єктів відновлюваної енергетики з січня по квітень 2023 року не зафіксовано.

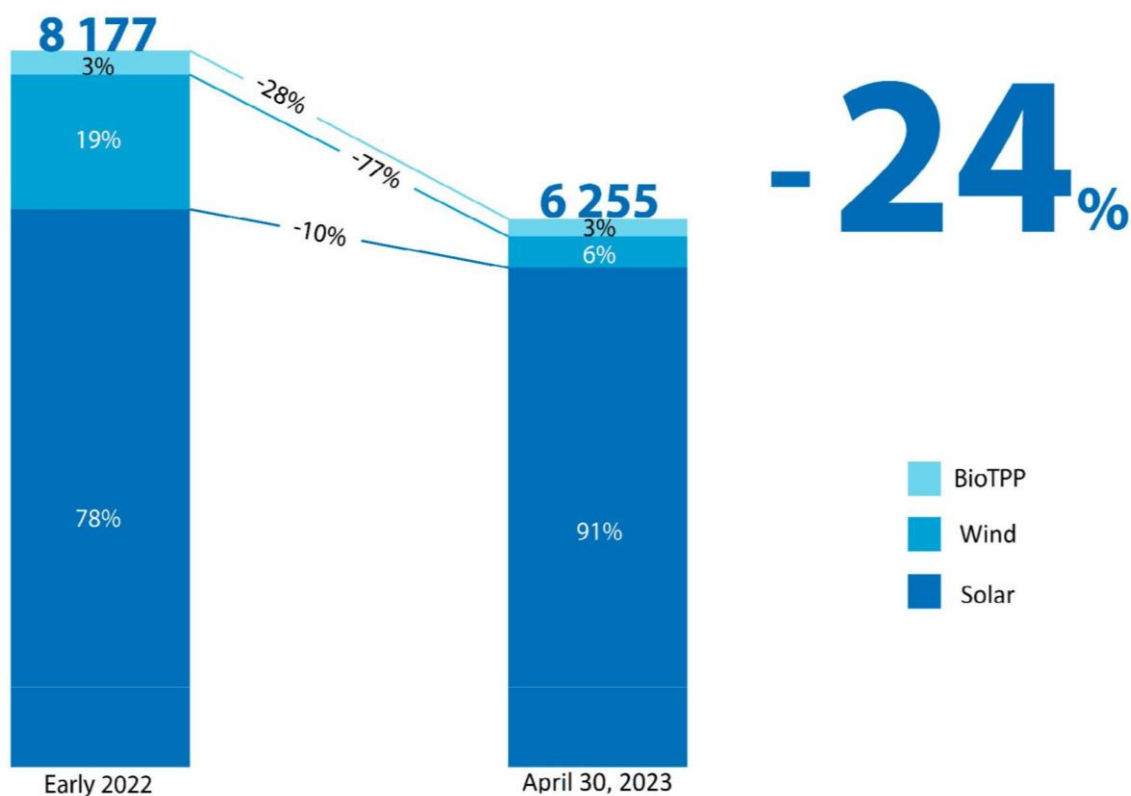


Рис.4.- Доступні потужності ВДЕ, МВт

1.6. Шкода та збитки, завдані гідроенергетичному комплексу

Станом на кінець квітня 2023 року доступна потужність гідроенергетики зменшилася до 4,7 ГВт, або на 29,8 відсотка з 6,7 ГВт¹⁸ на кінець 2021 року. З жовтня 2022 року по квітень 2023 року більшість електростанцій зазнали пошкоджень основного або допоміжного обладнання, при цьому три

гідроелектростанції та одна гідроакумулююча станція були серйозно пошкоджені ракетними атаками, переважно з електрообладнання та машинних залів на ГЕС. Загалом пошкоджено 2,1 ГВт доступних потужностей ГЕС та ГАЕС, відновлено 500 МВт пошкодженої потужності.

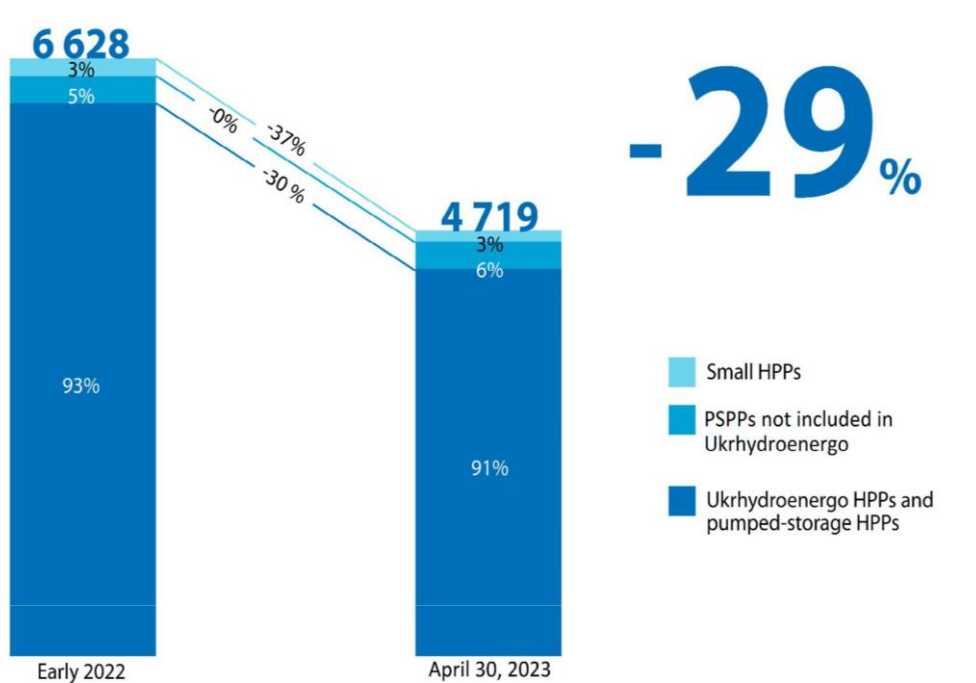


Рис.5. - Доступна генеруюча потужність ГЕС і ГАЕС, МВт

У період з січня по квітень 2023 року одна ГЕС була пошкоджена ракетними обстрілами. Станом на 30 квітня 2023 року в енергосистемі України працювали всі великі гідроелектростанції, крім однієї станції, яка не перебуває під контролем Уряду України. Проте більшість з них працювали лише на частковій потужності через пошкодження як генеруючого обладнання, так і системи розподілу.

