

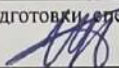
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій та систем

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**


на тему:

**«Електрична частина конденсаційної електростанції потужністю  
1920 МВт з дослідженням особливостей комутаційного обладнання»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ЕС-22м  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
освітня програма «Електричні станції»  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

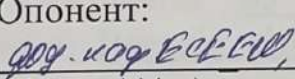
  
Щербацький С.Б.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС


  
Нетребський В.В.  
(прізвище та ініціали)

« 05 » 12 2023 р.

Опонент:

  
(прізвище та ініціали)

« 14 » грудня 2023 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., проф. Комар В. О. 

(прізвище та ініціали)

« 04 » грудня 2023 р.

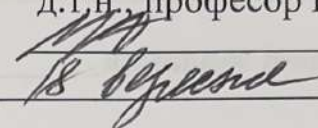
Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет  
 Факультет електроенергетики та електромеханіки  
 Кафедра електричних станцій та систем  
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
 Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»  
 Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
 Освітньо-професійна програма – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**  
Щербацькому Сергію Борисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Електрична частина конденсаційної електростанції  
потужністю 1920 МВт з дослідженням особливостей комутаційного обладнання  
 керівник роботи к.т.н., доцент. каф. ЕСС Нетребський В. В.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247


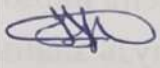


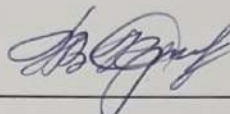
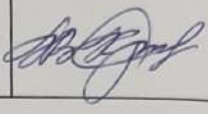
2. Строк подання студентом роботи 05 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою  
роботи. Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення  
обчислювальних експериментів. Станція типу КЕС потужністю 1920 МВт.  
Відстань до енергосистеми 490 км; паливо – вугілля; максимальна потужність,  
що віддається в систему 1300 МВт; номінальна потужність системи 14200  
МВА; номінальний опір системи 0,26 в.о.; номінальна напруга системи 330  
кВ; максимальна потужність, що віддається в місцевий район 250 МВт;  
номінальна напруга району 110 кВ.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Техніко-економічне обґрунтування  
проекування КЕС. 2. Електротехнічна частина. 3. Порівняння характеристик  
вимикачів. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Техніко-  
економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Графічна: 1. Головна схема електричних з'єднань. 2. План ВРУ-330кВ.  
3. Силлові вимикачі. 4. Порівняння типів вимикачів.

6. Консультанти розділів роботи

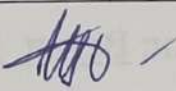
| Розділ  | Прізвище, ініціали та посада консультанта                           | Підпис, дата  |   |
|---|---|---|---|
|   |   | завдання видав  | виконання прийняв   |
| Спеціальна частина                                | Керівник роботи<br>Нетребський В. В.<br>к.т.н., доц.<br>кафедри ЕСС |  |  |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Кобиліанський О. В.<br>д.пед.н., проф.,<br>зав. каф. БЖДПБ          |  |  |
| Економічна частина                                | Остра Н. В., к.т.н.,<br>доц., доцент<br>кафедри ЕСС                 |  |  |

7. Дата видачі завдання 18 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

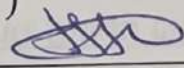
| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи     | Строк виконання етапів роботи |          | Примітка  |
|-------|---|-------------------------------|----------|---|
|       |   | початок                       | кінець   |   |
| 1     | Розроблення технічного завдання                       | 19.09.23                      | 26.09.23 | формування технічного завдання                                    |
| 2     | Техніко-економічне обґрунтування проектування КЕС     | 27.09.23                      | 2.10.23  | аналітичний огляд літературних джерел задачі досліджень, розділ 1 |
| 3     | Електротехнічна частина                               | 3.10.23                       | 2.11.23  | розділ 2  |
| 4     | Порівняння типів вимикачів                            | 3.11.23                       | 10.11.23 | розділ 3  |
| 5     | Економічна частина                                    | 11.11.23                      | 16.11.23 | розділ 4  |
| 6     | Охорона праці та безпека в НС                         | 17.11.23                      | 24.11.23 | розділ 5  |
| 7     | Оформлення пояснювальної записки                      | 25.11.23                      | 2.12.23  | пояснювальна записка  |
| 8     | Виконання графічної частини та оформлення презентації | 3.12.23                       | 5.12.23  | плакати, презентація  |

Студент

  
( підпис )

Щербацький

Керівник роботи

  
( підпис )

Нетребський

## АНОТАЦІЯ

Щербацький Сергій Борисович «Електрична частина конденсаційної електростанції потужністю 1920 МВт з дослідженням особливостей комутаційного обладнання». Магістерська робота. – Вінниця: ВНТУ. 2023 – 100 с./ На укр. мові. рис.12, табл.35, бібліогр.18.

В роботі проведено проектування конденсаційної електростанції потужністю 1920 МВт. Проведено аналіз вимикачів різних типів. Також, визначено небезпечні та шкідливі чинники, які впливають на персонал, обслуговуючий обладнання електростанції.

## ANNOTATION

Shcherbackiy Sergiy « The electrical part of the condensing power plant with a capacity of 1920 MW with a study of the features of the switching equipment ». Master thesis./ Vinnytsia: VNTU, 2023- 100 p. fig. 12, table 35, bibl. 18

The design of a condensing power plant with a capacity of 1920 MW was carried out in the work. The analysis of switches of various types was carried out. Also, dangerous and harmful factors affecting the personnel servicing the power plant equipment have been identified.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ.....  | 8  |
| ВСТУП.....  | 9  |
| РОЗДІЛ 1 .....  | 12 |
| ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ КЕС.....  | 12 |
| РОЗДІЛ 2 .....  | 15 |
| ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА .....   | 15 |
| 2.1 Розрахунок графіків електричних навантажень.....  | 15 |
| 2.2 Вибір силового обладнання.....  | 20 |
| 2.3 Вибір структурної схеми станції .....   | 21 |
| 2.4 Вибір схем ВРУ 330 та 110 кВ .....  | 24 |
| 2.5 Вибір схеми власних потреб .....  | 31 |
| 2.6 Розрахунок струмів короткого замикання.....   | 32 |
| 2.7 Визначення максимальних струмів приєднань та імпульсів квадратичного струму .....   | 47 |
| 2.8 Вибір комутаційного обладнання.....   | 51 |
| 2.9 Вибір струмоведучих частин .....  | 54 |
| Вибір збірних шин 330 кВ.....   | 54 |
| Вибір збірних шин 110 кВ .....  | 56 |
| Вибір комплектних екранованих струмопроводів.....   | 58 |
| Коло генератора 800 МВт.....  | 58 |
| 2.10 Вибір вимірювальних трансформаторів .....  | 60 |
| 2.11 Вибір розрядників та високочастотних загороджувачів.....   | 62 |
| 2.12 Вибір акумуляторних батарей.....   | 63 |
| 2.13 Розрахунок блискавкозахисту ВРУ-330 кВ.....  | 66 |
| 2.14 Розрахунок заземлювального пристрою ВРУ-330 кВ.....  | 69 |
| РОЗДІЛ 3 .....  | 72 |
| ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕГАЗОВИХ, ОЛИВНИХ І ПОВІТРЯНИХ ВИМИКАЧІВ.....  | 72 |
| РОЗДІЛ 4 .....  | 77 |
| ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....   | 77 |
| РОЗДІЛ 5 .....  | 86 |
| ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....   | 86 |
| 5.1 Задачі розділу.....   | 86 |
| 5.2 Аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем, та обслуговуванням електрообладнання на ВРУ .....                | 87 |
| 5.3 Організаційні та технічні заходи, якими досягається безпека виконання робіт з трансформатором в діючих електроустановках..... | 88 |
| 5.4 Технічне рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....  | 90 |
| 5.4.1 Мікроклімат .....   | 90 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.4.2 | Склад повітря робочої зони.....                | 90  |
| 5.4.3 | Виробниче освітлення. Природне освітлення..... | 91  |
| 5.4.4 | Штучне освітлення .....                        | 91  |
| 5.4.5 | Виробничий шум .....                           | 92  |
| 5.4.6 | Виробнича вібрація .....                       | 92  |
| 10.5  | Розрахунок захисного заземлення .....          | 93  |
| 5.6   | Пожежна безпека.....                           | 99  |
|       | ВИСНОВКИ.....                                  | 100 |
|       | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....               | 102 |
|       | Додаток А.....                                 | 105 |
|       | ПРОТОКОЛ.....                                  | 105 |
|       | Додаток В .....                                | 110 |

## ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ

- АБ – акумуляторна батарея;  
АТ – автотрансформатор;  
БТ – блочний трансформатор;  
ВДЕ – відновлюване джерело енергії;  
ВРУ – відкрита розподільна установка;  
ВП – власні потреби;  
ГРУ - генераторна розподільна установка;  
ЕЕС – електроенергетична система;  
ЕРС – електрорушійна сила;  
ЕС – електрична станція;  
ЗП – заземлювальний пристрій;  
КЗ – коротке замикання;  
КЕС – конденсаційна електрична станція;  
ЛЕП – лінія електропередачі;  
ММЕМ – магістральні і міждержавні електричні мережі;  
ОЕС – об'єднана електроенергетична система;  
ПС – підстанція;  
ПТЕ – правила технічної експлуатації;  
ПУЕ – правила улаштування електроустановок;  
РУ – розподільна установка  
ТВП – трансформатор власних потреб;  
ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;  
ТЕС – теплова електрична станція;  
ТЕЦ – теплоелектроцентраль;  
ТН – трансформатор напруги;  
ТС – трансформатор струму.



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним з основних генерувальних джерел електричної енергії в Україні є ТЕС. Їх частка складає 30,9 млн. кВт із загальної встановленої потужності електричних станцій держави 50,9 млн. кВт. Вони виробляють біля 47% від усієї електричної енергії [1].

Теперішній стан ТЕС розглядається виключно, як критичний: військові дії агресора росії призвели значних руйнувань, окрім цього близько до 63 % енергоблоків знаходиться за межею фізичного зносу, а 27,8 % - наближаються до межі носу.

Накопичування застарілого енергообладнання призводить до збільшення витрат на ремонт. Для усунення таких негативних явищ в енергетиці та щоб забезпечити її розвиток, необхідно орієнтуватися на модернізацію обладнання з використанням сучасних технологій. Такий підхід дозволить підвищити ефективність спалювання наявного вугілля на 15 %, а економію газу – до 1.8 млн. м<sup>3</sup> в рік. [2]

Наразі стратегічно вірно є застосування комбінованого підходу. Поряд із ремонтами обов'язково необхідно виконувати повне переозброєння, що засновується на сучасних технологіях.

При модернізації ТЕС мають бути вирішені наступні задачі:

- збільшення діапазону регулювання потужності енергоблоків;
- зменшення питомих витрат палива;
- покращення екологічних характеристик станції.

Існуюче обладнання КЕС орієнтовано на базовий режим роботи із певними обмеженнями у регулюванні навантаження в добовому та тижневому проміжках.

При обиранні районів розташування КЕС на органічному паливі головним чинником має бути порівняння економічності у транспортуванні палива та передачі електроенергії. У межах обраного району місце будівництва визначається наявністю кращого майданчика (для потужних КЕС – біля 200÷400 гектарів), транспортних розв'язок, вигідними умовами технічного водопостачання та забезпеченням санітарними нормами, що обмежують забруднення повітряного басейну близько

населених пунктів та також зміну температури у водосховищах.

Теплова енергетика займає друге місце в енергетичній структурі України. Однак, більшість теплових станцій були спроектовані та побудовані 50-60 років тому, що робить їх застарілими. Велика частина обладнання ТЕС вже вичерпала свій нормативний термін служби, і темпи зносу обладнання прискорюються. [3]

Світова тенденція розвитку електротехнічного устаткування така, що раніше поширені оливні і малооливні вимикачі на напругу 6-10 кВ повсюдно замінюються на вакуумні вимикачі. Співвідношення між різними типами вимикачів, що продаються в світі на середню напругу, складає у відсотках: малооливні – 6-10 , елегазові – 20-25, вакуумні – 65-70.

В Україні на даний момент прослідковується аналогічна тенденція. Кількість вакуумних вимикачів у нашій країні складає близько 40% від інших типів. Вакуумні комутаційні апарати мають найбільшу динаміку розвитку і є найбільш перспективними в розподільчих установках середньої номінальної напруги. [2]

Однією з найхарактерніших рис сучасного етапу розвитку енергетики України є реалізація концепції по енергозбереженню та впровадженню у виробництво нових сучасних типів електричного обладнання та апаратів. Збільшення потужностей на атомних електричних станціях та модернізація обладнання на теплових та гідравлічних електричних станціях потребує більшої кількості електричних апаратів, які задовольняли б новим вимогам по енергоємності, надійності та ресурсу.

Електричні апарати, зокрема вимикачі, є тими електротехнічними пристроями, головною ключовою ланкою, які відіграють суттєву роль в реалізації енергозберігаючих технологій і визначають ефективність роботи енергетики в цілому на всіх етапах виробництва, розподілу та споживання електричної енергії [1]

**Отже**, аналіз засобів комутації електроенергії, їх оптимізація і проектування являють собою **актуальну науково-прикладну задачу**.

**Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської роботи є проектування електростанцію типу КЕС із потужністю 1920 МВт та аналіз сучасного комутаційного обладнання.

Згідно до наведеної мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

- техніко-економічне обґрунтування проекту КЕС, що включає аналіз вартості, ефективності та потенційних ризиків;;
- розробка головної схеми електричних з'єднань КЕС, включаючи вивчення оптимальних варіантів розміщення обладнання та мінімізацію втрат енергії;
- вибір комутаційної апаратури, струмоведучих частин, вимірювальних трансформаторів струму та напруги, а також акумуляторної батареї, з огляду на надійність та довговічність;
- аналіз особливостей сучасного комутаційного обладнання;
- розрахунок ключових техніко-економічних показників КЕС для оцінки її продуктивності та економічної вигідності;
- розроблення комплексу організаційно-технічних рішень з охорони праці.

**Об'єктом дослідження** магістерської кваліфікаційної роботи є електрична частина конденсаційної станції.

**Предметом дослідження** є методи та засоби проектування електричних станцій і режими роботи комутаційного обладнання.

**Методи дослідження.** Для аналізу та розв'язання поставлених вище задач використано практичні методи математичного моделювання. Під час проектування головної схеми електричних з'єднань станції типу КЕС використано елементи теорії надійності.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у проектуванні електричної частини станції типу КЕС, та у підтвердженні перспективного використання вакуумного, а також елегазового комутаційного обладнання в електроенергетичній системі України.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати, які складають основний зміст представленої магістерської кваліфікаційної роботи, отримані автором самостійно.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ КЕС

Електроенергетика України – високовиробничий комплекс виробництва і перетворення електроенергії. У наш час енергетика України переживає період великих структурних перетворень, докорінної зміни умов та розвитку. [1]

Вагомими проблемами енергетики України є те, що більш ніж 50 % потужності, що генерується є на теплоелектростанціях (ТЕС). Де наразі зношення обладнання складає 43%, а на деяких ТЕС до 95%, дефіцит органічного палива для генерації тепла і електроенергії, значне зменшення виділення коштів і ресурсів на реконструкцію ТЕС та основне – руйнація внаслідок військової агресії росії.

Стан в енергетиці України в даний час критичний. Через дефіцит потужності частота в системі падає, а це призводить до позапланового, автоматичного відключення споживачів і загрожує розвалом енергосистеми. Виходом з цього положення є реконструкція існуючих та будівництво нових електростанцій.

Встановлена потужність електричних станцій України складала 52,2 млн. кВт, з яких частка ТЕС – 33,6 млн. кВт або 64%. [2]

Об'єм власного здобування пари і газу забезпечує потреби лише на 12 та 20%. Альтернативою для вироблення електроенергії в Україні може стати гідроенергетика, однак наразі обладнання ГЕС морально застаріло та потребує реконструкції. [3]

Добовий та сезонний режим ТЕЦ визначаються згідно зі споживанням тепла. Така електростанція працює найбільш економічно, якщо її електропотужність відповідає відпуску тепла. Максимальне вироблення електроенергії на ТЕЦ можливе лише при спільній роботі з потужними КЕС та ГЕС, які приймають на себе частину навантаження в години зниження споживання тепла.

Теплові електростанції, що використовують органічні види палива, викидають в атмосферу окиси сірки і азоту, а також вуглекислий газ, який накопичується у верхніх шарах атмосфери. Тому питання зниження екологічного впливу на

навколишнє середовище має велике значення як в масштабах країни, так і усього світу.

Перевага у будівництві КЕС полягає у відносно низьких питомих капіталовкладеннях в них і порівняно коротких термінах будівництва порівняно з іншими типами електростанцій.

Відмінною особливістю будівництва КЕС є те, що вони розміщуються на землях, непридатних для сільськогосподарських робіт, і, як правило, на віддалі від населених пунктів.

Збільшення потужності КЕС досягається за рахунок встановлення на них великої кількості однотипних блоків, що призводить до відносно невеликого зниження питомих капітальних затрат. Економія вартості будівництва в даному випадку обумовлена головним чином зниженням питомих затрат на допоміжні споруди, під'їзні шляхи, водопостачання, адміністративно-побутові споруди. [3]

КЕС забезпечують найбільш повне використання встановленого на них обладнання, а річне використання встановленої потужності цих ЕС досягає 6-7 тисяч годин.

Енергетика є виключно важливою, базовою галуззю економіки. Загальною енергетичною проблемою є необхідність у значному підвищенні ефективності використання енергоресурсів та збільшенні енергозбереження.

Згідно проекту енергетичної стратегії України значного розвитку повинні отримати паливні бази держави. Планується збільшення видобутку до 130 млн. тон у 2030 році, а нафти до 14,6 млн. тон, зокрема 9,2 млн. тон заплановано видобути за межами України. Загальний обсяг видобутку природного газу повинен зрости до 40,1 млрд. м<sup>3</sup> у 2030р., причому 11,6 млрд. м<sup>3</sup> планується видобути з іноземних родовищ. [2] Розроблена нова структура електроенергетичної системи (ЕЕС) України. Її принциповою особливістю є те, що в ній до мінімуму зведено використання природного газу на ТЕС (тільки на розпалювання та на високо економічних ТЕЦ). Головне навантаження в ЕЕС несуть АЕС, а також вугільні ТЕС. При загальному виробництві електричної енергії у 2030р. (у базовому сценарію) обсягом 420,1 млрд. кВт. год. У тому числі АЕС вироблятимуть 219 млрд.

кВт. годин. (52%), а ТЕС – 180,4 млрд. кВт. годин. (43%). Встановлена потужність АЕС зросте до 29,5 млн. кВт. (тобто, більше ніж у двічі) та ТЕС – до 47,3 млн. кВт (зростання на 40%). Загальна встановлена потужність електричних станцій України зросте від нинішніх 52,7 до 88,5 млн. кВт у 2030р. [2]

Відповідно песимістичного сценарію, із врахуванням сьогоденної ситуації, встановлена потужність АЕС на рівні 2030р. складе 20,0 млн. кВт, а виробництво електроенергії на них – 150,8 млрд. кВт. годин. По завершенню періоду, що розглядається, ЕЕС України повинна перетворитися із системи з застарілим устаткуванням, що не в змозі задовольнити європейським вимогам щодо економічної ефективності, якості електроенергії, регульованості та економічності, у високотехнологічну систему, яка працює паралельно з енергосистемами Євросоюзу та забезпечує значні обсяги експорту електричної енергії (25 – 30 млрд. кВт. годин) з виконанням європейських норм щодо захисту довкілля. [3]

У контексті цих викликів особливо важливим є аналіз, проведений під час розробки "Енергетичної стратегії України на період до 2030 року". Прогнози передбачають зростання світових цін на нафту та природний газ, в той час як ціни на вугілля та ядерне паливо залишатимуться відносно стабільними. Така тенденція збільшує конкурентоспроможність гідравлічних, атомних та теплових електростанцій, що працюють на вугіллі. Україна має намір надавати перевагу використанню власного урану та вугілля для виробництва електроенергії, що забезпечить стабільність паливної складової та підвищить рівень енергетичної безпеки країни.