Водночас відбулося тимчасове зростання виробництва гідроелектроенергії з 3,3 ТВт-год у січні-квітні 2021 року до 4,5 ТВт-год у січні-квітні 2023 року, насамперед через сприятливі погодні умови, зокрема ранні та високі повені на річках. Повені почалися на початку лютого і, як очікується, триватимуть до червня, що допоможе зберегти високі обсяги генерації. Враховуючи значні пошкодження об'єктів теплової генерації,

зростає значення гідрогенерації для балансування енергосистеми (частка гідрогенерації зросла до 12,9 відсотка у березні та 17,4 відсотка у квітні 2023 року).

1.7. Шкода та збитки, завдані сектору передачі електричної енергії

Загалом з жовтня 2022 року по березень 2023 року майже всі критичні високовольтні підстанції, що експлуатуються НЕК «Укренерго», були атаковані ракетами чи дронами щонайменше 3-4 рази, за даними РНБО. З 94 високовольтних підстанцій ОЕС України пошкоджено 42 підстанції, повідомляють в Укренерго. Станом на кінець першого кварталу повністю відновлено 29 підстанцій, ще 13 підстанцій частково відновлені та працюють з обмеженнями. На підконтрольній уряду території виведено з експлуатації дві високовольтні підстанції, розташовані поблизу лінії зіткнення, а вісім підстанцій перебувають під тимчасовим військовим контролем Російської Федерації; їхній стан буде визначено лише після того, як вони будуть повернуті під контроль Уряду України. Насамперед завдяки інтенсивному відновленню пошкоджених підстанцій у першому кварталі 2023 року стало можливим стабілізація енергосистеми та поступове зняття обмежень на мережі.

Ракетні обстріли знищили всю високовольтну мережу 750 кВ, яка використовується для розподілу електроенергії від атомних електростанцій по всій території України. Це створило значні труднощі у задоволенні потреб країни в енергоспоживанні та ускладнило передачу електроенергії із західних областей на схід. Станом на кінець першого кварталу 2023 року відновлено значну частину пошкодженої мережі. Однак відновлювальні роботи тривають, а запас стійкості системи залишається обмеженим.

Протягом першого кварталу 2023 року атаки на високовольтні підстанції «Укренерго» тривали, але інтенсивність атак була значно нижчою, ніж у жовтні-грудні 2022 року. Пошкоджено чотири підстанції 750 кВ (три – двічі і

більше) та 17 підстанцій 330 кВ (сім – двічі і більше, одна підстанція пошкоджена вперше).

1.8. Пошкодження сектору розподілу електроенергії

У період з жовтня 2022 року по березень 2023 року було пошкоджено 37 розподільчих підстанцій: дві 150 кВ, дев'ять 110 кВ та двадцять шість підстанцій 35 кВ. Пошкодження розподільчої мережі зафіксовані по всій території України, але найбільш критичні – у регіонах, розташованих у зоні бойових дій та вздовж лінії зіткнення. У період з жовтня по грудень 2022 року через бойові дії та обстріли було пошкоджено 24 розподільчі підстанції, з них одна підстанція 150 кВ, сім підстанцій 110 кВ та п'ятнадцять підстанцій 35 кВ.

У першому кварталі 2023 року пошкоджено 14 підстанцій розподільчих мереж, що належать обленерго, з них одинадцять 35 кВ, дві 110 кВ та одна підстанція 150 кВ. Також значних пошкоджень зазнали магістральні та регіональні лінії електропередачі. Швидкість відновлення розподільчої мережі залежить насамперед від безпекової ситуації в регіоні та можливості проведення ремонтів, а також від фінансування та наявності обладнання. [4]

Висновок по розділу. Російська Федерація нанесла значний збитків енергосистеми України. Для її відновлення необхідно вкласти багато фінансових, матеріально-технічних та інтелектуальних ресурсів. У кваліфікаційній роботі розглянуто вибір лінії живлення ЛЕП 110 кВ, апаратів захисту закритої трансформаторної підстанції 110/(10-10)кВ.

2. ВИБІР ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ ЛЕП 110 КВ

2.1 Вибір кабелю лінії живлення електропередачі 110 кВ

Початкові дані:

Максимальна потужність, що відпускається однією лінією $S_{\text{вн.мах}} = 25\text{МВА}$;

Кількість відхідних ліній 2;

Довжини ліній: $L_1/L_2 = 10/10$ км.

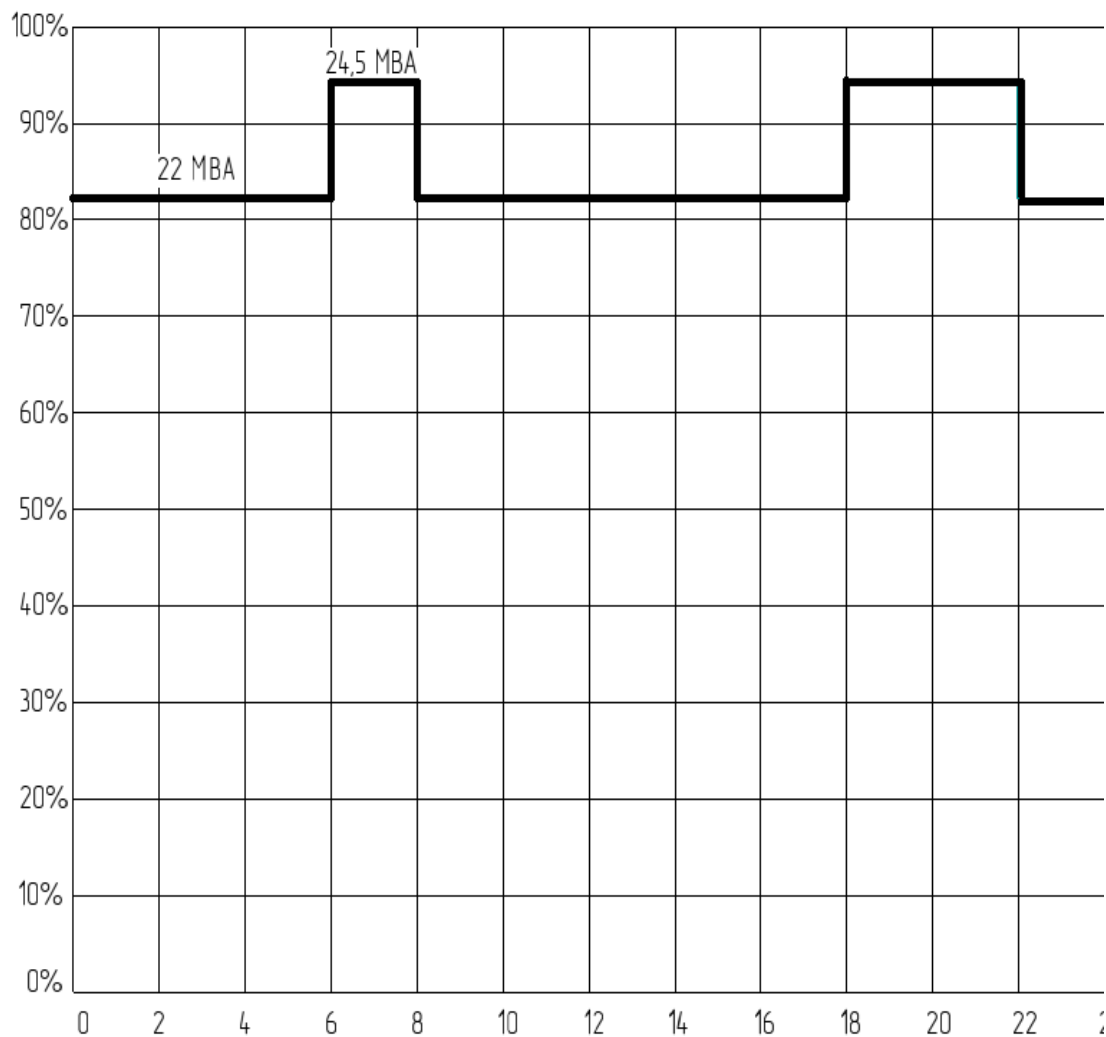


Рис.6 - Добовий графік повної сумарної потужності, що споживається.

Тривалість використання максимального навантаження згідно з рис.6 та табл.1. визначається за формулою:

$$T_{\text{max}} = \frac{n_3 * \sum(S_i * \Delta t_i) + n_l * \sum(S_j * \Delta t_j)}{S_{\text{вн.мах}}},$$

Таблиця 2.1 - Сумарна потужність, що передається по мережі ПН у певні інтервали часу

Проміжки часу, год.	0 – 6	6 – 8	8 – 18	18 – 22	22 – 24
Сумарна споживана потужність, МВА	22	24,5	22	24,5	22

де: T_{max} - тривалість використання максимального навантаження, год;

n_3 — кількість зимових днів на рік, днів;

S_i — потужність, що споживається в зимові пори року,

Δt_i — час, протягом якого споживається потужність S_i , Г;

n_d — кількість літніх днів на рік, дні;

S_j — потужність, що споживається в літню пору року,

Δt_j — час, протягом якого споживається потужність,

$S_{вн.мах}$ — максимальна потужність, що споживається мережею високого, МВА.

$$T_{max} = \frac{195 \cdot (22 \cdot 18 + 24,5 \cdot 6) + 170 \cdot (22 \cdot 18 + 24,5 \cdot 6)}{25} = 7928 \text{ Г}$$

При використанні максимуму навантаження на рік понад 5000 годин для алюмінієвих кабелів з полівінілхлоридною ізоляцією економічна щільність струму за ПУЕ 1.3.36 береться [6]:

$$j_{ек} = 1,0 \text{ А/мм}^2$$

Номинальний розрахунковий струм визначається за такою формулою:

$$I_{\text{ном.роз}} = \frac{P_{\text{вн.мах}}}{2 * \sqrt{3} * U_{\text{н}}},$$

де $I_{\text{ном.роз}}$ – нормальний розрахунковий струм А;

$P_{\text{вн.мах}}$ – максимальна активна потужність, що відпускається, на одну лінію мережі високої напруги, МВт;

$U_{\text{н}}$ – номінальна напруга мережі високої напруги, кВ.

$$I_{\text{ном.роз}} = \frac{25000}{2 * \sqrt{3} * 110} = 65,7 \text{ А}$$

Економічний переріз дроту визначається за формулою:

$$q_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{ном.роз}}}{j_{\text{ек}}}$$

де $I_{\text{ном.роз}}$ – економічний перетин дроту,

$j_{\text{ек}}$ – щільність струму

$$q_{\text{ек}} = \frac{65,7}{1,0} = 65,7 \text{ мм}^2$$

Приймається найближче стандартне 70 мм^2 і попередньо вибирається кабель марки ААШВЕ 1х70 (А - Алюмінієва струмопровідна жила, А - алюмінієва оболонка, ШВ- захисний покрив (шланг) з ПВХ, Е - екранований, 1 - кількість жил, 70 - перетин жили (мм^2)) для прокладання під землею в траншеї, який має допустиме тривале струмове навантаження за ПУЕ 1.3.16 рівне 340 А [5].

Необхідна перевірка здійснюється у режимі аварії, тобто у режимі обриву однієї з ліній (або частини ланцюга). Струм, що протікає по ланцюгу визначається за формулою:

$$I_{\text{мах}} = \frac{P_{\text{вн.мах}}}{\sqrt{3} * U_{\text{н}}}$$

де $I_{\text{мах}}$ – – максимальний розрахунковий струм;

$P_{\text{вн.мах}}$ – максимальна активна потужність, що відпускається, на одну лінію мережі високої напруги, МВт;

U_n – номінальна напруга мережі високої напруги, кВ.

$$I_{max} = \frac{25000}{\sqrt{3} * 110} = 131,3 \text{ А}$$

Умова $I_{max} < I_{доп}$ виконується, отже, як кабельні ЛЕП приймається провід марки ААШВЕ 1х70 та перевіряється за втратами напруги. Перевіряємо довжину лінії живлення по втраті напруги, яка в нормальному режимі не повинна перевищувати 5%, а в аварійному режимі - 10%.