Враховуючи ці умови, будівництво конденсаційних електростанцій (КЕС) з потужністю 19220 МВт стане важливим кроком. Це не тільки допоможе мінімізувати негативні явища в енергетиці, але й забезпечить розвиток енергетичної галузі відповідно до запланованих стратегічних цілей до 2030 року. Впровадження сучасних технологій та підвищення ефективності енергогенерації буде сприяти забезпеченню стабільного та надійного енергопостачання, що є ключовим для економічного росту та енергетичної незалежності України.

## РОЗДІЛ 2

## ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

## 2.1 Розрахунок графіків електричних навантажень

Режим роботи електричних станцій задається графіками електричних навантажень району, що обслуговується. Їх потужність повинна забезпечувати виконання графіків навантажень з урахуванням втрат в елементах електропередачі, а також витрати на власні потреби станції.

При розрахунку графіків навантажень відносну величину постійних та змінних втрат можна прийняти:

- в мережах району  $\Delta P'_{1*} = 0,01$ ;  $\Delta P'_{2*} = 0,06$ ;
- в мережах системи  $\Delta P''_{1*} = 0,02$ ;  $\Delta P''_{2*} = 0,14$ .

Постійні втрати для району та системи визначаються за формулами

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{1p} &= \Delta P'_{1*} \cdot \Delta P_{p.\max} \\ \Delta P_{1c} &= \Delta P'_{1*} \cdot \Delta P_{c.\max} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

$$\Delta P_{1p} = 0,01 \cdot 250 = 2,5 \text{ МВТ}$$

$$\Delta P_{1c} = 0,02 \cdot 1300 = 26 \text{ МВТ}$$

Змінні втрати в будь-який час доби:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{2pt} &= \Delta P'_{2*} \cdot \frac{\Delta P_{pt^2}}{\Delta P_{p.\max}}; \\ \Delta P_{2ct} &= \Delta P'_{2*} \cdot \frac{\Delta P_{ct^2}}{\Delta P_{c.\max}}; \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

$$\Delta P_{2pt} = 0,06 \cdot \frac{162,5^2}{250} = 7,35 \text{ МВТ};$$

$$\Delta P_{2ct} = 0,14 \cdot \frac{1040^2}{1300} = 116,48 \text{ МВТ.}$$

Потужність, яка видається до шин РУ різни напруг:

$$\left. \begin{aligned} P_{p.вид.1} &= P_{p1} + \Delta P_{1p} + \Delta P_{2pt}; \\ P_{c.вид.1} &= P_{c1} + \Delta P_{1c} + \Delta P_{2ct1}; \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

$$P_{p.вид.1} = 175 + 2,5 + 7,35 = 184,85 \text{ МВт};$$

$$P_{c.вид.1} = 1040 + 26 + 116,48 = 1182,48 \text{ МВт}.$$

Сумарна потужність, що видається з шин станції:

$$P_{.вид.t} = P_{p.вид.t} + P_{c.вид.t}; \quad (2.4)$$

$$P_{вид.1} = 184,85 + 1182,48 = 1367,33 \text{ МВт}.$$

Витрати потужності на власні потреби станції:

$$P_{ВП1} = \left( 0,4 + 0,6 \cdot \frac{P_{видt}}{P_{вст}} \right) \cdot \frac{P_{ВП'}}{100} \cdot P_{вид.маx}; \quad (2.5)$$

$$P_{ВП1} = \left( 0,4 + 0,6 \cdot \frac{1367,33}{1920} \right) \cdot \frac{6}{100} \cdot 1775,5 = 88,13 \text{ МВт}.$$

Потужність, яка видається генераторами станції:

$$P_{вирt} = P_{видt} + P_{ВПt}; \quad (2.6)$$

$$P_{вирt} = 1367,33 + 88,13 = 1455,46 \text{ МВт}.$$

За наведеним алгоритмом розраховуються графіки електричних навантажень для зимової та літньої доби та річний графік за тривалістю навантаження. (таблиці 2.1 та 2.2). Далі будемо добові графіки навантаження для зими та літа



( $P_{р.вид.t}$ ,  $P_{с.вид.t}$ ,  $P_{р.вир.t}$ ) і річний графік за тривалістю  $P_{р.вир.p}$  (рисунок 2.1).

Таблиця 2.1 – Дані для побудови графіків електричних навантажень

| Дані для побудови графіків електричних навантажень         | Час доби | 0-6     | 6-8     | 8-12    | 12-14   | 14-16   | 16-18   | 18-20   | 20-24   |
|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Навантаження місцевого району,%                            | Зима     | 70      | 75      | 95      | 70      | 100     | 80      | 75      | 70      |
|  | Літо     | 65      | 70      | 90      | 65      | 95      | 75      | 70      | 65      |
| Навантаження місцевого району,МВт                          | Зима     | 175     | 187,5   | 237,5   | 175     | 250     | 200     | 187,5   | 175     |
|  | Літо     | 162,5   | 175     | 225     | 162,5   | 237,5   | 187,5   | 175     | 162,5   |
| Постійні втрати потужності в мережах місцевого району, МВт | Зима     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     |
|  | Літо     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5     |
| Змінні втрати потужності в мережах місцевого району, МВт   | Зима     | 7,35    | 8,44    | 13,54   | 7,35    | 15,00   | 9,60    | 8,44    | 7,35    |
|  | Літо     | 6,34    | 7,35    | 12,15   | 6,34    | 13,54   | 8,44    | 7,35    | 6,34    |
| Потужність, що віддається в місцевий район, МВт            | Зима     | 184,85  | 198,44  | 253,54  | 184,85  | 267,50  | 212,10  | 198,44  | 184,85  |
|  | Літо     | 171,34  | 184,85  | 239,65  | 171,34  | 253,54  | 198,44  | 184,85  | 171,34  |
| Потужність, що віддається в систему, %                     | Зима     | 80      | 85      | 100     | 70      | 100     | 65      | 75      | 60      |
|  | Літо     | 75      | 80      | 95      | 65      | 95      | 60      | 70      | 55      |
| Потужність, що віддається в систему, МВт                   | Зима     | 1040    | 1105    | 1300    | 910     | 1300    | 845     | 975     | 780     |
|  | Літо     | 975     | 1040    | 1235    | 845     | 1235    | 780     | 910     | 715     |
| Постійні втрати потужності в мережах системи, МВт          | Зима     | 26      | 26      | 26      | 26      | 26      | 26      | 26      | 26      |
|  | Літо     | 26      | 26      | 26      | 26      | 26      | 26      | 26      | 26      |
| Змінні втрати потужності в мережах системи, МВт            | Зима     | 116,48  | 131,50  | 182,00  | 89,18   | 182,00  | 76,90   | 102,38  | 65,52   |
|  | Літо     | 102,38  | 116,48  | 164,26  | 76,90   | 164,26  | 65,52   | 89,18   | 55,06   |
| Потужність, що віддається в шини (РУ)                      | Зима     | 1182,48 | 1262,50 | 1508,00 | 1025,18 | 1508,00 | 947,90  | 1103,38 | 871,52  |
|  | Літо     | 1103,38 | 1182,48 | 1425,26 | 947,90  | 1425,26 | 871,52  | 1025,18 | 796,06  |
| Сумарна потужність, що віддається з шин станцій, МВт       | Зима     | 1367,33 | 1460,93 | 1761,54 | 1210,03 | 1775,50 | 1160,00 | 1301,81 | 1056,37 |
|  | Літо     | 1274,71 | 1367,33 | 1664,91 | 1119,23 | 1678,79 | 1069,96 | 1210,03 | 967,39  |
| Витрати на власні потреби, МВт                             | Зима     | 88,13   | 91,25   | 101,25  | 82,89   | 101,72  | 81,23   | 85,95   | 77,78   |
|  | Літо     | 85,05   | 88,13   | 98,04   | 79,87   | 98,50   | 78,23   | 82,89   | 74,82   |
| Потужність, що виробляється генераторами ЕС, МВт           | Зима     | 1455,46 | 1552,18 | 1862,79 | 1292,92 | 1877,22 | 1241,22 | 1387,76 | 1134,15 |
|  | Літо     | 1359,76 | 1455,46 | 1762,94 | 1199,10 | 1777,29 | 1148,19 | 1292,92 | 1042,21 |

Примітки: 1. Максимальне навантаження власних потреб:  $P'_{ВП} = 6\%$ .

2. Коефіцієнт попиту:  $K_{п} = 0,85$ .

3. Тривалість зимового та літнього періоду: 183/182 доби.

Таблиця 2.2 – Дані для побудови річного графіка за тривалістю навантаження

|                      |        |        |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| P, МВт               | 1877,2 | 1862,8 | 1777,29 | 1762,94 | 1552,18 | 1455,46 | 1455,46 | 1387,76 |
| t, год               | 366    | 732    | 364     | 728     | 366     | 364     | 1098    | 366     |
| t <sub>Σ</sub> , год | 366    | 1098   | 1462    | 2190    | 2556    | 2920    | 4018    | 4384    |

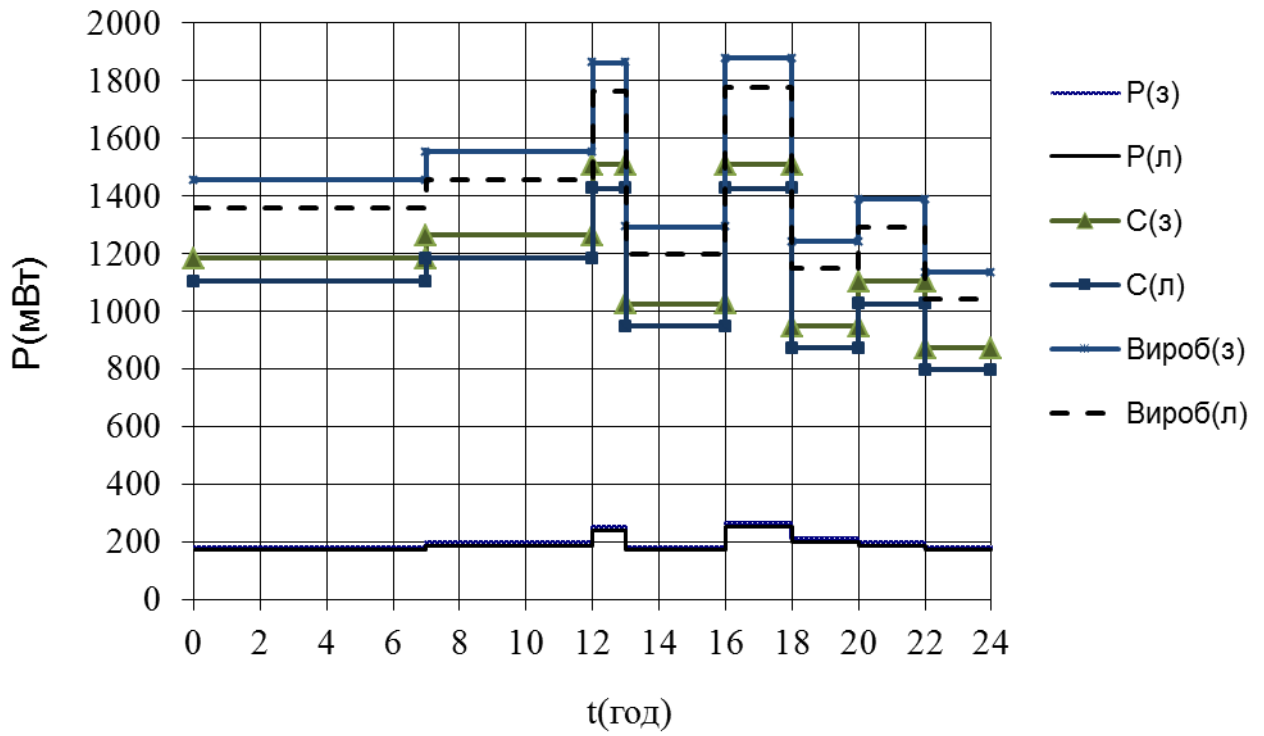
Продовження таблиці 2.2

|                      |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| P, МВт               | 1359,76 | 1292,92 | 1292,92 | 1241,22 | 1199,10 | 1148,19 | 1134,15 | 1042,21 |
| t, год               | 1092    | 366     | 364     | 366     | 364     | 364     | 732     | 728     |
| t <sub>Σ</sub> , год | 5476    | 5842    | 6206    | 6572    | 6936    | 7300    | 8032    | 8760    |

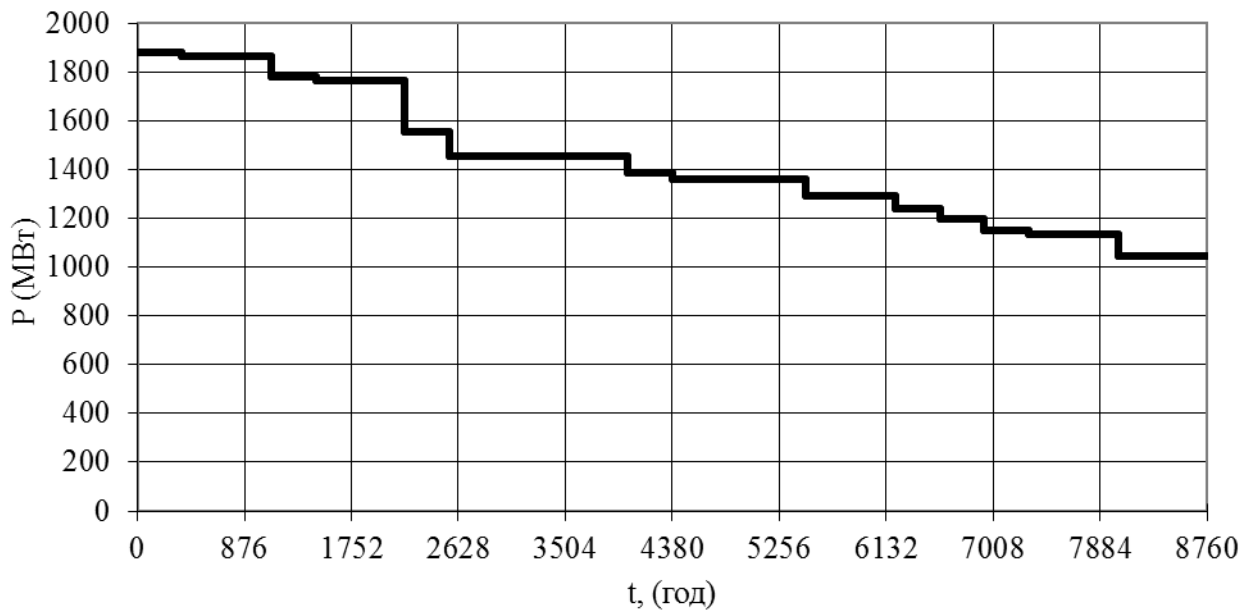
Використовуючи річний графік за тривалістю визначаємо основні техніко-економічні показники роботи станції (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Техніко-економічні показники роботи станції

| Показник  | Розрахункова формула   | Числове значення |
|---|--|------------------|
| Максимальне навантаження станції, МВт                     | $P_{\max}$   | 1877,22          |
| Річний виробіток електроенергії, МВт·год.                 | $E_p = \sum_{i=1}^m P_{\text{вир}t_i} \cdot t_i$                 | 12511195,52      |
| Встановлена потужність станції, МВт                       | $P_{\text{вст}}$   | 1920             |
| Середнє навантаження станції, МВт                         | $P_{\text{cp}} = \frac{E_p}{8760}$                               | 1428,22          |
| Коефіцієнт заповнення графіка                             | $k_z = \frac{P_{\text{cp}}}{P_{\max}}$                           | 0,76             |
| Коефіцієнт використання встановленої потужності           | $k_b = \frac{P_{\text{cp}}}{P_{\text{вст}}}$                     | 0,74             |
| Число годин використання максимального навантаження, год. | $T_{\max} = \frac{E_p}{P_{\max}}$                                | 6664,75          |
| Число годин використання встановленої потужності, год.    | $T_{\text{вст}} = \frac{E_p}{P_{\text{вст}}}$                    | 6516,25          |
| Коефіцієнт резерву  | $k_{\text{рез}} = \frac{P_{\text{вст}}}{P_{\max}}$               | 1,02             |
| Час максимальних втрат електроенергії, год.               | $\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760$ | 5473,7           |



а) добові графіки навантаження



б) річний графік за тривалістю навантаження

Рисунок 2.1 – Графіки електричних навантажень станції

## 2.2 Вибір силового обладнання

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики турбогенераторів

| Параметри                   | Турбогенератор |              |
|-----------------------------|----------------|--------------|
|                             | ТВВ-160-2ЕУЗ   | ТВВ-800-2ЕУЗ |
| $n_{\text{НОМ.}}$ , об/хв   | 3000           | 3000         |
| $S_{\text{НОМ.}}$ , МВА     | 188            | 888,9        |
| $P_{\text{НОМ.}}$ , МВт     | 160            | 800          |
| $U_{\text{НОМ.}}$ , кВ      | 18             | 24           |
| $\cos\varphi_{\text{НОМ.}}$ | 0,85           | 0,9          |
| $I_{\text{НОМ.}}$ , кА      | 5,67           | 21,4         |
| Схема з'єднання обмоток     | Y              | YY           |
| Система збудження           | ТН             | ТН           |
| $U_{\text{ф.НОМ.}}$ , В     | 370            | 612          |
| $I_{\text{ф.НОМ.}}$ , А     | 2020           | 3790         |
| $I_{\text{фх.}}$ , А        | 814            | 1287         |
| ВКЗ                         | 0,615          | 0,63         |
| Опори, в.о.:                |                |              |
| $X_{\text{d}''}$            | 0,213          | 0,219        |
| $X_{\text{d}'}$             | 0,304          | 0,307        |
| $X_{\text{d}}$              | 1,713          | 2,33         |
| $X_2$                       | 0,25           | 0,267        |
| $X_0$                       | 0,1            | 0,117        |

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики турбін

| Параметр                | Турбіна   |             |
|-------------------------|-----------|-------------|
|                         | К-160-130 | К-800-240-2 |
| $P_{\text{НОМ.}}$ , МВт | 160       | 800         |
| $P$ , ата               | 130       | 240         |
| $t$ , °С                | 565       | 560         |
| $D$ , Т/год.            | 436       | 2370        |

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики котельних агрегатів

| Параметр                | Котельний агрегат |                |
|-------------------------|-------------------|----------------|
|                         | Пп-660/140 ГМ     | Пп-2550/255 ЖМ |
| $D$ , Т/год.            | 60                | 1600           |
| $P_{\text{НОМ.}}$ , МВт | 200               | 500            |
| $P$ , ата               | 140               | 255            |
| $t$ , °С                | 540               | 565            |
| Паливо                  | вугілля           | вугілля        |

### 2.3 Вибір структурної схеми станції

Кількість ЛЕП [2]:

$$n = \frac{P_{\max'}}{P_{\text{гр}}} + 1, \quad (2.7)$$

де  $P_{\max'}$  – максимальна потужність, що передається в район або систему з урахуванням втрат, МВт;

$P_{\text{гр}}$  – гранична потужність лінії, МВт.

$$n_{330} = \frac{1508,0}{400} + 1 = 4,77 \approx 5;$$

$$n_{110} = \frac{267,50}{50} + 1 = 6,35 \approx 7.$$

Розрахункова потужність робочого трансформатора власних потреб:

$$S_{\text{ТВПРОЗР.}} = \frac{P'_{\text{ВП}}}{100} \cdot K_{\text{П}} \cdot P_{\text{Г.НОМ}}; \quad (2.8)$$

$$S_{\text{ТВПРОЗР.1.}} = \frac{6}{100} \cdot 0,85 \cdot 160 = 8,16 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{ТВПРОЗР.2.}} = \frac{6}{100} \cdot 0,85 \cdot 800 = 40,8 \text{ МВА}.$$

Розрахункова потужність пускорезервного трансформатора

$$S_{\text{ТРПРОЗР.}} = 1,3 \cdot S_{\text{ТВПРОЗР.}}; \quad (2.9)$$

$$S_{\text{ТРПРОЗР.}} = 1,3 \cdot 40,8 = 53,04 \text{ МВА}$$

Структурна схема станції наведена на рисунку 2.2.