– у нормальному режимі ($\Delta U_{доп} = 5\%$):

$$L_{доп.н.} = \Delta L * \Delta U_{доп.н.} * \frac{I_{доп.н.}}{I_{р.мах}},$$

де $L_{доп.н.}$ – допустима довжина втрати напруги в норм. режимі, км;

ΔL – довжина лінії, км;

$I_{доп.н.}$ – довгостроково допустиме значення струму, А;

$I_{р.мах}$ – розрахункове максимальне значення струму, А.

Тоді:

$$L_{доп.н.} = 10 * 5 * \frac{340}{65,7} = 258,8 \text{ км},$$

– у після аварійному режимі ($\Delta U_{доп} = 10\%$):

$$L_{доп.ав.} = \Delta L * \Delta U_{доп.ав.} * \frac{I_{доп.н.}}{I_{р.ав}},$$

Де $L_{доп.ав.}$ – допустима довжина втрати напруги в авар. режимі, км;

$\Delta U_{доп.ав.}$ – допустима втрата напруги в аварійному режимі, %.

$$L_{доп.ав.} = 10 * 10 * \frac{340}{131,3} = 258,95 \text{ км},$$

Ця довжина значно перевищує мінімальну відстань 20 км, тобто перетин 70 мм. За втратою напруги проходить. Тому, до остаточного встановлення приймаємо кабель ААШВЕ 1х70.

Живильні кабельні лінії прокладаються в заздалегідь виритих траншеях під глибиною 1-1,5 метра. Перед укладанням кабелю траншея засипається піском 10 см і трамбується. По всій трасі прокладають труби ПВХ/ПНД або залізобетонні лотки, після чого силовий кабель прокладається легкими

хвилями без натягу. Після укладання кабелю здійснюється захист від випадкового пошкодження за допомогою плит або цеглини поперек траси. Далі здійснюється попереднє засипання кабелю піском, укладаються плитки ПЗК або сигнальна стрічка і проводиться остаточне засипання кабелю. Кабель ААШВЕ має ПВХ ізоляцію, що забезпечує необхідний рівень безпеки. [6]

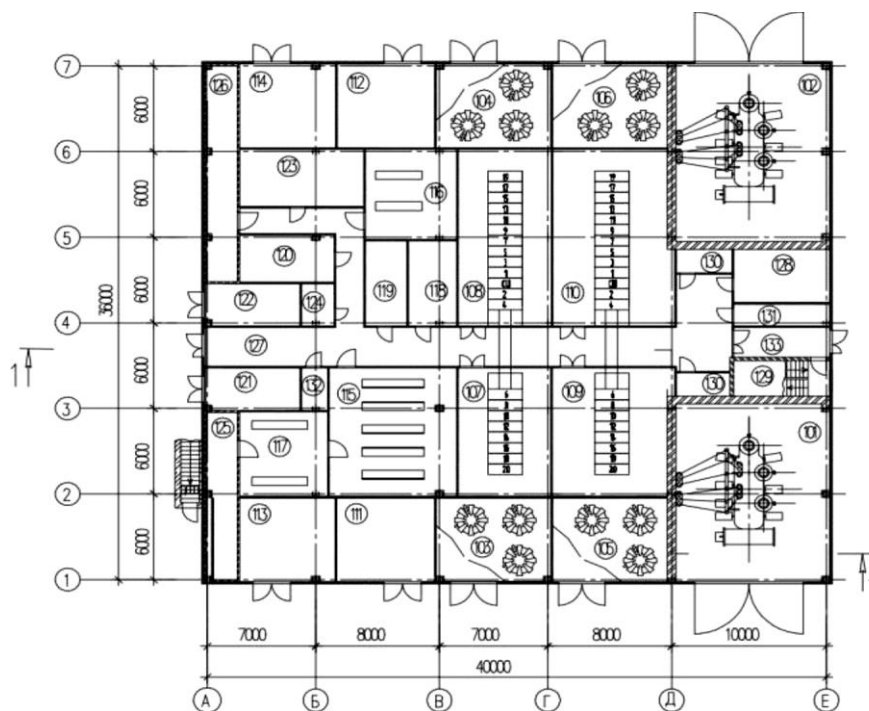


Рис.7– Розташування обладнання ЗТП на позначці 0,000 м

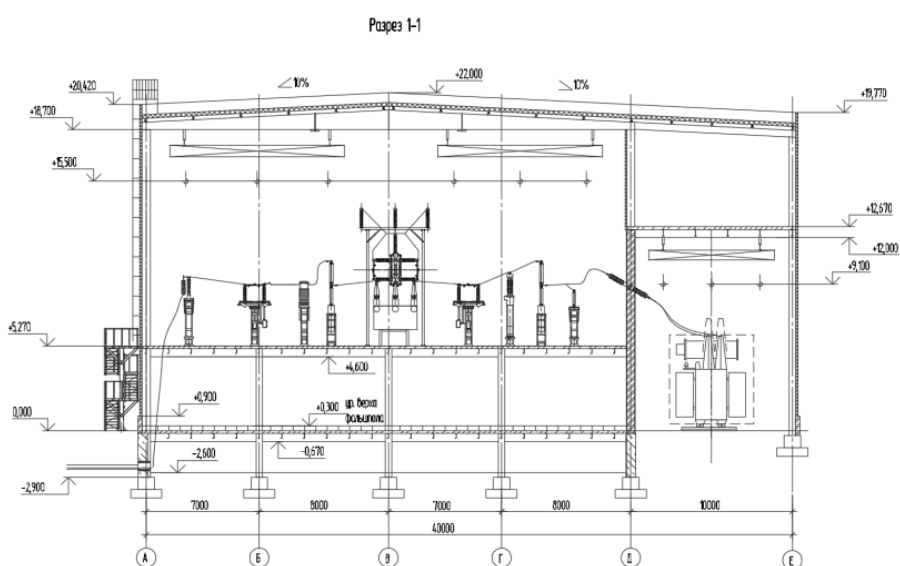


Рис. 8 – Розріз по силовому трансформатору та високій стороні.

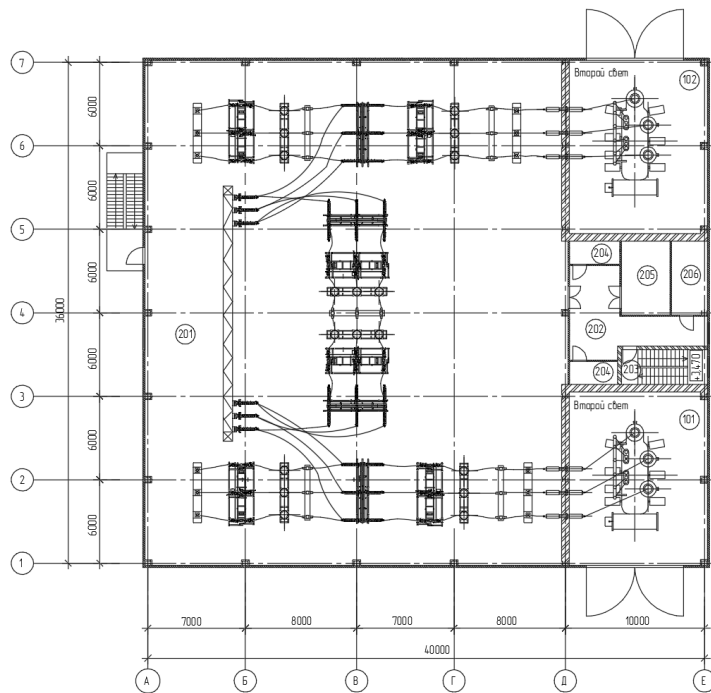


Рис. 9 – Другий поверх будівлі ЗТП

2.2 Опис однолінійної схеми електропостачання

Кабельні вводи розміщені у траншеї. Такий спосіб не вимагає об'ємних робіт під час прокладання кабелів, а також створюються необхідні умови для охолодження кабелів. Розміщення кабелів у траншеях дозволить обходитися без опор ВЛЕП, що значно здешевить весь процес прокладання. Безпосереднє введення силових кабелів у ЗТП здійснюється через підвал на позначці -2,900 метрів. Кабелі по кабельній шахті, забезпеченій спеціальними скобами та лотками, прокладаються до захисної апаратури.

Схема ЗРУ-110 є схемою «місток» з вимикачами в ланцюгах ліній і ремонтною перемичкою з боку ліній. Застосовується подібна схема в РУ напругою 35-220 кВ, а саме в прохідних двотрансформаторних ПС із двостороннім живленням для збереження в роботі трансформаторів при КЗ на лініях. На випадок виходу з ладу однієї з ліній та виведення обладнання на ремонт використовується ремонтна перемичка. Перемичка забезпечується роз'єднувачами РГНПЗ-110, лінійним елегазовим вимикачем ВГТ-110 та трансформаторами струму ТОГФ-110.

Як силові трансформатори використовуються ТРДН-25000/110 - трансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги з природною циркуляцією масла, є пристрій РПН. Перевагою цього трансформатора є те, що при короткому замиканні в ланцюгу однієї з частин розщепленої обмотки в інших обмотках трансформатора виникають струми і напруги істотно менші, ніж у такому трансформаторі з нерозщепленою обмоткою низької напруги. Тобто застосування таких трансформаторів дозволяє збільшити кількість ліній (секцій), що підключаються, і значно знизити значення струмів короткого замикання в порівнянні зі звичайними трансформаторами без розщеплення обмоток.

Для обмеження рівня перенапруги, що викликаються комутаційними процесами в електричних мережах або виникають при грозових перенапруги, на високій стороні використовуються ОПН-110. Для відключення та включення знеструмлених ділянок мережі та для створення видимого розриву на підстанції використовуються роз'єднувачі РГНП, тобто роз'єднувачі горизонтально-поворотного типу з полімерною ізоляцією (можуть забезпечуватися заземлюючими ножами). Для автоматичного включення-вимкнення окремих обладнання або частин ланцюга за нормальних або аварійних режимів на підстанції стоять елегазові вимикачі ВГТ-110. Для вимірювання необхідних значень пристроями (РЗіА, лічильники, вольтметри, амперметри та інші пристрої) призначені вимірювальні трансформатори напруги та струму НАМІ-110 (трансформатор напруги антирезонансний з природним охолодженням повітря та масла) та ТОГФ-110 (трансформатори струму) відповідно, які знижують первинні значення напруги та струму до зручних для вимірювання.

Схема РУ-10 являє собою одну збірну шину, секційовану вимикачем секційним СВ 10 кВ. Оскільки на підстанції стоять трансформатори з розщепленою обмоткою, кількість шин збільшується вдвічі. Відповідно, кількість секцій також збільшується вдвічі.

На кожній з ліній НН, що відходять, стоять елегазові вимикачі внутрішньої установки LF2-10, роз'єднувачі РКВ-10 (Роз'єднувачі Клинового типу Внутрішньої установки, можуть забезпечуватися заземлюючими ножами), трансформатори струму ТОЛ-10, трансформатори напруги НТМІ-10 і обмежувачі змішувача НТМІ-10.

При відключенні джерела живлення однієї з секцій живлення подається пристроєм автоматичного вмикання резервного джерела. АВР забезпечується секційним вимикачем з стичними контактами, лінійним роз'єднувачем та трансформаторами струму. Тобто АВР гарантує безперебійне харчування споживачів електроенергією.

Для обмеження ударного струму короткого замикання на кожній із секцій встановлено струмообмежуючий реактор. А також на кожній із секцій встановлюється реактор, що гасить дугу, для компенсації ємнісних струмів. Для живлення споживачів самої підстанції (вентиляція, обігрів та освітлення приміщень, живлення шаф ЗРУ, РЗіА, ЩСН, АПСКУЕіТМ) використовується трансформатор власних потреб ТСЗЛ-40/10 (Трансформатор Сухий Захищений з Литою ізоляцією).[7]