Розрахункова потужність блочного трансформатора:

$$S_{\text{БТР розр.}} = S_{\text{Г.ВСТ}} - S_{\text{ВПmax.}}; \quad (2.10)$$

$$S_{\text{БТ1 розр.}} = 188 - 8,16 = 179,84 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{БТ2 розр.}} = 888,9 - 40,8 = 848,1 \text{ МВА};$$

Визначимо перетоки потужності через автотрансформатор зв'язку:

а) максимальний режим:

$$S_{\text{max}} = S_{\text{Г.ВСТ.}} - S_{\text{ВПmax}} - S_{\text{р.max}}; \quad (2.11)$$

$$S_{\text{max}} = \left( 2 \cdot (188 - 8,16) - \frac{267,5}{0,85} \right) / 1,4 = 32,07 \text{ МВА};$$

б) мінімальний режим:

$$S_{\text{min}} = S_{\text{Г.ВСТ.}} - S_{\text{ВПmax}} - S_{\text{р.min}}; \quad (2.12)$$

$$S_{\text{min}} = \left( 2 \cdot (188 - 8,16) - \frac{171,34}{0,85} \right) / 1,4 = 112,9 \text{ МВА};$$

в) аварійний режим:

$$S_{\text{ав}} = S_{\text{Г.ВСТ1.}} - S_{\text{ВПmax}} - S_{\text{р.max}}; \quad (2.13)$$

$$S_{\text{ав}} = \left( 188 - 8,16 - \frac{267,5}{0,85} \right) / 2 = -67,4 \text{ МВА}.$$

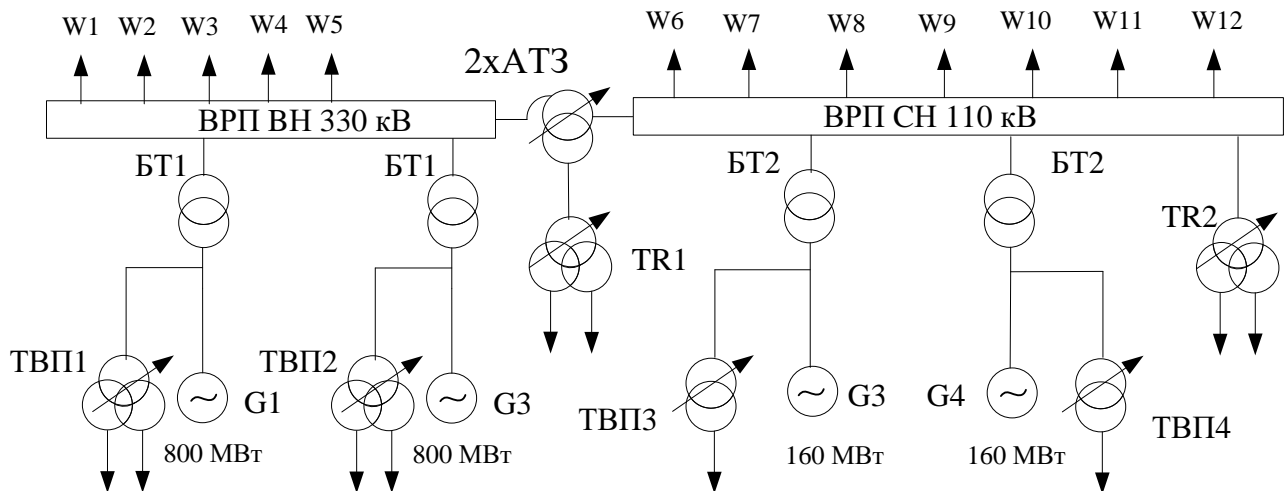


Рисунок 2.2 – Структурна схема станції

Встановлюємо два трьохфазних автотрансформатори зв'язку типу АТДЦТН-125000/330/110:

$$S_{\text{НОМ}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{НОМ}} = 330 / 115 / 38,5 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{кВН}} = 35 \% ; U_{\text{кСН}} = 24 \% ; U_{\text{кВС}} = 10 \% .$$

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики трансформаторів

| Позначення         | Тип трансформатора | $S_{\text{НОМ}}$ , МВА | $U_{\text{НОМ}}$ , кВ<br>ВН/НН | $U_{\text{к}}$ , % |
|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------|
| ТВП <sub>1,2</sub> | ТРДНС-63000/35     | 63                     | $\frac{24}{6,3-6,3}$           | 12,7               |
| ТВП <sub>3,4</sub> | ТДНС-10000/35      | 10                     | $\frac{18}{6,3-6,3}$           | 10                 |
| TR <sub>1</sub>    | ТРДНС-63000/35     | 63                     | $\frac{36,75}{6,3-6,3}$        | 12,7               |
| TR <sub>2</sub>    | ТРДНС-63000/110    | 63                     | $\frac{115}{6,3-6,3}$          | 10,5               |
| BT <sub>1</sub>    | ТЦ-100000/330-69У1 | 1000                   | $\frac{347}{24}$               | 11,5               |
| BT <sub>2</sub>    | ТДЦ-200000/110     | 200                    | $\frac{121}{18}$               | 10,5               |

## 2.4 Вибір схем ВРУ 330 та 110 кВ

Для ВРУ-110 кВ приймаємо типову схему «дві системи збірних шин з обхідною» (рисунок 2.3). А для ВРУ-330 кВ приймаємо два варіанти:

а) схема «дві системи збірних шин з чотирма вимикачами на три приєднання» (4/3);

б) схема «дві системи збірних шин з трьома вимикачами на два приєднання» (3/2) (рисунок 2.4).

Вибір схеми здійснюється за критерієм приведених витрат з урахуванням надійності [2, 5]:

$$Z = p_n \cdot K + U + M(Z), \quad (2.14)$$

де  $p_n = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$M(Z)$  – збиток від перерви електропостачання, тис. грн.

$$K = n_k \cdot C_k, \quad (2.15)$$

де  $n_k$  – кількість комірок з вимикачами, шт.;

$C_k$  – вартість комірки, тис. грн;

$$U = a \cdot K / 100; \quad (2.16)$$

де  $a=8,4\%$ .

Втрати електроенергії в трансформаторах в обох варіантах однакові, тому їх можна не враховувати.

Очікуваний збиток від перерви живлення через відмови вимикачів [2]:



$$M(3) = y_0 \sum_j K_j \cdot \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \Delta P_i \cdot T_i, \quad (2.17)$$

де  $y_0 = 15$  грн./кВт·год – питомий збиток;

$K_j$  – коефіцієнт режиму схеми ( $K_0$  або  $K_p$ );

$\omega_i$  – параметр потоку відмов вимикача, 1/рік;

$\Delta P_i$  – потужність, яку втрачаємо, МВт;

$T_i$  – час простою елемента ( $T_0$  або  $T_{ВП}$ ), год.

Розрахунок  $M(3)$  проводиться за алгоритмом, наведеним в [2].

Виконуємо розрахунок надійності схеми, результати розрахунку наведені у таблицях 2.8 – 2.13.

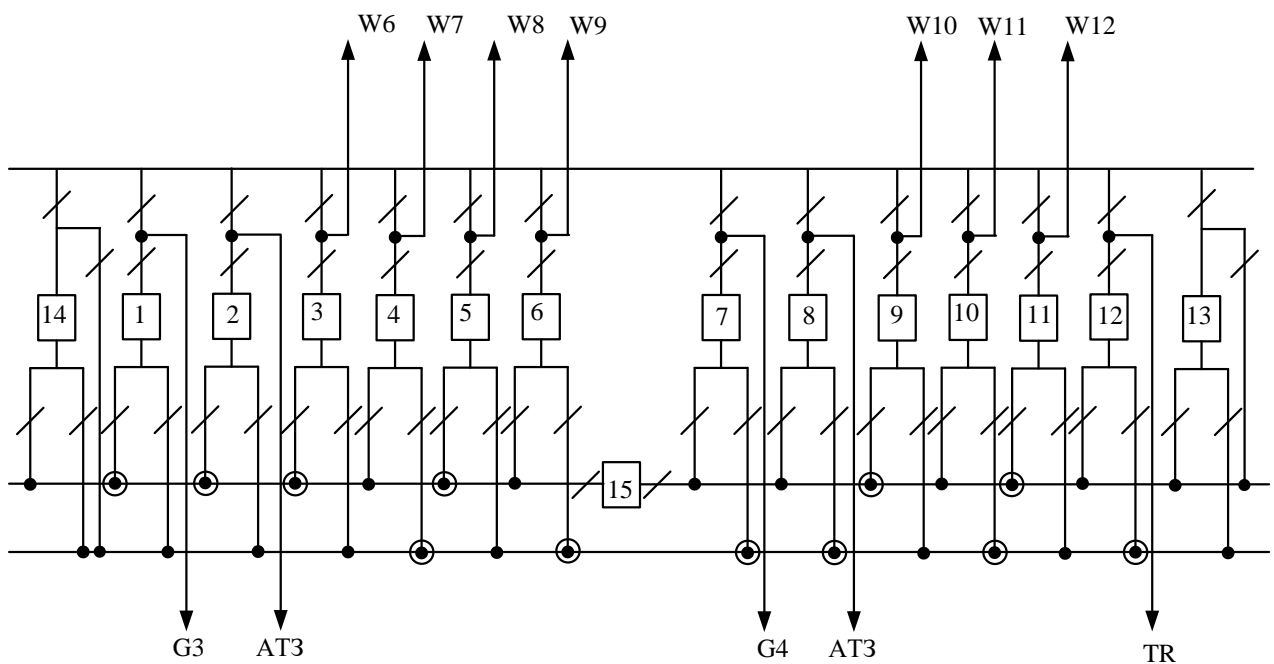
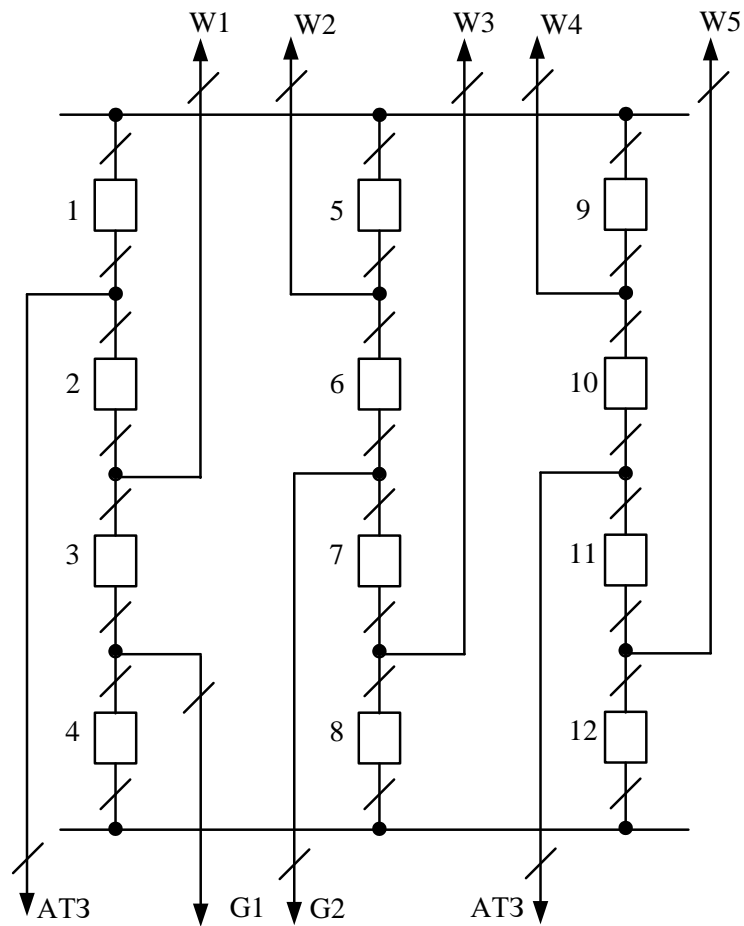
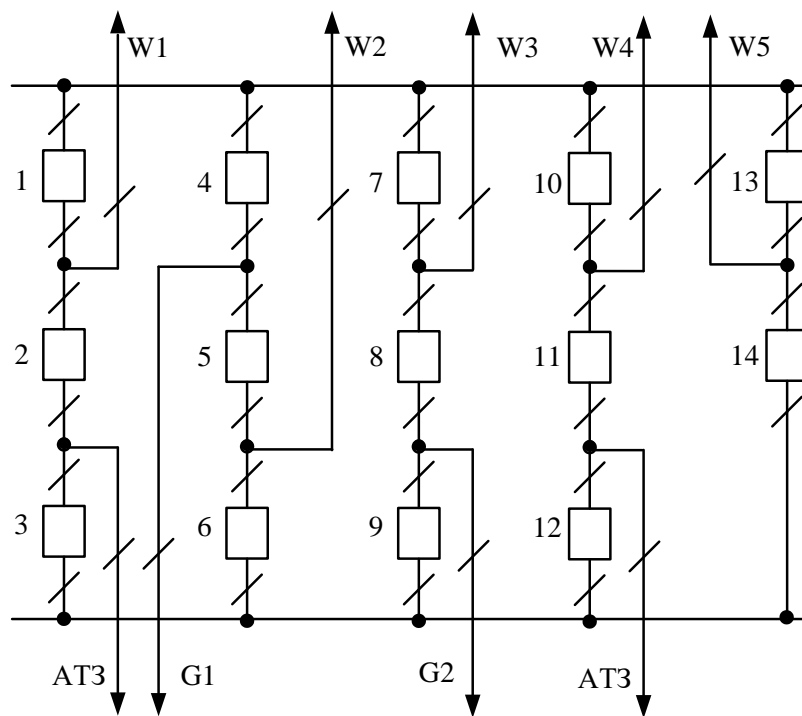


Рисунок 2.3 – Схема ВРУ-110 кВ



а) I варіант



б) II варіант

Рисунок 2.4 – Варіанти схеми ВРУ-330 кВ

Таблиця 2.8 – Показники надійності елегазових вимикачів

| Напруга,<br>кВ | Складова<br>параметра потоку<br>відмов, 1/рік |            | Час<br>відновлення,<br>$T_B$ , год | Частота<br>планових<br>ремонтів, $\mu$ ,<br>1/рік | Тривалість<br>планового<br>ремонту, $T_{\Pi}$ ,<br>год |
|----------------|---|------------|------------------------------------|---|--|
|                | $\omega_1$                                    | $\omega_2$ |                                    |   |  |
| 330            | 0,015   | 0,005      | 120                                | 0,2   | 250  |

Таблиця 2.9 – Показники для розрахунку надійності схем ВРУ-330 кВ

| Параметр   | Розрахункова<br>формула                                     | Числове значення |             |
|--|---|------------------|-------------|
|  |   | I                | II          |
| Кількість комірок,<br>шт.  | $n_k$   | 12               | 14          |
| Вартість комірки,<br>тис. грн.   | $C_k$   | 8000             | 8000        |
| Параметр потоку<br>раптових відмов<br>генеральних та<br>лінійних вимикачів   | $\omega_{ГВ} = 0,6 \cdot \omega_1$                          | 0,009            | 0,009       |
|  | $\omega_{ЛВ} = 0,6 \cdot (\omega_1 + \omega_2 \cdot 1/100)$ | 0,024            | 0,024       |
| Коефіцієнти<br>ремонтного $K_p$ та<br>нормального<br>режимів роботи $P_y$  | $K_p = \mu \cdot T_{\Pi}/8760$                              | 0,005707763      | 0,005707763 |
|  | $K_0 = 1 - n_k \cdot K_p$                                   | 0,931506849      | 0,920091324 |
| Час простою<br>елемента, год.  | $T_0$   | 1                | 1           |
|  | $T_{ВП} = T_B - T_B^2/2 \cdot T_{\Pi}$                      | 91               | 91          |
| Математичне<br>очікування числа<br>відмов генераторних<br>та лінійних<br>вимикачів в<br>нормальному<br>ремонтному<br>режимах | $K_0 \cdot \omega_{ГВ}$                                     | 0,0083836        | 0,0082808   |
|  | $K_0 \cdot \omega_{ЛВ}$                                     | 0,0220767        | 0,0218062   |
|  | $K_p \cdot \omega_{ГВ}$                                     | 0,0000514        | 0,0000514   |
|  | $K_p \cdot \omega_{ЛВ}$                                     | 0,0001353        | 0,0001353   |

Таблиця 2.10 – Розрахунок надійності схеми ВРУ-330 кВ (1 варіант)

| Відмова елемента | Параметр потоку відмов, 1/рік | Ko=0,931506849 | Елементи, що відключилися та їх час відновлення, Kp=0,005707763 |                             |                            |                                    |                                     |                           |                           |                                   |                                      |                             |                                 |                                      |                             |
|------------------|-------------------------------|----------------|---|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
|                  |                               |                | Q1  | Q2                          | Q3                         | Q4                                 | Q5                                  | Q6                        | Q7                        | Q8                                | Q9                                   | Q10                         | Q11                             | Q12                                  |                             |
| Q1 г             | 0,009                         | AT-To          | -   | AT-To<br>AT-Твп             | W,AT-To<br>D(W,AT)-<br>Твп | W+D(W,G)<br>)-To                   | AT-To                               | W, AT-To                  | AT+D(W,<br>G)-To          | AT+D(2W,<br>G)-To                 | AT-To                                | W, AT-To                    | AT+D(W,<br>AT)-To               | AT+D(2W,<br>AT)-To                   |                             |
| Q2 л             | 0,024                         | W, AT-To       | W, AT-To<br>AT-Твп  | -                           | W, AT -To<br>W-Твп         | W,G,AT -<br>To<br>D (W,G) -<br>Твп | W, AT-To                            | W, AT-To                  | W, AT-To                  | W, AT-To                          | W, AT-To                             | W, AT-To                    | W, AT-<br>To                    | W, AT-To                             |                             |
| Q3 л             | 0,024                         | W, G-To        | W,G,AT-To<br>D(W,AT)-<br>Твп                                    | W, G-To<br>W-Твп            | -                          | W, G-To<br>G-Твп                   | W, G-To                             | W, G-To                   | W, G-To                   | W, G-To                           | W, G-To                              | W, G-To                     | W, G-To                         | W, G-To                              |                             |
| Q4 г             | 0,009                         | G-To           | G+D(W,AT-<br>To<br>D(W,G,AT)-<br>Твп                            | W, G-To<br>D (W,G) -<br>Твп | G-To<br>G-Твп              | -                                  | G+D(2W,<br>G)-To)                   | G+D(2W,<br>G)-To)         | W, G-To                   | G-To                              | G+D(2W,<br>AT)-To                    | G+D(W,<br>AT)-To            | W, G-To                         | G-To                                 |                             |
| Q5 л             | 0,024                         | W-To           | W-To  | W, AT-To                    | W+D(W,AT)<br>-To           | W+D(W,G,<br>AT)-To)                | -                                   | W-To<br>W-Твп             | W,G-To<br>D (W,G)-<br>Твп | W+D(W,<br>G)-To<br>D(W,G)-<br>Твп | W-To                                 | 2W-To                       | W+D(W,<br>AT)-To                | W+D(2W,<br>AT)-To                    |                             |
| Q6 л             | 0,024                         | W, G-To        | W, G-To   | W, G-To                     | W, G-To                    | W, G-To                            | W, G-To<br>W-Твп                    | -                         | W,G-To<br>G-Твп           | 2W, G-To<br>D(W,G)-<br>Твп        | W, G-To                              | W, G-To                     | W, G-To                         | W, G-To                              |                             |
| Q7 л             | 0,024                         | W, G-To        | W, G-To   | W, G-To                     | W, G-To                    | W, G-To                            | 2W, G-To<br>D(W,G)-<br>Твп)         | W, G-To<br>G-Твп          | -                         | W, G-To<br>W-Твп                  | W, G-To                              | W, G-To                     | W, G-To                         | W, G-To                              |                             |
| Q8 л             | 0,024                         | W-To           | W+D(W, G,<br>AT)-To   | W+D(W,G)<br>-To             | W,G-To                     | W-To                               | W+D(W,<br>G)-To<br>D(2W,G)-<br>Твп) | W, G-To<br>D(W,G)-<br>Твп | W-To<br>W-Твп             | -                                 | W+D(2W,<br>AT)-To                    | W+D(W,<br>AT)-To            | 2W-To                           | W-To                                 |                             |
| Q9 л             | 0,024                         | W-To           | W-To  | W,AT-To                     | W+D(W,AT)<br>-To           | W+D(W,G,<br>AT)-To                 | W-To                                | 2W-To                     | W+D(W,G)<br>)-To          | W+D(2W,<br>G)-To                  | -                                    | W-To<br>W-Твп               | W, AT-<br>To<br>D(W,AT)<br>-Твп | W+D(W,<br>AT)-To<br>D(2W,AT)-<br>Твп |                             |
| Q10 л            | 0,024                         | W, AT-To       | W, AT-To  | W, AT-To                    | W, AT-To                   | W, AT-To                           | W, AT-To                            | W, AT-To                  | W, AT-To                  | W, AT-To                          | W, AT-To                             | W, AT-To<br>W-Твп           | -                               | W, AT-<br>To<br>AT- Твп              | 2W,AT-To<br>D(W,AT)-<br>Твп |
| Q11 л            | 0,024                         | W, AT-To       | W, AT-To  | W, AT-To                    | W, AT-To                   | W, AT-To                           | W, AT-To                            | W, AT-To                  | W, AT-To                  | W, AT-To                          | W, AT-To                             | 2W,AT-To<br>D(W,AT)-<br>Твп | W, AT-To<br>AT- Твп             | -                                    | W, AT-To<br>W-Твп           |
| Q12 л            | 0,024                         | W-To           | W+D(W, G,<br>AT)To  | W+D(W,G)<br>-To             | W,G-To                     | W-To                               | W+D(2W,<br>G)-To                    | W+D(W,G)<br>)-To          | 2W-To                     | W-To                              | W+D(W,<br>AT)-To<br>D(2W,AT)<br>-Твп | W, AT-To<br>D(W,AT)-<br>Твп | W-To<br>W- Твп                  | -                                    |                             |

Таблиця 2.11 – Розрахунок надійності схеми ВРУ-330 кВ (2 варіант)

| Відмова елемента | Параметр потоку відмов, 1)рік | Ko=0,920<br>091324 | Елементи, що відключилися та їх час відновлення, Kp=0,005707763 |                 |                            |                          |               |                          |                          |               |                          |                            |                 |                            |               |               |
|------------------|-------------------------------|--------------------|---|-----------------|----------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|---------------|---------------|
|                  |                               |                    | Q1  | Q2              | Q3                         | Q4                       | Q5            | Q6                       | Q7                       | Q8            | Q9                       | Q10                        | Q11             | Q12                        | Q13           | Q14           |
| Q1 л             | 0,024                         | W-To               | -   | W-To<br>W-ТВП   | W,AT-To<br>D(W,AT)-<br>ТВП | W-To                     | W,G-To        | W+D(W,<br>G)-To          | W-To                     | 2W-To         | W+D(W,G<br>)To           | W -To                      | 2W-To           | W+D(W,<br>AT)-To           | W-To          | 2W-To         |
| Q2 л             | 0,024                         | W,AT-To            | W,AT-To<br>W-ТВП  | -               | W,AT-To<br>AT-ТВП          | W,AT-<br>To              | W,AT-<br>To   | W,AT-<br>To              | W,AT-<br>To              | W,AT-<br>To   | W,AT-To                  | W,AT-To                    | W,AT-To         | W,AT-To                    | W,AT-To       | W,AT-<br>To   |
| Q3 г             | 0,009                         | AT-To              | W,AT-To<br>D(W,AT)-<br>ТВП                                      | AT-To<br>AT-ТВП | -                          | AT+D(<br>W,G)-To         | W,AT-<br>To   | AT-To                    | AT+D(<br>W,G)-<br>To     | G,AT-<br>To   | AT-To                    | AT+D(W<br>,AT)-To          | 2AT-To          | AT-To                      | W,AT-To       | AT-To         |
| Q4 г             | 0,009                         | G-To               | G-To  | W,G-To          | G+D(W,<br>AT)-To           | -                        | G-To<br>G-ТВП | W,G-To<br>D(W,G)<br>-ТВП | G-To                     | W,G-To        | G+D(W,G<br>)To           | G-To                       | W,G-To          | G+D(W,<br>AT)-To           | G-To          | W,G-To        |
| Q5 л             | 0,024                         | W,G-To             | W,G-To  | W,G-To          | W,G-To                     | W,G-To<br>G-ТВП          | -             | W,G-To<br>W-ТВП          | W,G-To                   | W,G-To        | W,G-To                   | W,G-To                     | W,G-To          | W,G-To                     | W,G-To        | W,G-To        |
| Q6 л             | 0,024                         | W-To               | W+D(W,A<br>T)-To  | W,AT-To         | W-To                       | W,G-To<br>D(W,G)-<br>ТВП | W-To<br>W-ТВП | -                        | W+D(W<br>,G)-To          | W,G-To        | W-To                     | W+D(W,<br>AT)-To           | W,AT-To         | W-To                       | 2W-To         | W-To          |
| Q7 л             | 0,024                         | W-To               | W-To  | 2W-To           | W+D(W,<br>AT)-To           | W-To                     | W,G-To        | W+D(W<br>,G)-To          | -                        | W-To<br>W-ТВП | W,G-To<br>D(W,G)-<br>ТВП | W-To                       | 2W-To           | W+D(W,<br>AT)-To           | W-To          | 2W-To         |
| Q8 л             | 0,024                         | W,G-To             | W,G-To  | W,G-To          | W,G-To                     | W,G-To                   | W,G-To        | W,G-To                   | W,G-To<br>W-ТВП          | -             | W,G-To<br>G-ТВП          | W,G-To                     | W,G-To          | W,G-To                     | W,G-To        | W,G-To        |
| Q9 г             | 0,009                         | G-To               | G+D(W,A<br>T)-To  | G,AT-To         | G-To                       | G+D(W,<br>G)-To          | W,G-To        | G-To                     | W,G-To<br>D(W,G)<br>-ТВП | G-To<br>G-ТВП | -                        | G+D(W,<br>AT)-To           | G,AT-To         | G-To                       | W,G-To        | G-To          |
| Q10 л            | 0,024                         | W-To               | W-To  | 2W-To           | W+D(W,<br>AT)-To           | W-To                     | W,G-To        | W+D(W<br>,G)-To          | W-To                     | 2W-To         | W+D(W,G<br>)To           | -                          | W-To<br>W-ТВП   | W,AT-To<br>D(W,AT)-<br>ТВП | W-To          | 2W-To         |
| Q11 л            | 0,024                         | W,AT-To            | W,AT-To   | W,AT-To         | W,AT-To                    | W,AT-<br>To              | W,AT-<br>To   | W,AT-<br>To              | W,AT-<br>To              | W,AT-<br>To   | W,AT-To                  | W,AT-To<br>W-ТВП           | -               | W,AT-To<br>AT- ТВП         | W,AT-To       | W,AT-<br>To   |
| Q12 г            | 0,009                         | AT-To              | AT+D(W,<br>AT)-To   | 2AT-To          | AT-To                      | AT+D(<br>W,G)-To         | W,AT-<br>To   | AT-To                    | AT+D(<br>W,G)-<br>To     | G,AT-<br>To   | AT-To                    | W,AT-To<br>D(W,AT)<br>-ТВП | AT-To<br>AT-ТВП | -                          | W,AT-To       | AT-To         |
| Q13 л            | 0,024                         | W-To               | W-To  | 2W-To           | W+D(W,<br>AT)-To           | W-To                     | W,G-To        | W+D(W<br>,G)-To          | W-To                     | 2W-To         | W+D(W,G<br>)To           | W-To                       | 2W-To           | W+D(W,A<br>T)-To           | -             | W-To<br>W-ТВП |
| Q14 л            | 0,024                         | W-To               | W+D(W,A<br>T)-To  | W,AT-To         | W-To                       | W+D(W,<br>G)-To          | 2W-To         | W-To                     | W+D(W<br>,G)-To          | W,G-To        | W-To                     | W+D(W,<br>AT)-To           | W,AT-To         | W-To                       | W-To<br>W-ТВП | -             |

Таблиця 2.12 – Розрахункові показники надійності схеми ВРУ-330 кВ

| Відмова елемента  | Потужність, що втрачається $\Delta P$ , МВт | Час простою, $T_0/T_{ВП}$ , ГОД | $K_0$                   |               | $K_p$         |               |   |   |
|---|---|---------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---|---|
|   |   |                                 | $\omega_{ГВ}$           | $\omega_{ЛВ}$ | $\omega_{ГВ}$ | $\omega_{ЛВ}$ |   |   |
| I варіант   |   |                                 |                         |               |               |               |   |   |
| W+D(W,AT)   | 269,8                                       | 1                               | –                       | –             | –             | 6             |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | –             | –             |   |   |
| W+D(W,G)<br>AT+D(W,G)<br>AT+D(2W,G)<br>D(W,G,AT)<br>D(W,G)<br>D(2W,G) | 306,5                                       | 1                               | –                       | –             | 4             | 8             |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | 2             | 7             |   |   |
|   |   |                                 | 2W                      | –             | –             | 1             | 5 |   |
|   |   |                                 | 2W, AT                  | 308           | –             | –             | – | 2 |
|   |   |                                 | AT+D(2W,AT)<br>D(2W,AT) |               | –             | –             | – | – |
| W+D(W,G,AT)   | 344,7                                       | 1                               | –                       | –             | –             | 4             |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | –             | –             |   |   |
| W+D(2W,AT)  | 669,8                                       | 1                               | –                       | –             | –             | 2             |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | –             | –             |   |   |
| G<br>W,G<br>2W,G<br>W,G,AT<br>G+D(W,AT)<br>G+D(2W,G)<br>G+D(2W,AT)    | 706,5                                       | 1                               | 1                       | 3             | 11            | 38            |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | 1             | –             |   |   |
| II варіант  |   |                                 |                         |               |               |               |   |   |
| W+D(W,AT)   | 269,8                                       | 1                               | –                       | –             | –             | 10            |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | –             | –             |   |   |
| W+D(W,G)<br>AT+D(W,G)<br>D(W,G)                                       | 306,5                                       | 1                               | –                       | –             | 4             | 10            |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | 2             | 1             |   |   |
| 2W  | 308   | 1                               | –                       | –             | –             | 14            |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | –             | –             |   |   |
| G<br>W,G<br>G,AT<br>G+D(W,AT)   | 706,5                                       | 1                               | 2                       | 2             | 26            | 34            |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | 2             | 2             |   |   |
| G+D(W,G)  | 1069,8                                      | 1                               |                         |               | 2             | –             |   |   |
|   |   | 91,2                            | –                       | –             | –             | –             |   |   |

Примітка – події, в яких потужність не втрачається ( $\Delta P=0$ ), в таблицю 2.12 не

вносимо

Очікуваний збиток через відмови вимикачів:

$$\begin{aligned}
 M(3)_I &= 15 \cdot [0,0083836 \cdot (1 \cdot 706,5) + 0,0220767 \cdot (3 \cdot 706,5) + \\
 &+ 0,0000514 \cdot (4 \cdot 306,5 + 2 \cdot 91,2 \cdot 306,5 + 1 \cdot 1 \cdot 308 + 11 \cdot 1 \cdot 706,5 + 1 \cdot 91,2 \cdot 706,5) + \\
 &+ 0,0001353 \cdot (6 \cdot 1 \cdot 269,8 + 8 \cdot 1 \cdot 306,5 + 7 \cdot 91,2 \cdot 306,5 + 5 \cdot 1 \cdot 308 + \\
 &+ 2 \cdot 91,2 \cdot 308 + 4 \cdot 1 \cdot 344,7 + 2 \cdot 1 \cdot 669,8 + 38 \cdot 1 \cdot 706,5)] = 1468,67 \text{ (тис грн);} \\
 M(3)_{II} &= 15 \cdot [0,0082808 \cdot (2 \cdot 706,5) + 0,0218062 \cdot (2 \cdot 706,5) + \\
 &+ 0,0000514 \cdot (4 \cdot 306,5 + 2 \cdot 91,2 \cdot 306,5 + 26 \cdot 1 \cdot 706,5 + 2 \cdot 91,2 \cdot 706,5 + 2 \cdot 1 \cdot 1069,8) + \\
 &+ 0,0001353 \cdot (10 \cdot 1 \cdot 269,8 + 10 \cdot 1 \cdot 306,5 + 1 \cdot 91,2 \cdot 306,5 + 14 \cdot 1 \cdot 308 + \\
 &+ 34 \cdot 1 \cdot 706,5 + 2 \cdot 91,2 \cdot 706,5)] = 1184,2 \text{ (тис грн).}
 \end{aligned}$$

Таблиця 2.13 – Приведені витрати схем ВРУ-330 кВ

| Складові витрат                | Числове значення, тис.грн |         |
|--------------------------------|---------------------------|---------|
|                                | I                         | II      |
| Капіталовкладення              | 96000                     | 112000  |
| Щорічні експлуатаційні витрати | 8064                      | 9408    |
| Очікуваний збиток              | 1468,67                   | 1184,2  |
| Приведені витрати              | 23932,67                  | 27392,2 |

$\Delta Z = 13,5\% > 5\%$ , отже, приймаємо I варіант схеми ВРУ-330 кВ – дві системи збірних шин з чотирма вимикачами на три приєднання (4/3).

## 2.5 Вибір схеми власних потреб

Кожний турбогенератор має робочий трансформатор власних потреб (ТВП) з двома секціями на стороні 6 кВ. Резервне живлення здійснюється від двох пускорезервних трансформаторів ( $TR_1$  та  $TR_2$ ) через магістраль резервного живлення (МРЖ-6 кВ) [3].

Аварійне живлення забезпечується дизель-генератором. Всі трансформатори мають пристрій РПН.

До секцій 6 кВ підключаємо по одному трансформатору 6/0,4 кВ для живлення

споживачів 0,4 кВ.

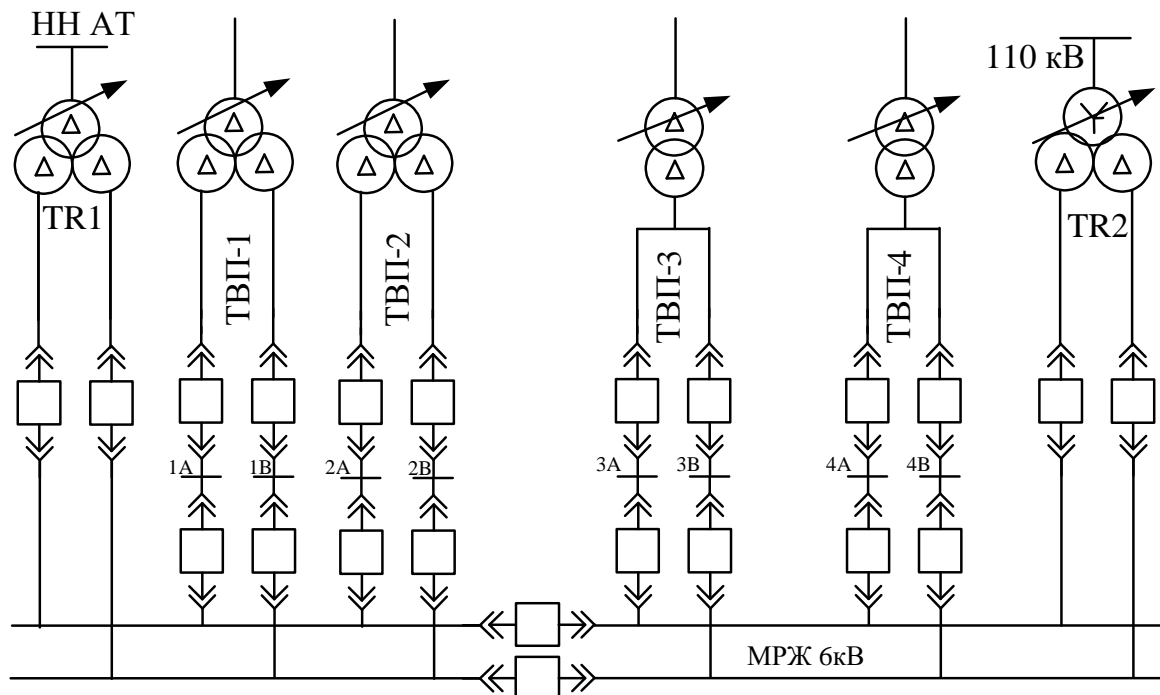
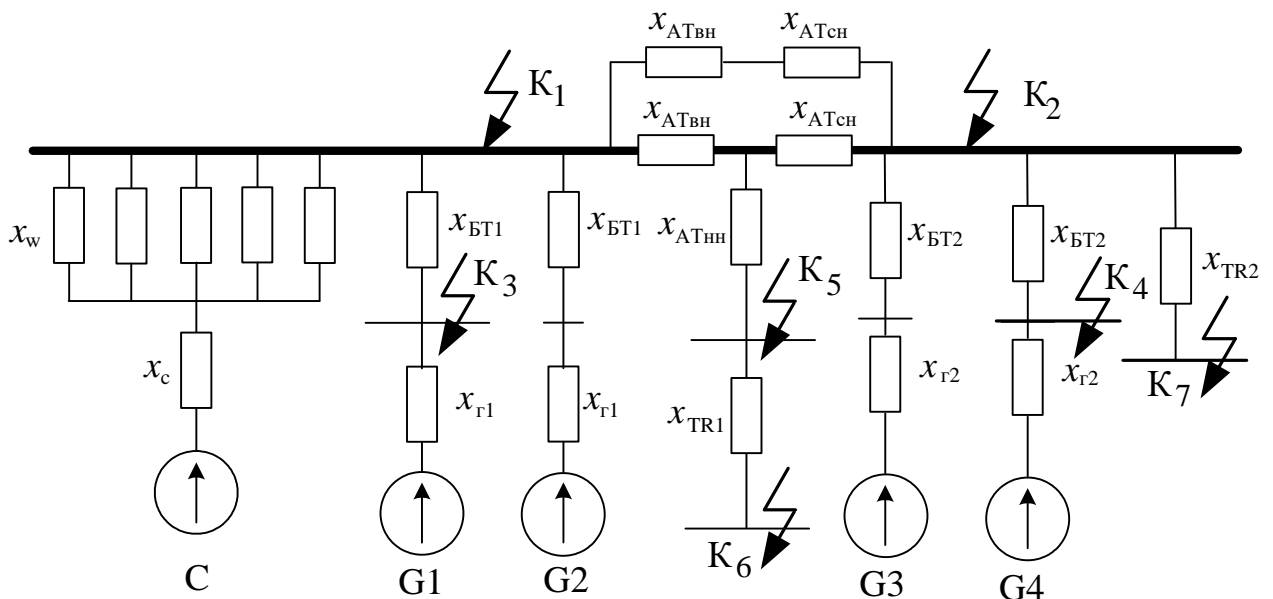


Рисунок 2.5 – Схема власних потреб станції

## 2.6 Розрахунок струмів короткого замикання

Складаємо заступну схему електроустановки та визначаємо параметри її елементів [2]:  $S_6 = 1000 \text{ МВА}$ ;  $U_6 = U_{\text{ср.ном}}$ .