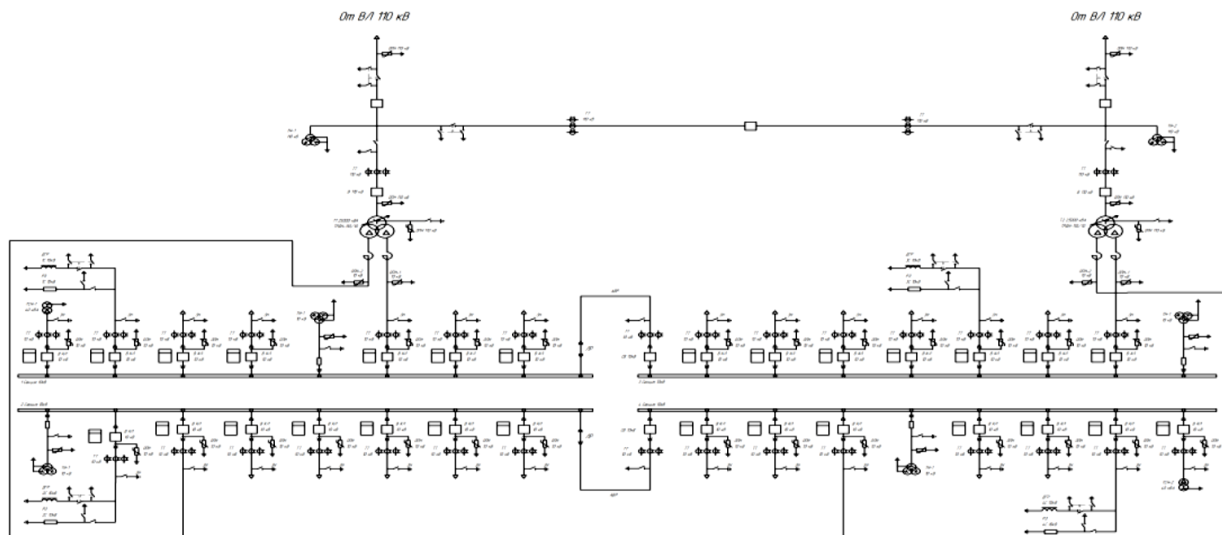


Рис. 10 – Однолінійна схема електропостачання

Висновок по розділу: розраховані основні характеристики ліній живлення і обраний тип лінії живлення ЛЕП, та складений генплан ЗТП і однолінійна схема електропостачання.

3. ВИБІР АПАРАТІВ ЗАХИСТУ ЗАКРИТОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІ 110/(10-10) КВ.

3.1 Вибір вимикачів на підстанції

3.1.1 Вибір вимикачів на стороні ВН

Розрахункове значення сили струму в нормальному та аварійному режимах знаходиться за такими формулами:

$$I_{p.норм} = \frac{P_{ВН.мах}}{n * \sqrt{3} * U_H} = \frac{25000}{2 * \sqrt{3} * 110} = 65,5 \text{ А}$$

$$I_{p.норм} = \frac{P_{ВН.мах}}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{25000}{\sqrt{3} * 110} = 131,2 \text{ А}$$

Виберемо вимикач типу ВГТ-110-40/2500-УХЛ1 з номінальними (робочими) параметрами:

- номінальний робочий струм $I_{НОМ} = 2,5 \text{ кА}$;
- номінальний струм відключення $I_{НОМ.відк} = 40 \text{ кА}$;
- амплітудне значення граничного наскрізного струму (максимальний пік) $I_{дін} = 102 \text{ кА}$;
- власний час відключення $t_{в.0} = 0,03 \text{ с}$;
- струм термічної стійкості $I_T = 40 \text{ кА}$;
- час протікання струму термічної стійкості $t_T = 0,03 \text{ с}$ [7].

Перевірку вибраних вимикачів здійснюємо:

а) За здатністю вимикати:

- по можливості відключення періодичної складової струму короткого замикання:

$$I_{nt} = I_{no} = 11,9 \text{ кА} \leq I_{НОМ} = 40 \text{ кА}$$

- за здатністю відключення аперіодичної складової струму короткого замикання за такою формулою:

$$I_{at} = I_{ao} * e^{-\left(\frac{t_{с.з} + t_{в.0}}{T_a}\right)} \leq \sqrt{2} * \beta_{НОМ} * I_{НОМ.откл},$$

де $t_{с.з} = 0,01 \text{ с}$ – мінімальний час спрацьовування захисту;

$t_{в.0} = 0,03 \text{ с}$ – час відключення вимикача;

$T_a = 0,02 \text{ c}$ - постійна часу на шинах ВН підстанції,

$\beta_{\text{НОМ}}$ –вміст аперіодичної складової, %.

$$I_{at} = 16,82 * e^{-\left(\frac{0,01+0,03}{0,02}\right)} = 12,4 \leq \sqrt{2} * 0,4 * 40 = 22,6 \text{ кА},$$

- по здатності вимикання повного струму короткого замикання:

$$\sqrt{2} * I_{\text{пт}} + i_{at} \leq \sqrt{2} * I_{\text{НОМ.откл}} * (1 + \beta_{\text{НОМ}})$$

$$\sqrt{2} * 11,9 + 12,4 = 29,2 \text{ кА} \leq \sqrt{2} * 40 * (1 + 0,4) = 79,2 \text{ кА}$$

b) По електродинамічній стійкості:

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{пр.с}}$$

$$i_{\text{уд}} \leq I_{\text{пр.с}}(I_{\text{дін}}),$$

де $I_{\text{пр.с}}$ - Чинне значення граничного наскрізного струму короткого замикання;

$I_{\text{пр.с}}(I_{\text{дін}})$ - амплітудне значення граничного наскрізного струму короткого замикання (найбільший пік)

$$i_{\text{пр.с}} = \sqrt{2} * 1,8 * I_{\text{пр.с}} = 2,55 * I_{\text{пр.с}}$$

$$I_{\text{пр.с}} = \frac{i_{\text{пр.с}}}{2,55} = 40 \text{ кА}$$

$$I_{\text{по}} = 11,9 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.с}} = 40 \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд}} = 30,3 \text{ кА} \leq I_{\text{дін}} = 102 \text{ кА}$$

c) По термічній стійкості за формулою:

$$W_k = I_{\text{по}}^2 * (t_{\text{с.з}} + t_{\text{в.о}} + T_a) \leq I_T^2 * t_T$$

$$11,9^2 * (0,01 + 0,03 + 0,02) = 8,5 \leq 40^2 * 3 = 4800 \text{ кА}^2 * \text{с}$$

Вибраний вимикач типу ВГТ-110-40/2500-УХЛ1 проходить за всіма параметрами, приймаємо його до установки.[8]