## Рисунок 2.6 – Заступна схема станції

Визначимо приведені значення опорів:

- генератор:

$$X_{*G} = X_{d*НОМ}'' \cdot \frac{S_{Б}}{S_{НОМ}}; \quad (2.18)$$

$$X_{*G1,2} = 0,2195 \cdot \frac{1000}{889} = 0,246;$$

$$X_{*G3,4} = 0,213 \cdot \frac{1000}{188} = 1,133;$$

- енергосистема:

$$X_c = X_{*cНОМ} \cdot \frac{S_{Б}}{S_{НОМ}}, \quad (2.19)$$

$$X_c = 0,26 \cdot \frac{1000}{14200} = 0,02;$$

- ЛЕП 330 кВ:

$$X_w = X_{ПИТ} \cdot 1 \cdot \frac{S_{Б}}{u_{ср}^2}, \quad (2.20)$$

$$X_w = 0,32 \cdot 490 \cdot \frac{1000}{340^2} = 1,36;$$

- трансформатор:

$$X_T = \frac{u_{КВ-Н\%}}{100} \cdot \frac{S_{Б}}{S_{НОМ}}, \quad (2.21)$$

$$X_{BT1} = \frac{11,5}{100} \cdot \frac{1000}{1000} = 0,115;$$

$$x_{\text{BT2}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{200} = 0,525;$$

- пускорезервный трансформатор з розщепленою обмоткою:

$$x_{\text{TR}} = \frac{1,875 u_{\text{K}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ.Т}}}, \quad (2.22)$$

$$x_{\text{TR1}} = \frac{1,875 \cdot 12,7}{100} \cdot \frac{1000}{63} = 3,78;$$

$$x_{\text{TR2}} = \frac{1,875 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{1000}{63} = 3,125;$$

- АТЗ:

$$\left. \begin{aligned} u_{\text{KB}\%} &= 0,5 \cdot (u_{\text{KB-H}\%} + u_{\text{KB-C}\%} - u_{\text{CB-H}\%}); \\ u_{\text{KC}\%} &= 0,5 \cdot (u_{\text{KB-C}\%} + u_{\text{CB-H}\%} - u_{\text{KB-H}\%}); \\ u_{\text{KH}\%} &= 0,5 \cdot (u_{\text{KB-H}\%} + u_{\text{CB-H}\%} - u_{\text{KB-C}\%}). \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

$$u_{\text{KB}\%} = 0,5 \cdot (35 + 10 - 24) = 10,5 \%;$$

$$u_{\text{KC}\%} = 0,5 \cdot (10 + 24 - 35) = -0,5 = 0\%;$$

$$u_{\text{KH}\%} = 0,5 \cdot (35 + 24 - 10) = 24,5 \%.$$

$$x_{\text{BH AT}} = \frac{u_{\text{KB}\%}}{100} \cdot \frac{S_{\text{Б}}}{S_{\text{НОМ}}};$$

$$x_{\text{CH AT}} = \frac{u_{\text{KC}\%}}{100} \cdot \frac{S_{\text{Б}}}{S_{\text{НОМ}}};$$

$$x_{\text{HH AT}} = \frac{u_{\text{KH}\%}}{100} \cdot \frac{S_{\text{Б}}}{S_{\text{НОМ}}}.$$

$$x_{\text{BH AT}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 0,84;$$

$$x_{\text{CH AT}} = 0;$$

$$x_{\text{HH AT}} = \frac{24,5}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 1,96.$$

Спростимо заступну схему (рисунок 2.7):

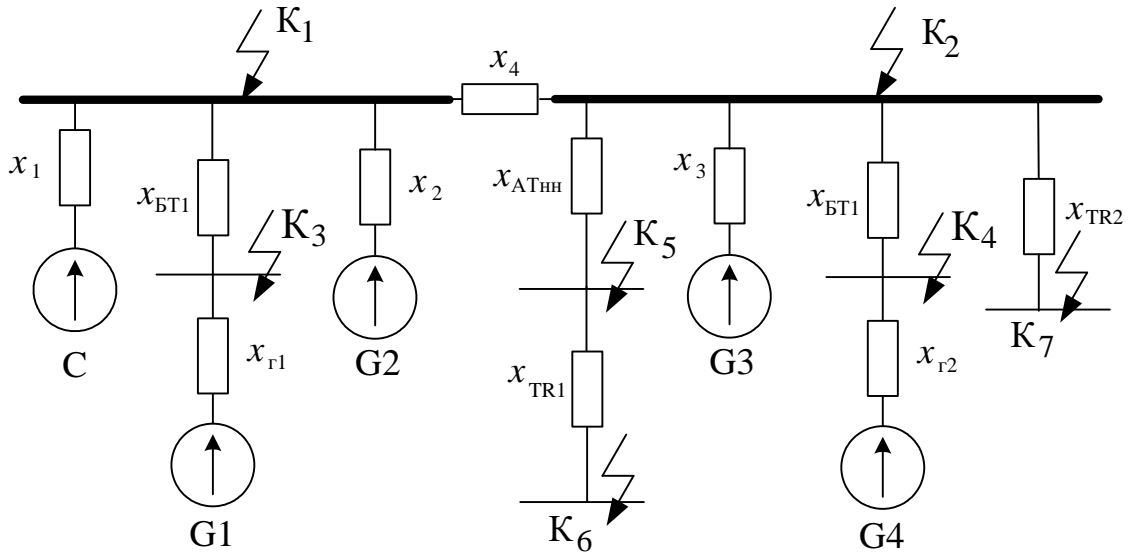


Рисунок 2.7 – Спрощена заступна схема станції

$$x_1 = \frac{x_w}{5} + x_c;$$

$$x_1 = \frac{1,36}{5} + 0,02 = 0,292;$$

$$x_2 = x_{БТ1} + x_{Г1};$$

$$x_2 = 0,115 + 0,246 = 0,361;$$

$$x_3 = x_{БТ2} + x_{Г2};$$

$$x_3 = 0,525 + 1,133 = 1,658;$$

$$x_4 = \frac{x_{ВНАТ}}{2};$$

$$x_4 = \frac{0,84}{2} = 0,42.$$

Початкове значення періодичної складової струму КЗ [2, 4]:

$$I_{п0\_i} = \frac{E_*'' \cdot I_{бi}}{x_{рез*}}, \quad (2.24)$$

де  $E_*'' = 1,13$  – для генераторів;

$E_*'' = 1,00$  – для енергосистеми та власних потреб;

$I_{бi}$  – базовий струм, кА;

$x_{рез.*i}$  – результуючий опір кола КЗ, в.о.;

Базовий струм [2]:

$$I_{бi} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}; \quad (2.25)$$

$$I_{б1} = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 340) = 1,7 \text{ (кА)};$$

$$I_{б2} = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 115) = 5,02 \text{ (кА)};$$

$$I_{б3} = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 24) = 24,05 \text{ (кА)};$$

$$I_{б4} = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 18) = 32,07 \text{ (кА)};$$

$$I_{б5} = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 37) = 15,6 \text{ (кА)};$$

$$I_{б6} = I_{б7} = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 91,64 \text{ (кА)}.$$

*К-1.* Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ  $K_1$ , приведемо цю схему до найбільш простого вигляду (рисунок 2.8).

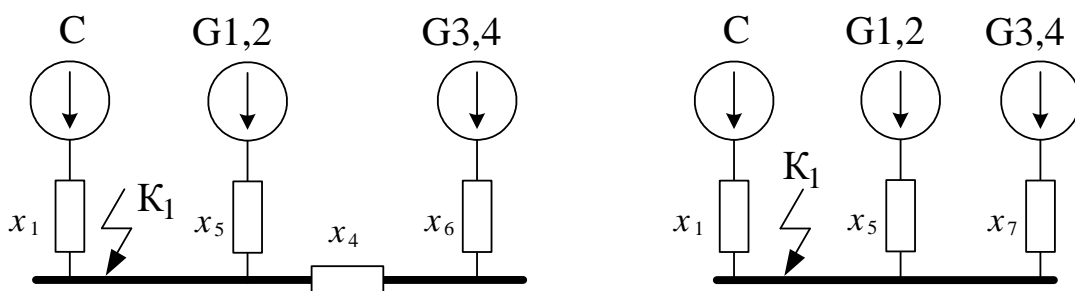


Рисунок 2.8 – Спрощення заступної схеми для точки К-1

$$x_5 = \frac{x_2}{2};$$

$$x_5 = \frac{0,361}{2} = 0,18;$$

$$x_6 = \frac{x_3}{2};$$

$$x_6 = \frac{1,658}{2} = 0,83;$$

$$x_7 = x_4 + x_6;$$

$$x_7 = 0,42 + 0,83 = 1,25;$$

$$I_{\text{ПОР}} = \frac{1}{0,292} \cdot 1,7 = 5,822 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{ПОГ1,2}} = \frac{1,13}{0,181} \cdot 1,7 = 10,61 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{ПОГ3,4}} = \frac{1,13}{1,25} \cdot 1,7 = 1,537 \text{ (кА)}.$$

К-2. Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ К<sub>2</sub>, приведемо цю схему до найбільш простого вигляду (рисунок 2.9).

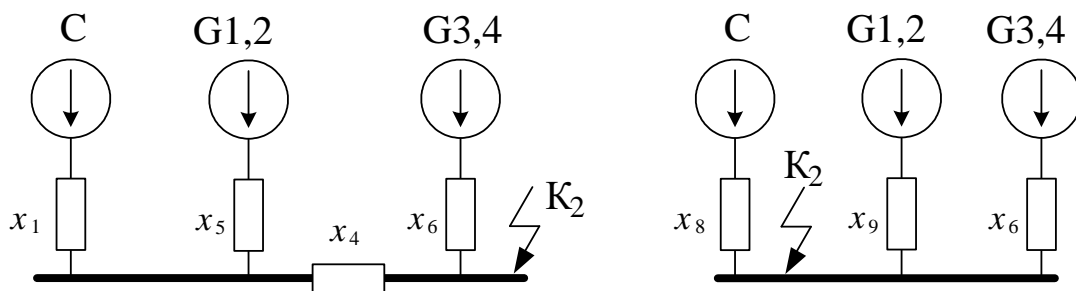


Рисунок 2.9 – Спрощення заступної схеми для точки К-2

Розподіляємо  $x_4$  між  $x_1$  та  $x_5$ :

$$\Delta x = x_4 \cdot (x_1 + x_5);$$

$$x_8 = x_1 + (\Delta x / x_5);$$

$$x_9 = x_5 + (\Delta x / x_1);$$

$$\Delta x = 0,42 \cdot (0,292 + 0,181) = 0,2;$$

$$x_8 = 0,292 + (0,2 / 0,181) = 1,4;$$

$$x_9 = 0,181 + (0,2 / 0,292) = 0,87;$$

$$I_{\text{Пос}} = \frac{1}{1,4} \cdot 5,02 = 3,586 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{Пог1,2}} = \frac{1,13}{1,29} \cdot 5,02 = 6,52 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{Пог3,4}} = \frac{1,13}{0,83} \cdot 5,02 = 6,834 \text{ (кА)}.$$

*K-3.* Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ  $K_3$ , приведемо цю схему до найбільш простого вигляду (рисунок 2.10).

Розподіляємо  $x_{\text{BT1}}$  між  $x_1$ ,  $x_2$  та  $x_7$  [2]:

$$x_{\Delta} = x_{\text{BT1}} \cdot (x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_7 + x_2 \cdot x_7);$$

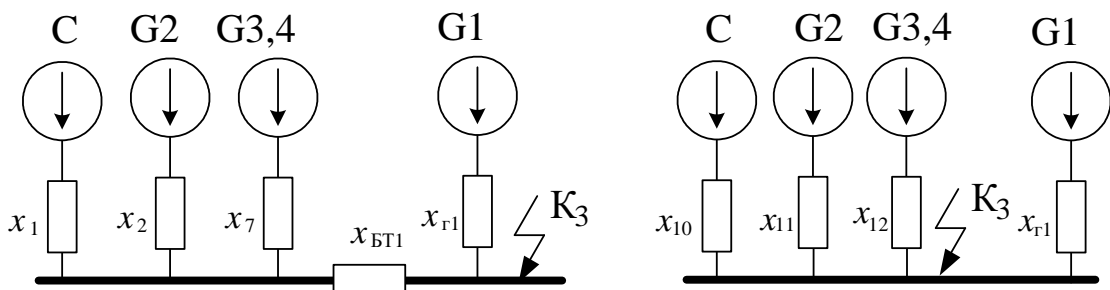


Рисунок 2.10 – Спрощення заступної схеми для точки  $K-3$

$$x_{10} = x_1 + \frac{x_{\Delta}}{x_2 \cdot x_7};$$

$$x_{11} = x_2 + \frac{x_{\Delta}}{x_1 \cdot x_7};$$

$$x_{12} = x_7 + \frac{x_{\Delta}}{x_2 \cdot x_1};$$

$$x_{\Delta} = 0,115 \cdot (0,292 \cdot 0,361 + 0,292 \cdot 1,25 + 0,361 \cdot 1,25) = 0,106;$$

$$x_{10} = 0,292 + \frac{0,106}{0,361 \cdot 1,25} = 0,53;$$

$$x_{11} = 0,361 + \frac{0,106}{0,292 \cdot 1,25} = 0,651;$$

$$x_{12} = 1,25 + \frac{0,106}{0,361 \cdot 0,292} = 2,26.$$

$$I_{\text{Пос}} = \frac{1}{0,53} \cdot 24,05 = 45,377 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{Пог2}} = \frac{1,13}{2,5} \cdot 24,05 = 41,746 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{Пог3,4}} = \frac{1,13}{2,26} \cdot 24,05 = 12,025 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{Пог1}} = \frac{1,13}{0,246} \cdot 24,05 = 110,474 \text{ (кА)}.$$

*К-4.* Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ  $K_4$ , приведемо цю схему до найбільш простого вигляду (рисунок 2.11).

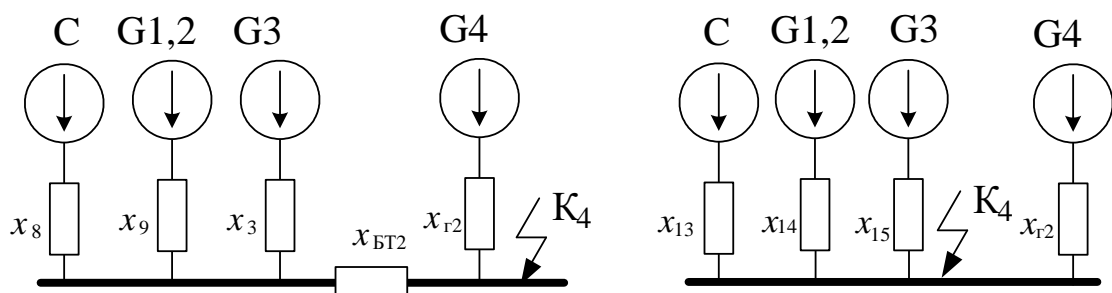


Рисунок 2.11 – Спрощення заступної схеми для точки К-4

Розподіляємо  $x_{\text{БТ2}}$  між  $x_8$ ,  $x_9$  та  $x_3$ :

$$x_{\Delta} = x_{\text{БТ2}} \cdot (x_8 \cdot x_9 + x_8 \cdot x_3 + x_9 \cdot x_3);$$

$$x_{13} = x_8 + \frac{x_{\Delta}}{x_9 \cdot x_3};$$

$$x_{14} = x_9 + \frac{x_{\Delta}}{x_8 \cdot x_3};$$

$$x_{15} = x_3 + \frac{x_{\Delta}}{x_9 \cdot x_8};$$

$$x_{\Delta} = 0,525 \cdot (1,4 \cdot 0,87 + 1,4 \cdot 1,658 + 0,87 \cdot 1,658) = 2,62;$$

$$x_{13} = 1,4 + \frac{2,62}{0,87 \cdot 1,658} = 3,22;$$

$$x_{14} = 0,87 + \frac{2,62}{1,4 \cdot 1,658} = 2,0;$$

$$x_{15} = 1,658 + \frac{2,62}{0,87 \cdot 1,4} = 3,81.$$

$$I_{\text{ПОР}} = \frac{1}{3,22} \cdot 32,079 = 9,96 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{ПОГ1,2}} = \frac{1,13}{2,0} \cdot 32,07 = 18,12 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{ПОГ3}} = \frac{1,13}{3,81} \cdot 32,07 = 9,512 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{ПОГ4}} = \frac{1,13}{1,133} \cdot 32,07 = 31,985 \text{ (кА)}.$$

*К-5.* Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ  $K_5$ , приведемо цю схему до найбільш простого вигляду (рисунок 2.12).

Розподіляємо  $x_{\text{АТ.нн}}$  між  $x_8$ ,  $x_9$  та  $x_6$ :

$$x_{\Delta} = x_{\text{АТ.нн}} \cdot (x_8 \cdot x_9 + x_8 \cdot x_6 + x_9 \cdot x_6);$$

$$x_{16} = x_8 + \frac{x_{\Delta}}{x_9 \cdot x_6};$$



$$x_{17} = x_9 + \frac{x_{\Delta}}{x_8 \cdot x_6};$$

$$x_{18} = x_6 + \frac{x_{\Delta}}{x_9 \cdot x_8};$$

$$x_{\Delta} = 1,96 \cdot (1,4 \cdot 0,87 + 1,4 \cdot 0,83 + 0,87 \cdot 0,83) = 6,08;$$

$$x_{16} = 1,4 + \frac{6,08}{0,87 \cdot 0,83} = 9,82;$$

$$x_{17} = 0,87 + \frac{6,08}{1,4 \cdot 0,83} = 6,1;$$

$$x_{18} = 0,83 + \frac{6,08}{0,87 \cdot 1,4} = 5,82.$$

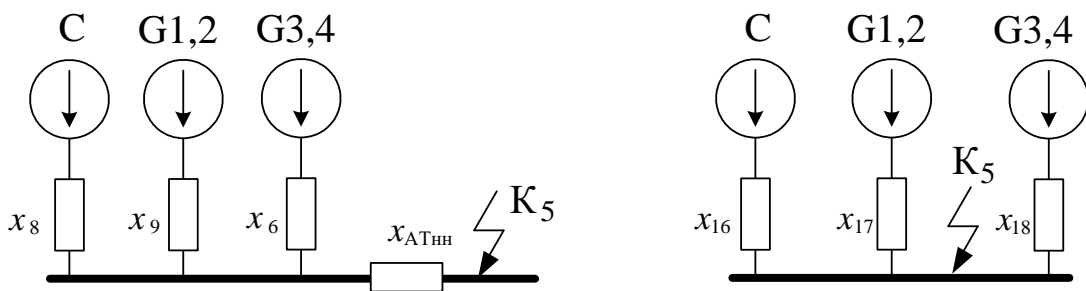


Рисунок 2.12 – Спрощення заступної схеми для точки К-5

$$I_{\text{ПОС}} = \frac{1}{9,82} \cdot 15,6 = 1,589 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{ПОГ1,2}} = \frac{1,13}{6,1} \cdot 15,6 = 2,89 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{ПОГ3,4}} = \frac{1,13}{5,82} \cdot 15,6 = 3,029 \text{ (кА)}.$$

К-6. Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ К<sub>6</sub>, приведемо цю схему до найбільш простого вигляду (рисунок 2.13).

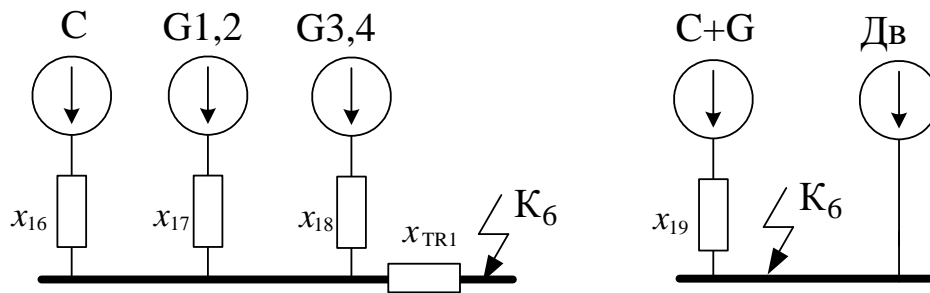


Рисунок 2.13 – Спрощення заступної схеми для точки К-6

$$x_{19} = \frac{x_{16} \cdot x_{17} \cdot x_{18}}{x_{16} \cdot x_{17} + x_{16} \cdot x_{18} + x_{17} \cdot x_{18}} + x_{TR1};$$

$$x_{19} = \frac{9,82 \cdot 6,1 \cdot 5,82}{9,82 \cdot 6,1 + 9,82 \cdot 5,82 + 6,1 \cdot 5,82} + 3,78 = 6,07;$$

$$I_{ПОР+G} = \frac{1 \cdot 91,64}{6,07} = 15,097 \text{ (кА)};$$

$$I_{ПОД} = 4 \cdot \Sigma P_{НОМ} / U_{НОМ};$$

$$I_{ПОД} = 4 \cdot (1,25 \cdot 53,04) / (6 \cdot 2) = 22,1 \text{ (кА)}.$$

К-7. Складаємо розрахункову схему, враховуючи тільки елементи, які мають вплив на точку КЗ К7, приведемо цю схему до найбільш простого вигляду (рисунок 2.14).

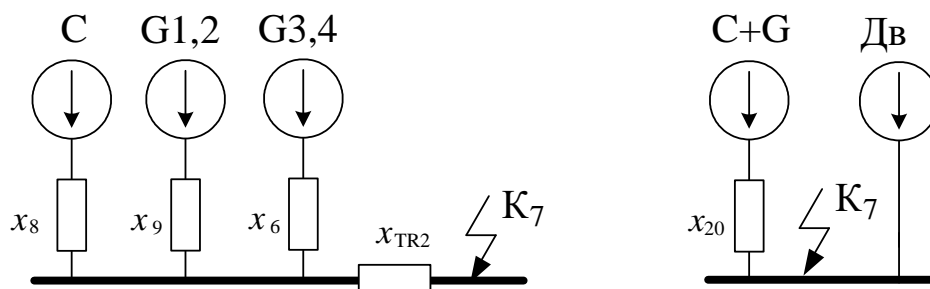


Рисунок 2.14 – Спрощення заступної схеми для точки К-7

$$x_{20} = \frac{x_8 \cdot x_9 \cdot x_6}{x_8 \cdot x_9 + x_8 \cdot x_6 + x_9 \cdot x_6} + x_{TR2};$$

$$x_{20} = \frac{1,4 \cdot 0,87 \cdot 0,83}{1,4 \cdot 0,87 + 1,4 \cdot 0,83 + 0,87 \cdot 0,83} + 3,125 = 3,45;$$

$$I_{\text{ПОС+G}} = \frac{1 \cdot 91,64}{3,45} = 26,562 \text{ (кА)}.$$

Для подальших розрахунків в колі ВП залишаємо точку К-7.

Визначимо складові струмів КЗ для розрахункового часу  $\tau$  [2]:

$$\left. \begin{aligned} & \text{- періодичну: } I_{\text{п},\tau} = \gamma_{\text{п},\tau} \cdot I_{\text{п},0}; \\ & \text{- аперіодичну: } i_{\text{а},\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п},0} \cdot e^{-\tau/T_{\text{а}}}; \\ & \text{- ударний струм: } i_{\text{у}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у}} \cdot I_{\text{п},0}; \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

де  $t_{\text{ВВ}}$  – власний час вимикання вимикача, с:  $\tau = t_{\text{ВВ}} + 0,01$ ;

Попередньо приймаємо вимикачі [2] (таблиця 2.14).

Таблиця 2.14 – Попередній вибір вимикачів

| Місце<br>встановлення | Тип<br>вимикача | $t_{\text{ВВ}}$ , с |
|-----------------------|-----------------|---------------------|
| ВРУ 330 кВ            | ВГБ-330У1       | 0,035               |
| ВРУ 110 кВ            | ВГБУ-110У1      | 0,035               |
| НН АТЗ 35 кВ          | ВР35НС          | 0,04                |
| РУВП                  | ВР-6            | 0,04                |

Визначимо значення коефіцієнтів  $\gamma_{\text{п},\tau}$  для генераторних віток за методикою, викладеною в [2, 3]:

$K_1$ : а)  $G_{1,2}$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 889}{\sqrt{3} \cdot 340} = 3,02 \text{ (кА)};$$

$$\frac{I_{\text{ПО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{10,672}{3,02} = 3,5; \text{ з [2, рис. 4.2]: } \gamma_{\text{п},\tau} = 0,92.$$

б)  $G_{3,4}$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 188}{\sqrt{3} \cdot 340} = 0,638 (\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{НО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{1,537}{0,638} = 2,4; \text{ з [2, рис. 4.2]: } \gamma_{\text{н},\tau} = 0,95.$$

К<sub>2</sub>: а)  $G_{1,2}$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 889}{\sqrt{3} \cdot 115} = 8,926 (\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{НО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{6,52}{8,926} = 0,73; \quad \gamma_{\text{н},\tau} = 1.$$

б)  $G_{3,4}$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 188}{\sqrt{3} \cdot 115} = 1,888 (\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{НО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{6,834}{1,888} = 3,6; \quad \gamma_{\text{н},\tau} = 0,92.$$

К<sub>3</sub>: а)  $G_1$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{889}{\sqrt{3} \cdot 24} = 21,386 (\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{НО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{110,74}{21,389} = 5,2; \quad \gamma_{\text{н},\tau} = 0,87.$$

б)  $G_2$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = 21,386 (\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{НО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{41,746}{21,386} = 1,95; \quad \gamma_{\text{н},\tau} = 0,96.$$

в)  $G_{3,4}$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 188}{\sqrt{3} \cdot 24} = 9,045 (\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{НО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{12,025}{9,045} = 1,3; \quad \gamma_{\text{н},\tau} = 0,97.$$

К<sub>4</sub>: а)  $G_4$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{188}{\sqrt{3} \cdot 18} = 6,03(\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{ПО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{31,985}{6,03} = 5,3; \quad \gamma_{\text{п},\tau} = 0,87.$$

б)  $G_{1,2}$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 889}{\sqrt{3} \cdot 18} = 57,03(\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{ПО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{18,12}{57,03} = 0,3 < 1; \quad \gamma_{\text{п},\tau} = 1.$$

в)  $G_3$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = 6,03(\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{ПО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{9,512}{6,03} = 1,6; \quad \gamma_{\text{п},\tau} = 0,97.$$

к<sub>5</sub>: а)  $G_{1,2}$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 889}{\sqrt{3} \cdot 37} = 27,744(\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{ПО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{2,89}{27,744} = 0,1 < 1; \quad \gamma_{\text{п},\tau} = 1.$$

б)  $G_{3,4}$ :

$$I'_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 188}{\sqrt{3} \cdot 37} = 5,87(\text{кА});$$

$$\frac{I_{\text{ПО}}}{I'_{\text{НОМ}}} = \frac{3,029}{5,87} = 0,52; \quad \gamma_{\text{п},\tau} = 1.$$

Результати розрахунку струмів КЗ для всіх точок зводимо в табл. 2.16.

Визначимо складові струму КЗ від двигунів власних потреб [2]:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{п},\tau,\text{Д}} &= I_{\text{п},\text{о},\text{Д}} \cdot e^{-\tau/0,07} \\ i_{\text{ат},\text{Д}} &= \sqrt{2} \cdot I_{\text{п},\text{о},\text{Д}} \cdot e^{-\tau/0,04} \\ i_{\text{у},\text{Д}} &= \sqrt{2} \cdot K_{\text{у},\text{Д}} \cdot I_{\text{п},\text{о},\text{Д}} \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

$$I_{п,τ,Д} = 22,1 \cdot e^{-0,05/0,07} = 10,819 \text{ кА};$$

$$i_{ат,Д} = \sqrt{2} \cdot 22,1 \cdot e^{-0,05/0,04} = 8,953 \text{ кА};$$

$$i_{у,Д} = \sqrt{2} \cdot 1,65 \cdot 22,1 = 51,562 \text{ кА}.$$

Таблиця 2.15 – Таблиця даних для розрахунку струмів КЗ

| Точка КЗ                                    | Джерела струмів КЗ | $\tau$ , с | $k_y$ | $T_a$ , с | $e^{-\tau/T_a}$ | $\gamma_{п.τ}$ |
|---|--------------------|------------|-------|-----------|-----------------|----------------|
| К <sub>1</sub><br>шини 330 кВ               | система            | 0,045      | 1,780 | 0,04      | 0,325           | 1              |
|   | Г1,2               |            | 1,967 | 0,3       | 0,861           | 0,9            |
|   | Г3,4               |            | 1,955 | 0,26      | 0,841           | 0,95           |
| К <sub>2</sub><br>шини 110 кВ               | система            | 0,045      | 1,608 | 0,02      | 0,105           | 1              |
|   | Г1,2               |            | 1,967 | 0,3       | 0,861           |                |
|   | Г3,4               |            | 1,955 | 0,26      | 0,841           | 0,9            |
| К <sub>3</sub><br>генератор Г1              | система            | 0,045      | 1,780 | 0,04      | 0,325           | 1              |
|   | Г2                 |            | 1,967 | 0,3       | 0,861           | 0,96           |
|   | Г3,4               |            | 1,955 | 0,26      | 0,841           | 0,97           |
|   | Г1                 |            | 1,97  | 0,33      | 0,873           | 0,87           |
| К <sub>4</sub><br>генератор Г4              | система            | 0,045      | 1,780 | 0,04      | 0,325           | 1              |
|   | Г1,2               |            | 1,967 | 0,3       | 0,861           | 1              |
|   | Г3                 |            | 1,955 | 0,26      | 0,841           | 0,97           |
|   | Г4                 |            | 1,963 | 0,267     | 0,845           | 0,87           |
| К <sub>5</sub><br>НН АТЗ 35 кВ              | система            | 0,05       | 1,780 | 0,04      | 0,287           | 1              |
|   | Г1,2               |            | 1,977 | 0,3       | 0,846           | 1              |
|   | Г3,4               |            | 1 955 | 0,26      | 0,825           | 1              |
| К <sub>6</sub> , К <sub>7</sub><br>НН ПРТВП | система+Г          | 0,05       | 1,846 | 0,06      | 0,435           | 1              |
|   | Д                  |            | 1,650 | 0,04      | 0,287           | –              |

Таблиця 2.16 – Таблиця результатів розрахунку струмів КЗ

| Точка КЗ                                     | Джерела струмів КЗ | $I_{по}, \text{кА}$ | $i_y, \text{кА}$ | $i_{ат}, \text{кА}$ | $I_{пт}, \text{кА}$ | Примітка                 |
|--|--------------------|---------------------|------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| К <sub>1</sub><br>шини 330<br>кВ             | Система            | 5,822               | 14,653           | 2,673               | 5,822               | Ком.апаратура<br>та шини |
|  | Г1,2               | 10,672              | 29,683           | 12,989              | 9,818               |                          |
|  | Г3,4               | 1,537               | 4,248            | 1,828               | 1,460               |                          |
|  | Сума               | 18,031              | 48,585           | 17,489              | 17,100              |                          |
| К <sub>2</sub><br>шини 110<br>кВ             | Система            | 3,586               | 8,153            | 0,534               | 3,586               | Ком.апаратура<br>та шини |
|  | Г1,2               | 6,520               | 18,135           | 7,935               | 6,520               |                          |
|  | Г3,4               | 6,834               | 18,893           | 8,128               | 6,288               |                          |
|  | Сума               | 16,940              | 45,181           | 16,598              | 16,394              |                          |
| К <sub>3</sub><br>генератор<br>Г1<br>800 МВт | Система            | 45,377              | 114,211          | 20,831              | 45,377              |                          |
|  | Г2                 | 41,746              | 116,109          | 50,806              | 40,076              |                          |
|  | Г3,4               | 12,025              | 33,242           | 14,301              | 11,664              |                          |
|  | Сума (без Г1)      | 99,148              | 263,562          | 85,938              | 97,118              | Ком.апарат.              |
|  | Г1                 | 110,474             | 307,733          | 136,297             | 96,112              |                          |
|  | Повна сума         | 209,622             | 571,295          | 222,235             | 193,230             | Шини                     |
| К <sub>4</sub><br>генератор<br>Г4<br>160 МВт | Система            | 9,960               | 25,068           | 4,572               | 9,960               |                          |
|  | Г1,2               | 18,120              | 50,397           | 22,052              | 18,120              |                          |
|  | Г3                 | 9,512               | 26,294           | 11,312              | 9,226               |                          |
|  | Сума (без Г4)      | 37,591              | 101,758          | 37,936              | 37,305              |                          |
|  | Г4                 | 31,985              | 88,780           | 38,212              | 27,827              |                          |
|  | Повна сума         | 69,576              | 190,538          | 76,148              | 65,132              |                          |
| К <sub>5</sub><br>НН АТЗ<br>35 кВ            | Система            | 1,589               | 3,998            | 0,644               | 1,589               |                          |
|  | Г1,2               | 2,890               | 8,038            | 3,459               | 2,890               |                          |
|  | Г3,4               | 3,029               | 8,373            | 3,534               | 3,029               |                          |
|  | Сума               | 7,507               | 20,409           | 7,636               | 7,507               |                          |
| К <sub>6</sub><br>НН<br>ПРТВП2               | Г + С              | 15,097              | 39,407           | 9,278               | 15,097              | Ком.апарат.              |
|  | Д                  | 22,100              | 51,562           | 8,953               | 10,819              |                          |
|  | Сума               | 37,197              | 90,969           | 18,231              | 25,916              | Шини                     |
| К <sub>7</sub><br>НН<br>ПРТВП1               | Г + С              | 26,562              | 69,334           | 16,323              | 26,562              | Ком.апарат.              |
|  | Д                  | 22,100              | 51,562           | 8,953               | 10,819              |                          |
|  | Сума               | 48,662              | 120,896          | 25,276              | 37,381              | Шини                     |

## 2.7 Визначення максимальних струмів приєднань та імпульсів

### квадратичного струму

ВРУ-330 кВ.

Максимальні струми [2]:

$$I_{\max W} = \frac{P_{\text{гр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi}; \quad (2.28)$$

$$I_{\max \text{ БТ}} = \frac{S_{\text{Г.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot 0,95}; \quad (2.29)$$

$$I_{\max \text{ АТЗ}} = 1,5 \cdot \frac{S_{\text{АТЗ.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}; \quad (2.30)$$

$$I_{\max W} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 330 \cdot 0,85} = 824,3 \text{ А};$$

$$I_{\max \text{ БТ1}} = \frac{888,9 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 330 \cdot 0,95} = 1637,2 \text{ А};$$

$$I_{\max \text{ АТЗ}} = 1,5 \cdot \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 330} = 328 \text{ А}.$$

Імпульс квадратичного струму:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п,о}}^2 \cdot (t_{\text{вим.}} + T_{\text{а}}). \quad (2.31)$$

$$B_{\text{к}} = 18,031^2 \cdot (0,2 + 0,3) = 162,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де  $t_{\text{вим.}}$  – час вимикання КЗ, с;

ВРУ-110 кВ.

Максимальні струми:

$$I_{\max W} = \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,8} = 328 \text{ А};$$

$$I_{\max \text{ БТ2}} = \frac{188 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,95} = 1039 \text{ А};$$

$$I_{\max \text{ АТЗ}} = 1,5 \cdot \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 984,1 \text{ А};$$



$$I_{\max TR2} = \frac{53040}{\sqrt{3} \cdot 110} = 278,4 \text{ А.}$$

$$B_k = 16,94^2 \cdot (0,2 + 0,3) = 143,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Сторона НН АТЗ:

Максимальний струм:

$$I_{\max} = \frac{53040}{\sqrt{3} \cdot 35} = 875 \text{ А;}$$

Імпульс квадратичного струму

$$B_k = 7,507^2 \cdot (0,2 + 0,3) = 28,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Генератор ТВВ-160-2ЕУЗ.

Максимальні струми

$$I_{\max G} = \frac{I_{Г.НОМ}}{0,95}; \quad (2.32)$$

$$I_{\max G4} = \frac{5670}{0,95} = 5968 \text{ А;}$$

$$I_{\max ТВП} = \frac{8160}{\sqrt{3} \cdot 18} = 261,7 \text{ А;}$$

Імпульс квадратичного струму [2]:

$$B_k = B_{кп} + B_{ка} = \left( I_c^2 \cdot B_{*пг} + I_{п,о,г}^2 + 2 \cdot I_c \cdot T_* \cdot I_{п,о,г} \right) \cdot t_{вим} + \left( I_c^2 \cdot T_{a,c} + I_{п,о,г}^2 \cdot T_{a,г} + \frac{4 \cdot I_c \cdot I_{п,о,г}}{1/T_{a,c} + 1/T_{a,г}} \right); \quad (2.33)$$

де  $I_c = 37,591$  кА;  $I_{п,о,г} = 31,985$  кА;  $B_{*пг} = 0,30$ ;  $T_* = 0,52$ ;  $t_{вим} = 4$  с;  
 $T_{а,г} = 0,267$  с;  $T_{а,с} = 0,3$  с;

$$B_k = (37,591^2 + 0,3 \cdot 31,985^2 + 2 \cdot 37,591 \cdot 0,52 \cdot 31,985) \cdot 4 + \\ + \left( 37,591^2 \cdot 0,3 + 31,985^2 \cdot 0,267 + \frac{4 \cdot 37,591 \cdot 31,985}{1/0,3 + 1/0,267} \right) = 13258,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Генератор ТВВ-800-2ЕУ3.

$$I_{\max G1} = \frac{21400}{0,95} = 22526,3 \text{ А};$$

$$I_{\max ТВП} = \frac{40800}{\sqrt{3} \cdot 24} = 981 \text{ А};$$

$$B_k = (99,148^2 + 0,3 \cdot 110,474^2 + 2 \cdot 99,148 \cdot 0,52 \cdot 110,474) \cdot 4 + \\ + \left( 99,148^2 \cdot 0,3 + 110,474^2 \cdot 0,33 + \frac{4 \cdot 99,148 \cdot 110,474}{1/0,3 + 1/0,33} \right) = 113393,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

РУВП-6 кВ

Максимальні струми

$$I_{\max ТВП1,2} = \frac{40800}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 2} = 1963 \text{ А};$$

$$I_{\max ТВП3,4} = \frac{8160}{\sqrt{3} \cdot 6} = 785 \text{ А};$$

$$I_{\max TR1} = I_{\max TR2} = \frac{53040}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 2} = 2552 \text{ А};$$

Імпульс квадратичного струму [2, 6]:

$$W_k = I_{п,о,с}^2 \cdot (t_{вим} + T_{a,сх}) + I_{п,о,D}^2 \cdot (0,5 \cdot T'_D + T_{a,сх}) + 2 \cdot I_{п,о,D} \cdot I_{п,о,с} \cdot (T'_D + T_{a,сх}),$$

де

$$T_{a,сх} = \frac{T_{a,с} \cdot I_{п,о,с} + T_{a,D} \cdot I_{п,о,D}}{I_{п,о,с} + I_{п,о,D}}; \quad (2.34)$$

$$T_{a,сх} = \frac{0,06 \cdot 26,562 + 0,04 \cdot 22,1}{26,56 + 22,1} = 0,051 \text{ с};$$

$$W_k = 26,562^2 \cdot (0,3 + 0,051) + 22,1^2 \cdot (0,5 \cdot 0,07 + 0,051) + 2 \cdot 26,562 \cdot 22,1 \cdot (0,07 + 0,051) = 431,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

## 2.8 Вибір комутаційного обладнання

При виборі комутаційних апаратів перевіряється відповідність їх параметрів тривалим робочим і короткочасним аварійним режимам, які можуть виникнути при експлуатації.