3.1.2 Вибір вимикачів на стороні ПН

$$I_{\text{р.норм}} = \frac{P_{\text{зов.мах}}}{n * \sqrt{3} * U_{\text{н}}} = \frac{2500}{2 * \sqrt{3} * 10} = 721,7 \text{ А}$$

$$I_{p.авар} = \frac{P_{зов.мах}}{\sqrt{3} * U_{н.}} = \frac{2500}{\sqrt{3} * 10} = 1443,4 \text{ А}$$

Виберемо вимикач типу ВГТ-110-40/2500-УХЛ1 з номінальними (робочими) параметрами:

- номінальний робочий струм $I_{НОМ} = 2 \text{ кА}$;
- номінальний струм відключення $I_T = 40 \text{ кА}$;
- амплітудне значення граничного наскрізного струму (максимальний пік)
 - $I_{дін} = 102 \text{ кА}$;
- власний час відключення $t_{в.о} = 0,07 \text{ с}$;
- струм термічної стійкості $I_T = 40 \text{ кА}$;
- час протікання струму термічної стійкості $t_T = 3 \text{ с}$ [8]

Перевірку вибраних вимикачів здійснюємо:

а. За здатністю вимикати:

- по можливості відключення періодичної складової струму короткого замикання:

$$I_{nt} = I_{no} = 12,64 \text{ кА} \leq I_{НОМ.відк} = 40 \text{ кА}$$

- за здатністю відключення аперіодичної складової струму короткого замикання за такою формулою:

$$I_{at} = i_{a0} * e^{-\left(\frac{t_{с.з} + t_{в.о}}{T_a}\right)} \leq \sqrt{2} * \beta_{НОМ} * I_{НОМ.відк}$$

Де $t_{с.з} = 0,01 \text{ с}$ – мінімальний час спрацьовування захисту;

$t_{в.о} = 0,07 \text{ с}$ - час відключення вимикача;

$T_a = 0,07 \text{ с}$ – постійна часу на шинах ВН підстанції;

$\beta_{НОМ}$ - вміст аперіодичної складової, %.

$$I_{at} = 17,87 * e^{-\left(\frac{0,01+0,07}{0,07}\right)} = 7,51 \leq \sqrt{2} * 0,35 * 40 = 19,8 \text{ кА},$$

- по здатність відключення повного струму короткого замикання:

$$\sqrt{2} * I_{пт} + i_{at} \leq \sqrt{2} * I_{НОМ.откл} * (1 + \beta_{НОМ})$$

$$\sqrt{2} * 11,9 + 12,4 = 29,2 \text{ кА} \leq \sqrt{2} * 40 * (1 + 0,4) = 79,2 \text{ кА}$$

в. По електродинамічній стійкості:

$$I_{\text{По}} \leq I_{\text{пр.с}}$$

$$i_{\text{уд}} \leq I_{\text{пр.с}}(I_{\text{дін}}),$$

де $I_{\text{пр.с}}$ - Чинне значення граничного наскрізного струму короткого замикання;

$I_{\text{пр.с}}(I_{\text{дін}})$ - амплітудне значення граничного наскрізного струму короткого замикання (найбільший пік)

$$i_{\text{пр.с}} = \sqrt{2} * 1,6 * I_{\text{пр.с}} = 2,26 * I_{\text{пр.с}}$$

$$I_{\text{пр.с}} = \frac{i_{\text{пр.с}}}{2,26} = 45 \text{ кА}$$

$$I_{\text{По}} = 12,64 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.с}} = 45 \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд}} = 30,3 \text{ кА} \leq I_{\text{дін}} = 102 \text{ кА}$$

с. По термічній стійкості за формулою:

$$W_{\text{к}} = I_{\text{по}}^2 * (t_{\text{с.з}} + t_{\text{в.о}} + T_{\text{а}}) \leq I_{\text{T}}^2 * t_{\text{T}}$$

$$12,64^2 * (0,01 + 0,07 + 0,07) = 24 \leq 40^2 * 3 = 4800 \text{ кА}^2 * \text{с}$$

Вибраний вимикач типу LF2-10-40/2000 проходить за всіма параметрами, приймаємо його до встановлення.[9]

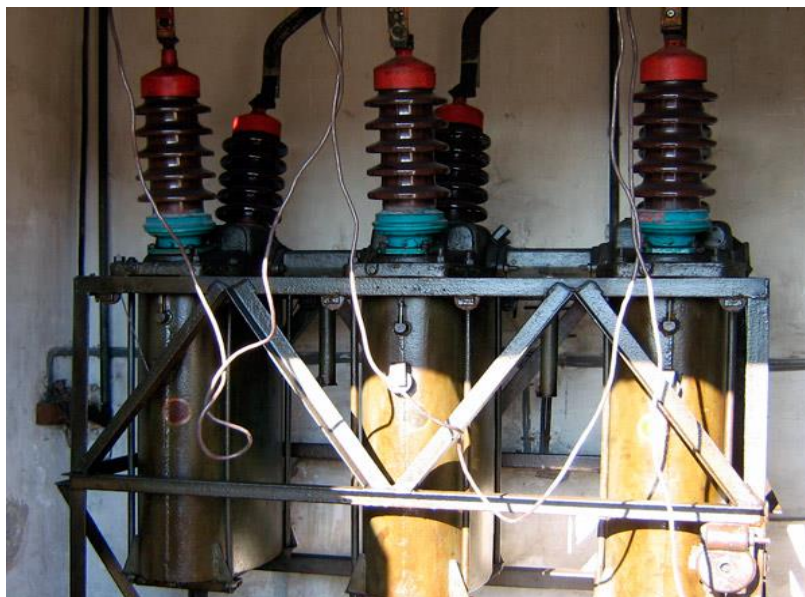


Рис.11 -Вимикачі масляні бакові

3.2. Вибір роз'єднувачів на підстанції

3.2.1 Вибір роз'єднувачів за ВН

Максимальний робочий струм:

$$I_{\text{макс.роб}} = \frac{25000}{\sqrt{3} * 110} = 131,2 \text{ А}$$

Виберемо роз'єднувач типу РГНП-110/1000-УХЛ1 з номінальними

(Робочими) параметрами:

- номінальний робочий струм $I_{\text{ном}} = 1 \text{ кА}$;
- амплітудне значення наскрізного граничного струму $I_{\text{дін}} = 80 \text{ кА}$;
- струм термічної стійкості $I_{\text{T}} = 31,5 \text{ кА}$;
- час термічної стійкості $t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$ [9].

Перевірка роз'єднувачів здійснюється:

- за здатністю витримувати ударний струм КЗ (електродинамічний):

$$i_{\text{уд}} = 39,3 \text{ кА} \leq i_{\text{дін}} = 80 \text{ кА}$$

- за термічною стійкістю за формулою:

$$V_{\text{к}} = 11,9^2 * (0,01 + 0,03 + 0,02) = 8,5 \leq 31,5^2 * 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 * \text{с}$$

Вибраний нами роз'єднувач типу РГНП-110/1000-УХЛ1 проходить за всіма параметрами, приймаємо його до встановлення.



Рис.12 - Роз'єднувач типу РГНП-110/1000-УХЛ1

3.2.2 Вибір роз'єднувачів на стороні ПН

Максимальний робочий струм:

$$I_{\text{макс.роб}} = \frac{25000}{\sqrt{3} * 10} = 1443,4 \text{ А}$$

Виберемо роз'єднувач типу РКВ-10/2000-УХЛ1 з номінальними (Робочими) параметрами:

- номінальний робочий струм $I_{\text{НОМ}} = 2 \text{ кА}$;
- амплітудне значення наскрізного граничного струму $I_{\text{дін}} = 80 \text{ кА}$;
- струм термічної стійкості $I_{\text{Т}} = 31,5 \text{ кА}$;
- час термічної стійкості $t_{\text{Т}} = 3 \text{ с}$ [10].

Перевірку обраних роз'єднувачів здійснюємо:

- за здатністю витримувати ударний струм КЗ (електродинамічний):

$$i_{\text{уд}} = 29,5 \text{ кА} \leq i_{\text{дін}} = 80 \text{ кА}$$

- за термічною стійкістю за формулою:

$$B_{\text{к}} = 12,64^2 * (0,01 + 0,07 + 0,07) = 24 \leq 31,5^2 * 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 * \text{с}$$

Вибраний нами роз'єднувач типу РКВ-10/2000-УХЛ2 проходить за всіма параметрами, приймаємо його до встановлення.[10]

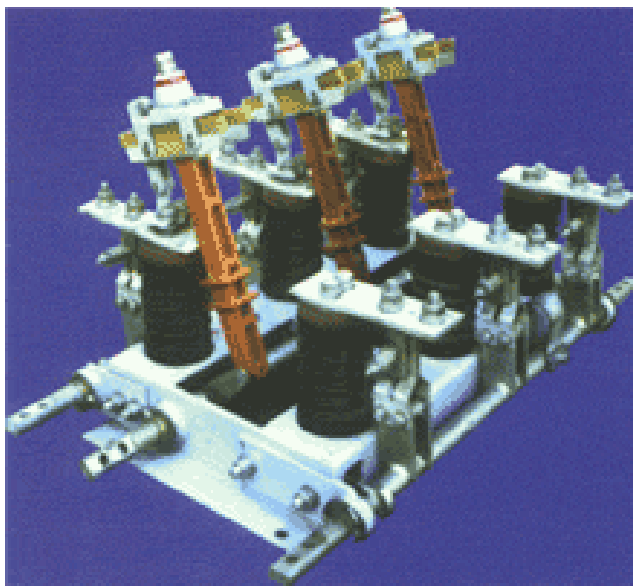


Рис. 13 -Роз'єднувач типу РКВ-10/2000-УХЛ2

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час українсько-російської війни одним із найсерйозніших наслідків для української економіки стали масовані атаки на енергетичну систему з боку російських військ. Тому важливим і актуальним є дослідження стану цього сектору після злочинних атак російських терористів та заходів, які вживає український уряд для подолання наслідків завданої шкоди. Російська атака на українську енергосистему призвела до значного скорочення використання електроенергії - щонайменше на 50%. Ворожі сили окупували певну кількість енергогенеруючих підприємств, а значна частина енергогенеруючих потужностей була повністю зруйнована.

Тому основна задача, яка стоїть перед енергетиками це відновлення, будівництво нових електроенергетичних систем з урахуванням сучасних вимог сучасності.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасного стану енергосистеми України.

Для створення закритої трансформаторної підстанції розраховані основні характеристики ліній живлення і обраний тип лінії живлення ЛЕП, та складений генплан ЗТП і однолінійна схема електропостачання.

Проведено розрахунок та вибір апаратів захисту закритої трансформаторної підстанції 110/(10-10) кВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атаки Росії на енергетичний сектор України знову загострилися.
<https://www.iea.org/commentaries/russias-attacks-on-ukraines-energy-sector-have-escalated-again-as-winter-sets-in>
2. Енергетична інфраструктура в Україні: чи допоможе їй зелена енергетика <https://finance.ua/goodtoknow/energytyczna-infrastruktura-v-ukraini>
3. Електроенергетика України: стан і перспективи.
<https://blog.youcontrol.market/ieliektroienierghietika-ukrayini-stan-i-pierspiektivi/>
4. МІНЕНЕРГО Офіційний канал Міністерства енергетики України
<https://t.me/energyofukraine>
5. Таблиця допустимих струмів та навантажень для кабелів та проводів. Мідний кабель та провід (ПУЕ - Таблиця 1.3.6.)
<https://fenixtm.com.ua/ru/blog/tablicya-dopustimih-strumiv-i-navantazhen-dlya-kabeliv-i-provodiv-19/>
6. Типові вимоги до обладнання та матеріалів при будівництві, реконструкції та ремонті енергооб'єктів структурних підрозділів КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО». ТЕХНІЧНА ПОЛІТИКА. Електротехнічне обладнання <https://kte.kmda.gov.ua/wp-content/uploads/2021/09/Elektrotehniczna-polityka-KP-KTE.pdf?x31397>
7. <https://energy.volyn.ua/spozhyvacham/pzree/dlia-spozhyvachiv/!files/%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B0-%D0%BD/%D0%94%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BA%207-%D0%9E%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%BD%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0%20%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf>

8. «ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ» (частина 1)
(для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 –
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)
<https://core.ac.uk/download/pdf/154806434.pdf>
9. http://www.rzva.ua/modules/pages/files/01_%D0%A0%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%82.pdf
10. <https://ukrelektro.com.ua/ua/p785940131-razedinitel-rvrz-102000.html>