Розглянемо вибір вимикачів та роз'єднувачів для ВРУ-330 кВ.

Вибираємо вимикач [2] типу ВГБ-330У1 на базі головних параметрів:

- за напругою установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ :  $330 \text{ кВ} = 330 \text{ кВ}$ ;
- за тривалим струмом:  $I_{роб.мах} \leq I_{ном}$ :  $1,637 \text{ кА} < 3,15 \text{ кА}$ .

Проводимо перевірку:

а) на здатність вимикача до відключення:

$$i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відк} \cdot \beta_n / 100, \quad (2.35)$$

де  $\beta_n$  – нормативне значення наявності аперіодичної складової у струмі, що відключає, яке визначається з [2], або дається в довіднику [2]:  $\beta_n = 0,35$ .

$$17,489 \text{ кА} < \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 0,35 = 19,8 \text{ кА}. \quad (2.36)$$

умова виконується.

б) на симетричний струм відключення:

$$I_{п\tau} \leq I_{від.ном}; \quad (2.37)$$

$17,1 < 40$  кА, – умова виконується.

в) на електродинамічну стійкість:

$$I_{п0} \leq I_{дин}; \quad i_y \leq i_{дин}, \quad (2.38)$$

де  $I_{дин}$  – діюче значення періодичної складової граничного струму КЗ [2];

$i_{дин}$  – найбільший пік (струм електродинамічної стійкості) [2].

$$I_{п0} = 18,031 \text{ кА} < I_{дин} = 40 \text{ кА};$$

$$i_y = 48,585 \text{ кА} < i_{дин} = 102 \text{ кА},$$

умови виконуються.

г) на термічну стійкість:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T; \quad (2.39)$$

де  $I_T$  – середнє квадратичне значення струму за час його протікання по каталогу [2];

$t_T$  – тривалість протікання струму термічної стійкості за каталогом [2].

$$162,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad \text{умова виконується.}$$

Вибираємо роз'єднувач [2]: РП-330-1/3200 УХЛ1:

– за напругою установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$330 \text{ кВ} = 330 \text{ кВ};$$

– за тривалим струмом:

$$I_{роб. макс} \leq I_{ном};$$

$$1,637 \text{ кА} < 3,2 \text{ кА}.$$

Проводимо перевірку:

- на електродинамічну стійкість:

$$i_y \leq i_{\text{дин}};$$

$$48,585 \text{ кА} < 160 \text{ кА};$$

- на термічну стійкість:

$$W_k \leq I_T^2 \cdot t_T;$$

$$162,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

всі умови виконуються.

Таблиця 2.17 – Розрахункові та каталожні значення вимикачів і роз'єднувачів

| Розрахункові дані  | Каталожні дані   |  |
|--|--|--|
|  | ВГБ-330У1  | РП-330-1/3200 УХЛ1   |
| $U_{\text{уст}} = 330 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{мах}} = 1637 \text{ А}$<br>$I_{\text{пт}} = 17,1 \text{ кА}$<br>$i_{\text{ат}} = 17,489 \text{ кА}$<br>$I_{\text{по}} = 18,031 \text{ кА}$<br>$i_y = 48,585 \text{ кА}$<br>$W_k = 162,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$  | $U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$<br>$I_{\text{вим.ном}} = 40 \text{ кА}$<br>$i_{\text{а,ном}} = 19,8 \text{ кА}$<br>$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$<br>$i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$<br>$I_T^2 \cdot t_T = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$                              | $U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{ном}} = 3200 \text{ А}$<br>-<br>-<br>$i_{\text{дин}} = 160 \text{ кА}$<br>$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$   |
| Розрахункові дані  | ВГБУ-220У1   | РНДЗ.1-110/2000 У1   |
| $U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{мах}} = 1039 \text{ А}$<br>$I_{\text{пт}} = 16,394 \text{ кА}$<br>$i_{\text{ат}} = 16,598 \text{ кА}$<br>$I_{\text{по}} = 16,94 \text{ кА}$<br>$i_y = 45,181 \text{ кА}$<br>$W_k = 143,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ кА}$<br>$I_{\text{вим.ном}} = 40 \text{ кА}$<br>$i_{\text{а,ном}} = 19,8 \text{ кА}$<br>$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$<br>$i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$<br>$I_T^2 \cdot t_T = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$                             | $U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$<br>-<br>-<br>$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$<br>$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 4 = 3969 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |
| Розрахункові дані  | Каталожні дані   |  |
|  | ВБНК-35  | РНДЗ.1-35/1000У1   |
| $U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{мах}} = 875 \text{ А}$<br>$I_{\text{пт}} = 7,507 \text{ кА}$<br>$i_{\text{ат}} = 7,636 \text{ кА}$<br>$I_{\text{по}} = 7,507 \text{ кА}$<br>$i_y = 20,409 \text{ кА}$<br>$W_k = 28,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$      | $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ кА}$<br>$I_{\text{вим.ном}} = 25 \text{ кА}$<br>$i_{\text{а,ном}} = \sqrt{2} \cdot 0,23 \cdot 25 = 8,1 \text{ кА}$<br>$I_{\text{дин}} = 25 \text{ кА}$<br>$i_{\text{дин}} = 81 \text{ кА}$<br>$I_T^2 \cdot t_T = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$<br>$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$<br>-<br>-<br>$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$<br>$I_T^2 \cdot t_T = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$     |
| Розрахункові дані  | ВРС-6 (комірка КРУ типу КУ-6С)   |  |

|   |   |
|---|---|
| $U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$           | $U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$                                     |
| $I_{\text{max}} = 2552 \text{ А}$         | $I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$                                   |
| $I_{\text{пт}} = 26,562 \text{ кА}$       | $I_{\text{вим.ном}} = 40 \text{ кА}$                                |
| $i_{\text{ат}} = 18,231 \text{ кА}$       | $i_{\text{а,ном}} = \sqrt{2} \cdot 0,35 \cdot 40 = 19,8 \text{ кА}$ |
| $I_{\text{по}} = 26,562 \text{ кА}$       | $I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$                                    |
| $i_y = 69,334 \text{ кА}$                 | $i_{\text{дин}} = 128 \text{ кА}$                                   |
| $B_k = 431,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_T^2 \cdot t_T = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$                |

В колі генератора ТВВ-800-2 встановлюємо вимикач навантаження типу КАГ-24-30/30000УЗ:  $U_{\text{ном}} = 24 \text{ кВ}$ ;  $I_{\text{ном}} = 30 \text{ кА}$ ;  $I_{\text{ном.відкл}} = 30 \text{ кА}$ ;  $i_{\text{дин}} = 500 \text{ кА}$ ;  
 $I_T / t_T = 190 / 3 \text{ кА/с}$ .

## 2.9 Вибір струмоведучих частин

Вибір збірних шин 330 кВ.

$$I_{\text{max}} = 1637,2 \text{ А};$$

$$I_{\text{п.0}} = 18,031 \text{ кА} < 20 \text{ кА};$$

$$i_y = 48,585 \text{ кА} < 50 \text{ кА}.$$

Оскільки збірні шини за економічною густиною струму не вибираються, приймаємо переріз за допустимим струмом при максимальному навантаженні на шинах, рівному струму найбільш потужного приєднання.

Згідно [4] вибираємо провід 2хАС 500/26 (2 на фазу).

$$I_{\text{доп}} = 860 \text{ А}; q = 502 \text{ мм}^2; d = 30 \text{ мм}; r_0 = 1,5 \text{ см}.$$

Перевірка за допустимим струмом:

$$I_{\text{max}} = 1637,2 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 2 \cdot 860 = 1720 \text{ А}.$$

Перевірка за умовою відсутності корони:

Початкова критична напруженість електричного поля, кВ/см:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right); \quad (2.40)$$

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,5}} \right) = 30,915 \text{ (кВ/см)};$$

де  $m$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість поверхні проводу (для багатодровових проводів  $m = 0,82$ );

$r_0$  – радіус проводу.

Напруженість електричного поля біля розщеплених проводів:

$$E = K \cdot \frac{0,354 \cdot U_{\max}}{n \cdot r_0 \cdot \lg \frac{D_{\text{cp}}}{r_{\text{ек}}}}, \quad (2.41)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує кількість проводів  $n$  в фазі [2];

$r_{\text{ек}}$  – еквівалентний радіус розщеплених проводів у фазі [2];

$D_{\text{cp}}$  – середня геометрична відстань між проводами фаз.

$$K = 1 + 2 \cdot \frac{r_0}{a}; \quad (2.42)$$

$$K = 1 + 2 \cdot \frac{1,5}{40} = 1,075 ,$$

$$r_{\text{ек}} = \sqrt{r_0 \cdot a} ; \quad (2.43)$$

$$r_{\text{ек}} = \sqrt{1,5 \cdot 40} = 7,746 \text{ см.}$$

$$D_{\text{cp}} = 1,26 \cdot D ; \quad (2.44)$$

$$D_{\text{cp}} = 1,26 \cdot 450 = 567 \text{ см,}$$

де  $D$  – відстань між фазами [2];

$$U_{\max}^{330} = 363 \text{ кВ.}$$

$$E = 1,075 \cdot \frac{0,354 \cdot 363}{2 \cdot 1,5 \cdot 1g \frac{567}{7,746}} = 23,133 \text{ (кВ/см)}.$$

$0,9 \cdot 30,915 = 27,823 \text{ кВ/см} > 1,07 \cdot 23,133 = 24,753 \text{ кВ/см} \Rightarrow$  умова виконується.

Таким чином, провід АС-500/26 за умовою корони проходить.

Перевірка на схрещування не проводиться, оскільки  $I_{п.0} < 20 \text{ кА}$ ;

$i_y < 50 \text{ кА}$ .

б) відгалуження до блочного трансформатора БТ1:

Економічний переріз:

$$q_e = \frac{I_{\text{норм}}}{J_e},$$

де  $I_{\text{норм}}$  – струм нормального режиму, А;

$J_e = 1$  – економічна густина струму, А/мм<sup>2</sup>.

$$I_{\text{норм}} = 0,95 \cdot 1637,2 = 1555,3 \text{ (А)};$$

$$q_e = \frac{1555,3}{1,0} = 1555,3 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

За економічним перерізом приймаємо два проводи марки 2хАС 800/105.

в) відгалуження до автотрансформатора зв'язку:

$$q_e = \frac{328/1,5}{1,0} = 219 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Приймаємо два проводи марки АС-500/26.

Вибір збірних шин 110 кВ



$$I_{\max} = 1039 \text{ A};$$

$$I_{п.0} = 16,94 \text{ кА} < 20 \text{ кА};$$

$$i_y = 45,181 \text{ кА} < 50 \text{ кА}.$$

Вибираємо шини з проводу  $2 \times \text{АС } 185/29$ :

$$I_{\text{доп}} = 510 \text{ A}; d = 18,8 \text{ мм}.$$

Перевірка за допустимим струмом:

$$I_{\text{доп}} = 2 \cdot 520 = 1040 (\text{A}) > I_{п.\max} = 1039 (\text{A}).$$

Перевірка шин за умовою відсутності корони:

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{0,94}} \right) = 32,508 \text{ (кВ/см)}.$$

Напруженість електричного:

$$U_{\max} = 121 \text{ кВ};$$

$$D_{\text{ср}} = 1,26 \cdot 300 = 378 \text{ (см)};$$

$$a = 20 \text{ см для ВРУ-110 кВ};$$

$$K = 1 + 2 \frac{0,94}{20} = 1,094;$$

$$r_{\text{ек}} = \sqrt{0,94 \cdot 20} = 4,336 \text{ (см)};$$

$$E = 1,094 \cdot \frac{0,354 \cdot 121}{2 \cdot 0,94 \cdot \lg \frac{378}{4,336}} = 12,846 \text{ (кВ/см)}.$$

$$0,9 \cdot 32,508 = 29,258 \text{ (кВ/см)} > 1,07 \cdot 12,846 = 13,745 \text{ (кВ/см)},$$

Таким чином, обраний провід  $2 \times \text{АС } 185/29$  за умовою корони проходить.

Перевірка на схрещування не проводиться, оскільки  $I_{п.0} < 20 \text{ кА}$ ;

$$i_y < 50 \text{ кА}.$$

б) відгалуження до блочного трансформатора БТ2:

$$I_{\text{норм}} = 0,95 \cdot 1039 = 987 \text{ (А)};$$

$$q_e = \frac{987}{1,0} = 987 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Приймаємо два проводи марки  $2 \times \text{АС } 500/26$  [3]:

$$I_{\text{доп}} = 960 \text{ А}; d = 30 \text{ мм}.$$

в) відгалуження до автотрансформатора зв'язку:

$$q_e = \frac{984,1/1,5}{1} = 656 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Приймаємо провід марки АС 650/79:  $d = 34,7$  мм.

г) відгалуження до ТР2:

$$q_e = \frac{278,4}{1,0} = 278,4 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Приймаємо провід марки АС 300/39:  $I_{\text{доп}} = 710$  А;  $d = 24$  мм.

Вибір комплектних екранованих струмопроводів.

Коло генератора 800 МВт

а) в основному колі типу ТЭКНП-24-24000-560У1:

$$U_{\text{уст}} = 24 \text{ кВ} \leq U_{\text{ном}} = 24 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{max}} = 22,526 \text{ кА} < I_{\text{ном}} = 24 \text{ кА};$$

$$i_y = 307,733 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 560 \text{ кА}.$$

Коло генератора 160 МВт

а) в основному колі типу ТЭКНЕ-20/11200-300У1:

$$U_{\text{уст}} = 18 \text{ кВ} \leq U_{\text{ном}} = 20 \text{ кВ};$$

$$I_{\max} = 5,968 \text{ кА} < I_{\text{НОМ}} = 11,2 \text{ кА};$$

$$i_y = 101,758 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 300 \text{ кА}.$$

Вибір закритого струмопроводу в колі ТВП (6кВ)

Вибираємо струмопровід ТЗК-10-3200-125

$$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ} \leq U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\max} = 2,552 \text{ кА} < I_{\text{НОМ}} = 3,2 \text{ кА};$$

$$i_y = 120,896 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 125 \text{ кА}.$$

Вибір кабелів.

Залежно від місця прокладання, властивостей середовища, механічних зусиль, які діють на кабель, рекомендуються різні марки кабелів. Обираємо кабель до електродвигуна циркуляційного насосу типу ВАН143/51-10У3 [5]:

$$U_{\text{НОМ}} = 6 \text{ (кВ)};$$

$$P_{\text{НОМ}} = 1250 \text{ (кВт)};$$

$$\cos\varphi_{\text{НОМ}} = 0,827;$$

$$I_{\text{НОМ}} = 154 \text{ (А)};$$

$$n_{\text{НОМ}} = 593 \text{ об/хв};$$

$$K_{\text{п}} = 4,2.$$

Кабель прокладається у вологому приміщенні в каналі:

$$v_0 = 35^{\circ} \text{ С}; \quad T_{\max} = 3500 \text{ (год)};$$

Приймаємо кабель марки ААШВ, 6 кВ, трижильний.

Економічний переріз:

$$q_{\text{ск}} = 154/1,4 = 110 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Приймаємо кабель  $3 \times 120 \text{ (мм}^2\text{)}$ ,  $I_{\text{доп.НОМ}} = 190 \text{ (А)}$ , поправний коефіцієнт на температуру повітря  $K_2 = 0,87$ , тоді

$$I_{\text{доп}} = 0,87 \cdot 190 = 165,3(\text{A}) > I_{\text{ном}} = 154(\text{A}).$$

Перевірка на термічну стійкість:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C}; \quad (2.45)$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{431,5 \cdot 10^6}}{98} = 212(\text{мм}^2) > q = 120(\text{мм}^2).$$

Приймаємо кабель перерізом 240 мм<sup>2</sup>,  $I_{\text{доп.ном}} = 290(\text{A})$ .

## 2.10 Вибір вимірювальних трансформаторів

Вибираємо вимірювальні трансформатори струму (ТС) та напруги (ТН) в колі ЛЕП-330 кВ (таблиця 2.18).

Таблиця 2.18 – Розрахункові та каталожні дані ТС типу ТВ-330

| Розрахункові дані                                  | Каталожні дані  |
|--|---|
| $U_{\text{уст.}} = 330 \text{ кВ}$                 | $U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$   |
| $I_{\text{max}} = 824,3 \text{ А}$                 | $I_{\text{ном}} = 3000 \text{ А}$   |
| $i_{\text{y}} = 48,585 \text{ кА}$                 | $i_{\text{дин}} = 75 \text{ кА}$  |
| $B_{\text{к}} = 162,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |
| $r_2 = 7,8 \text{ Ом}$                             | $r_{2\text{ном}} = 20 \text{ Ом}$   |

Приймаємо: 1)  $I_{2\text{ном}} = 1 \text{ А}$ ;

2) 0,2/10Р;

3) схема з'єднань «повна зірка»;

4)  $I_{\text{розр}} = 150 \text{ м}$ .

Таблиця 2.19 – Вторинне навантаження ТС

| №      | Назва приладу                | Тип     | Навантаження фази, В·А |     |     |
|--------|------------------------------|---------|------------------------|-----|-----|
|        |                              |         | А                      | В   | С   |
| 1      | Амперметр                    | Э-335   | 0,5                    | 0,5 | 0,5 |
| 2      | Ватметр                      | Д-335   | 0,5                    | -   | 0,5 |
| 3      | Варметр                      | Д-335   | 0,5                    | -   | 0,5 |
| 4      | Датчик активної потужності   | Е-829   | 1,0                    | -   | 1,0 |
| 5      | Датчик реактивної потужності | Е-830   | 1,0                    | -   | 1,0 |
| 65     | Лічильник активної енергії   | САЗИ680 | 2,5                    | -   | 2,5 |
| РАЗОМ: |                              |         | 6,0                    | 0,5 | 6,0 |

Загальний опір приладів [2]:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2\text{ном}}^2}; \quad (2.46)$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{6}{1^2} = 6 \text{ Ом};$$

Допустимий опір проводів:

$$r_{\text{пр}} = r_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}}; \quad (2.47)$$

$$r_{\text{пр}} = 20 - 6 - 0,1 = 13,9 \text{ Ом};$$

Розрахунковий переріз проводів:

$$q_{\text{розр}} = \rho \cdot \frac{I_{\text{розр}}}{r_{\text{п}}}; \quad (2.48)$$

$$q_{\text{розр}} = 0,0283 \cdot \frac{150}{13,9} = 0,31 \text{ мм}^2;$$

За умовою механічної міцності приймаємо контрольний кабель марки АКРВГ з жилами 2,5 мм<sup>2</sup>.

Вторинне навантаження:

$$r_2 = \frac{0,0283 \cdot 150}{2,5} + 6 + 0,1 = 7,8 \text{ Ом} < r_{2\text{НОМ}} = 20 \text{ Ом.}$$

Встановлюємо трансформатор напруги типу НКФ-330-83У1:

$$U_{1\text{НОМ}} = \frac{330000}{\sqrt{3}} \text{ В}; U_{2\text{НОМ}} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ В}; U_{2\text{ДОД}} = 100 \text{ В}; S_{2\text{НОМ}} = 400 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Вторинне навантаження:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{33^2 + 9,72^2} = 34,4 < S_{2\text{НОМ}} = 3 \cdot 400 = 1200 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Для з'єднання приладів з ТН використовуємо контрольний кабель марки АКРВГ перерізом 2,5 мм<sup>2</sup>.

Таблиця 2.20 – Вторинне навантаження ТН

| Прилад                     | Тип      | S <sub>обм.</sub> ,<br>В·А | n <sub>обм.</sub> ,<br>шт. | cosφ | sinφ  | n <sub>прил.</sub> ,<br>шт. | Загальна<br>потужність |           |
|----------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|------|-------|-----------------------------|------------------------|-----------|
|                            |          |                            |                            |      |       |                             | P, Вт                  | Q,<br>В·А |
| Ватметр                    | Д-335    | 1,5                        | 2                          | 1    | 0     | 1                           | 3                      | -         |
| Варметр                    | Д-335    | 1,5                        | 2                          | 1    | 0     | 1                           | 3                      | -         |
| Датчик активної енергії    | Е-829    | 10                         | -                          | 1    | 0     | 1                           | 10                     | -         |
| Датчик реактивної енергії  | Е-830    | 10                         | -                          | 1    | 0     | 1                           | 10                     | -         |
| Лічильник активної енергії | САЗ-И680 | 2 Вт                       | 2                          | 0,38 | 0,925 | 1                           | 4                      | 9,7       |
| Фіксууючий приклад         | ФИП      | 3                          | -                          | 1    | 0     | 1                           | 3                      | -         |
| РАЗОМ:                     |          |                            |                            |      |       |                             | 33                     | 9,72      |

## 2.11 Вибір розрядників та високочастотних загороджувачів

Для захисту від перенапруг встановлюємо на станції розрядники та

обмежувачі перенапруг:

|  |            |
|--|------------|
| 1. ЛЕП-330 кВ. сторона ВН АТЗ<br>та БТ1:           | ОПН-330У1; |
| 2. ЛЕП-110 кВ, сторона СН АТЗ,<br>та БТ2           | ОПН-110У1; |
| 3. Нейтраль блочних трансформаторів БТ2<br>та ТР2: | РВМ-35У1;  |
| 4. Сторона НН АТЗ                                  | РВМ-35У1;  |
| 5. Турбогенератор 800 МВт                          | РВМ-35У1;  |
| 6. Турбогенератор 160 МВт                          | РВМ-20У1;  |
| 7. РУВП  | РВРД-6У1.  |

Для забезпечення нормальної роботи зв'язку та пристроїв РЗА встановлюємо на ЛЕП високочастотні загороджувачі:

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| 1) ЛЕП-330 кВ ..... | ВЗ-1250-0,5У1 |
| 2) ЛЕП-110 кВ ..... | ВЗ-630-0,5У1  |

## 2.12 Вибір акумуляторних батарей

На КЕС акумуляторні батареї (АБ) є аварійними джерелами живлення систем безпеки, систем управління і захисту (СУЗ), аварійного освітлення, а також джерелом оперативного струму для пристроїв управління, автоматики, сигналізації і релейного захисту. Кількість і типи батарей визначаються у відповідності з вимогами НТП атомних електричних станцій [2].

Вихідні дані для розрахунку:

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| - номінальна напруга:                     | $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$ |
| - напруга на шинах:                       | $U_{\text{ш}} = 230 \text{ В}$   |
| - кількість основних елементів батареї:   | $n_o = 108$                      |
| - кількість додаткових елементів батареї: | $n_d = 22$                       |
| - загальна кількість елементів батареї:   | $n = 130$                        |
| - напруга на елементі в режимі підзаряду: | $U_{\text{пз}} = 2,15 \text{ В}$ |

- напруга на елементі в кінці розряду:  $U_p = 1,75 \text{ В}$

- напруга на елементі наприкінці заряджання  $U_3 = 2,75 \text{ В}$

Розрахунок навантаження акумуляторної батареї для генератора ТВВ-800 зведений в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Навантаження АБ (ТВВ-800)

| Електроприймач   | К-ть | $P_{\text{ном}}$ ,<br>кВт | $I_{\text{ном}}$ ,<br>А | $I_{\text{розр}}$ ,<br>А | $I_{\text{пуск}}$ ,<br>А | $I_{\text{ав}}$ ,<br>А | $I_{\text{т}}$ ,<br>А |
|--|------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Постійне навантаження                                    | —    | —                         | —                       | 35                       | —                        | 35                     | 35                    |
| Аварійне освітлення                                      | —    | —                         | —                       | 250                      | —                        | 250                    | —                     |
| Перетворювальний агрегат оперативного зв'язку            | 1    | 7,2                       | 38                      | 30                       | 100                      | 30                     | 30                    |
| Електродвигун аварійного маслонаосу ущільнень генератора | 1    | 25                        | 128                     | 120                      | 300                      | 300                    | -                     |
| Електродвигун аварійного маслонаосу змазки турбін        | 1    | 42                        | 216                     | 140                      | 540                      | 140                    | 140                   |
| Разом  |      |                           |                         |                          |                          | 1080                   | 1210                  |

Виходячи з тривалості аварійного навантаження визначимо типовий номер батареї

$$N = 1,05 \cdot I_{\text{ав}} / j, \quad (2.49)$$

де 1,05 – коефіцієнт, що враховує старіння акумуляторів;

$I_{\text{ав}}$  – струм півгодинного аварійного розряду, А;

$j = 25 \text{ А/Н}$  [2] – допустиме навантаження аварійного розряду, приведене до першого номера акумуляторів, в залежності від температури електроліту.

$$N = 1,05 \cdot 1080 / 25 = 45,36.$$

Перевіряємо по струму короткочасного аварійного навантаження:

$$N \geq I_{\text{т}} / 46, \quad (2.50)$$

$$N = 1210 / 46 = 26,3.$$



Приймаємо найближчий більший типовий номер [5]:  $N = 48$  (“Varta-48”).

Перевіряємо по допустимій напрузі в умовах аварійного короткочасного навантаження:

$$j_{\text{п}} = I_{\text{т}} / N, \quad (2.51)$$

де  $j$  – визначається по кривим [2] для основних елементів з умови забезпечення мінімально допустимої напруги на приводі вимикача  $85\% U_{\text{ном}}$ , з врахуванням падіння напруги в кабелі  $5\% U_{\text{ном}}$ .

$$j = 38 \text{ A/N} > j_{\text{п}} = \frac{2210}{48} = 46 \text{ A/N}.$$

Остаточно приймаємо для встановлення акумуляторну батарею “Varta-48”.

Підзарядний пристрій (ПЗП) вибираємо по розрахунковим значенням струму і напруги в нормальному режимі. Струм підзаряду приймаємо рівним  $0,15 \cdot N$  [2]; тоді розрахунковий струм ПЗП основних елементів батареї

$$I_{\text{пзп}} = I_{\text{пост}} + 0,15 \cdot N, \quad (2.52)$$

$$I_{\text{пзп}} = 70 + 0,15 \cdot 48 = 77,2 \text{ (A)},$$

де  $I_{\text{пост}}$  – струм постійно включеного навантаження (таблиця 12.1).

Розрахункова напруга підзарядного пристрою

$$U_{\text{пзп}} = U_{\text{пз}} \cdot n_0; \quad (2.53)$$

$$U_{\text{пзп}} = 2,15 \cdot 108 = 232,2 \text{ (В)}.$$

Вибираємо ПЗП типу ВАЗП-380/260-40/80.

Додаткові елементи в нормальному режимі навантаження не несуть. Тому розрахунковий струм і напруга підзарядного автоматичного пристрою додаткових

елементів

$$I_{\text{пзп дод}} = 0,05 \cdot N, \quad (2.54)$$

$$I_{\text{пзп дод}} = 0,05 \cdot 48 = 2,4 \text{ (А)},$$

$$U_{\text{пзп дод}} = U_{\text{пз}} \cdot n_{\text{дод}}, \quad (2.55)$$

$$U_{\text{пзп дод}} = 2,15 \cdot 22 = 47,3 \text{ (В)}.$$

Вибираємо автоматичний ПЗП типу АРН-3.

Розрахунковий струм і напруга зарядного пристрою:

$$I_{\text{зп}} = 70 + 5 \cdot 48 = 310 \text{ (А)},$$

$$U_{\text{зп}} = U_3 \cdot n = 2,75 \cdot 130 = 357,5 \text{ (В)}.$$

Вибираємо зарядний агрегат типу ТППС-800.

### 2.13 Розрахунок блискавкозахисту ВРУ-330 кВ

Для ВРУ-330 кВ приймаємо дворядну установку вимикачів. План розташування блискавковідводів подано на рисунку 2.15.

Параметри грозозахисту визначаються таким чином:

- радіус захисту блискавковідводу:

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25 \cdot h_x) \text{ при } 0 \leq h_x \leq 2/3 h; \quad (2.54)$$

- ширина зони захисту:

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) \text{ при } 0 \leq h_x \leq 2/3 h; \quad (2.55)$$

де

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2}; \quad (2.56)$$

$h$  – висота блискавковідводу, м;

$h_x$  – розрахункова висота, для якої визначається зона захисту, м;

$h_0$  – висота зони захисту в середині відстані між блискавковідводами, м;

$L$  – відстань між сусідніми блискавковідводами, м.

Вихідні дані :

а) висота блискавковідводу:  $h = 36$  м;

б) розрахункова висота, для якої визначаються зони захисту:  $h_x = 23$  м;

$$2/3 \cdot h = 2/3 \cdot 36 = 24 \text{ м} > h_x = 23 \text{ м.}$$

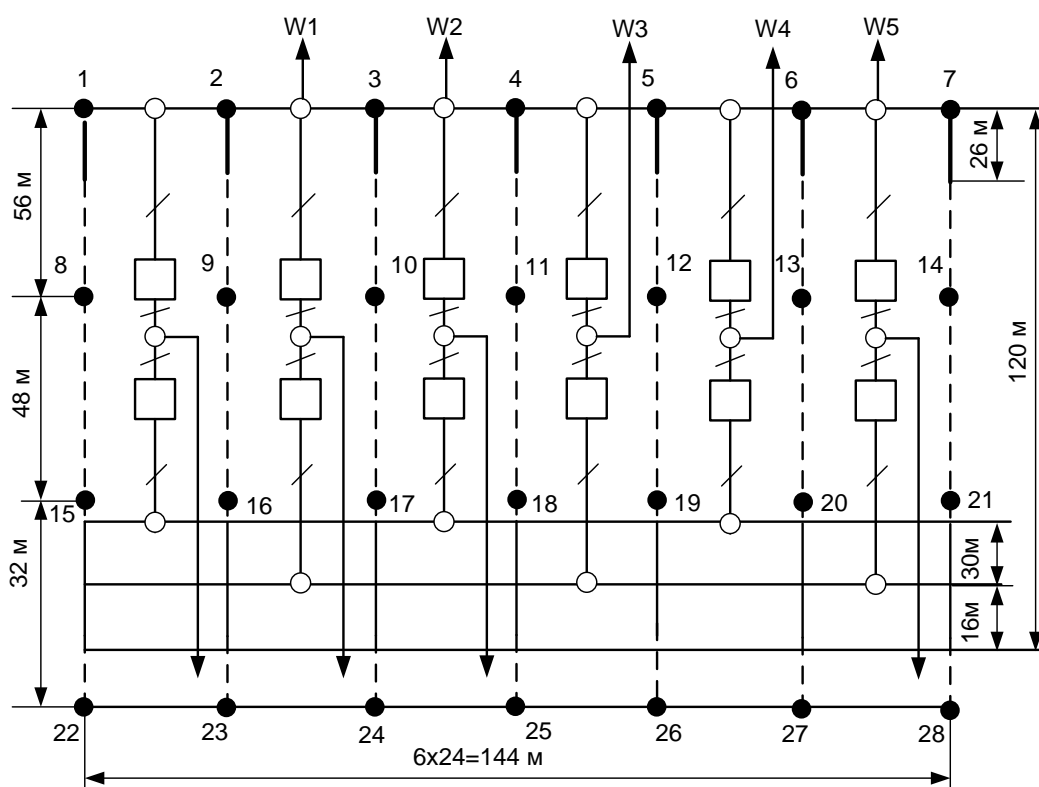


Рисунок 2.15 – Схема розташування блискавковідводів ВРУ – 330кВ

Дані для побудови зони захисту блискавковідводів наведені в таблиці 2.22.

Таблиця 2.22 – Дані для побудови зони захисту блискавковідводів ВРУ-330 кВ

| Пари блискавковідводів  | $L$ , м | $h_0$ , м | $b_x$ , м | $r_x$ , м |
|---|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 13-14, 15-16, 16-17, 17-18, 18-19, 19-20, 20-21, 22-23, 23-24, 24-25, 25-26, 26-27, 27-28 | 24      | 35,34     | 19,76     | 10,9      |
| 1-8, 2-9, 3-10, 4-11, 5-12, 6-13, 7-14  | 56      | 32,43     | 11,04     | 10,9      |

|  |       |       |       |      |
|--|-------|-------|-------|------|
| 8-15, 9-16, 10-17, 11-18, 12-19, 13-20, 14-21                                      | 48    | 33,37 | 13,85 | 10,9 |
| 15-22, 16-23, 17-24, 18-25, 19-26, 20-27, 21-28                                    | 32    | 34,82 | 18,21 | 10,9 |
| 1-9, 2-8, 2-10, 3-9, 3-11, 4-10, 4-12, 5-11, 5-13, 6-12, 6-14, 7-13                | 60,9  | 31,79 | 9,12  | 10,9 |
| 8-16, 9-15, 9-17, 10-16, 10-18, 11-17, 11-19, 12-18, 12-20, 13-19, 13-21, 14-20    | 53,70 | 32,71 | 11,89 | 10,9 |
| 15-23, 16-22, 16-24, 17-23, 17-25, 18-24, 18-26, 19-25, 19-27, 20-26, 20-28, 21-27 | 40    | 34,16 | 16,24 | 10,9 |

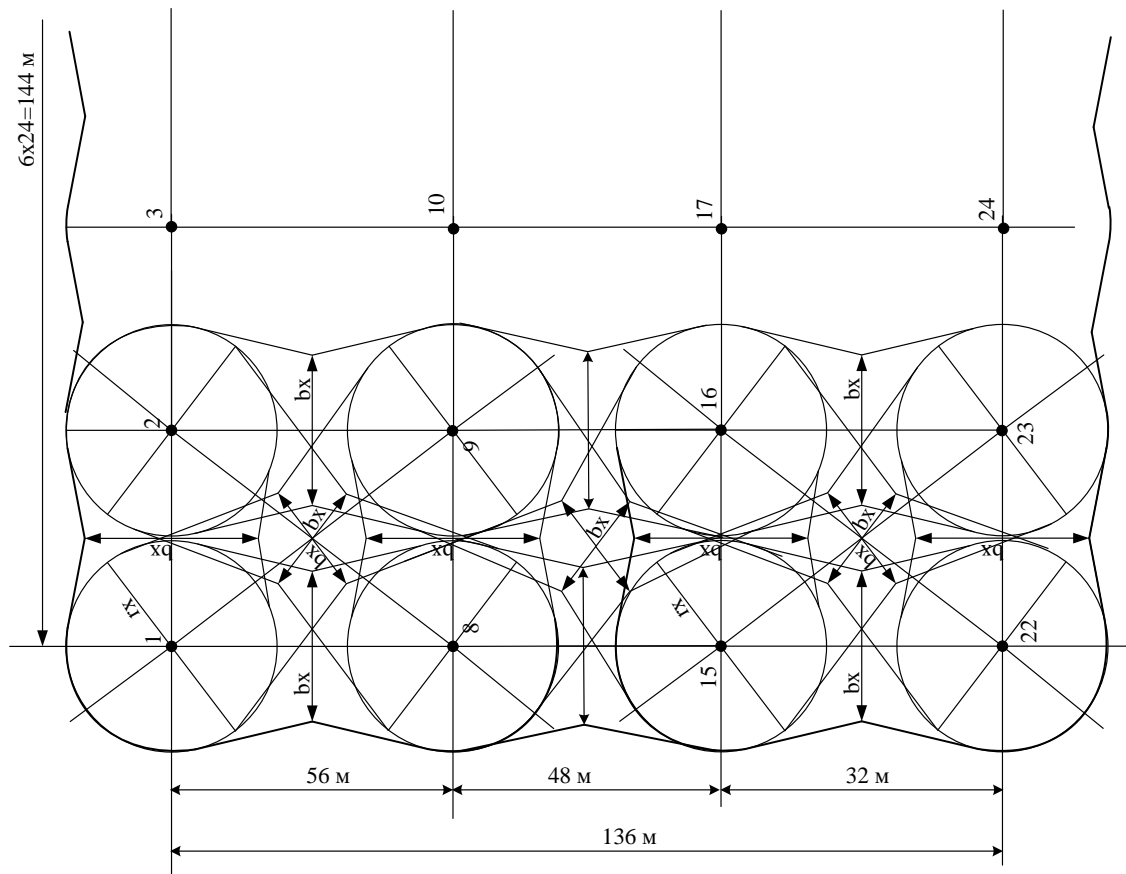


Рисунок 2.16 – Зона захисту блискавковідводів ВРУ-330 кВ (вид зверху)

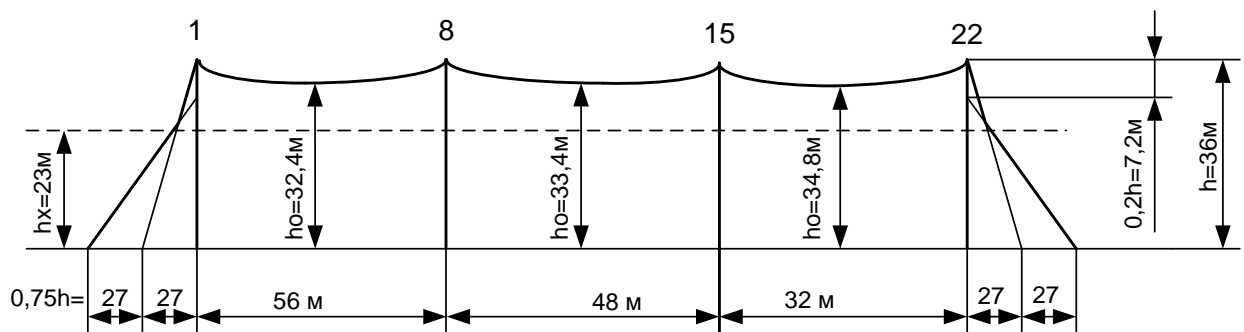


Рисунок 2.17 – Зона захисту блискавковідводів ВРУ-330 кВ (вид збоку)

## 2.14 Розрахунок заземлювального пристрою ВРУ-330 кВ

Вихідні дані для розрахунку:

- площа ЗП:  $S = (170 \times 140) = 23800 \text{ м}^2$ ;
- питомий опір верхнього та нижнього шарів ґрунту:

$$\rho_1 = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}; \quad \rho_2 = 500 \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

- глибина закладення заземлення:  $t = 0,7 \text{ м}$ ;
- товщина верхнього шару ґрунту:  $h = 2 \text{ м}$ ;
- число вертикальних заземлювачів:  $n_{\text{в}} = 46 \text{ шт}$ ;
- довжина вертикальних заземлювачів:  $l_{\text{в}} = 5 \text{ м}$ .

Заземлювальний пристрій виконуємо у вигляді сітки з горизонтальних поліс 40×4 мм та вертикальних заземлювачів-стержнів діаметром 20 мм (рисунок 2.18).

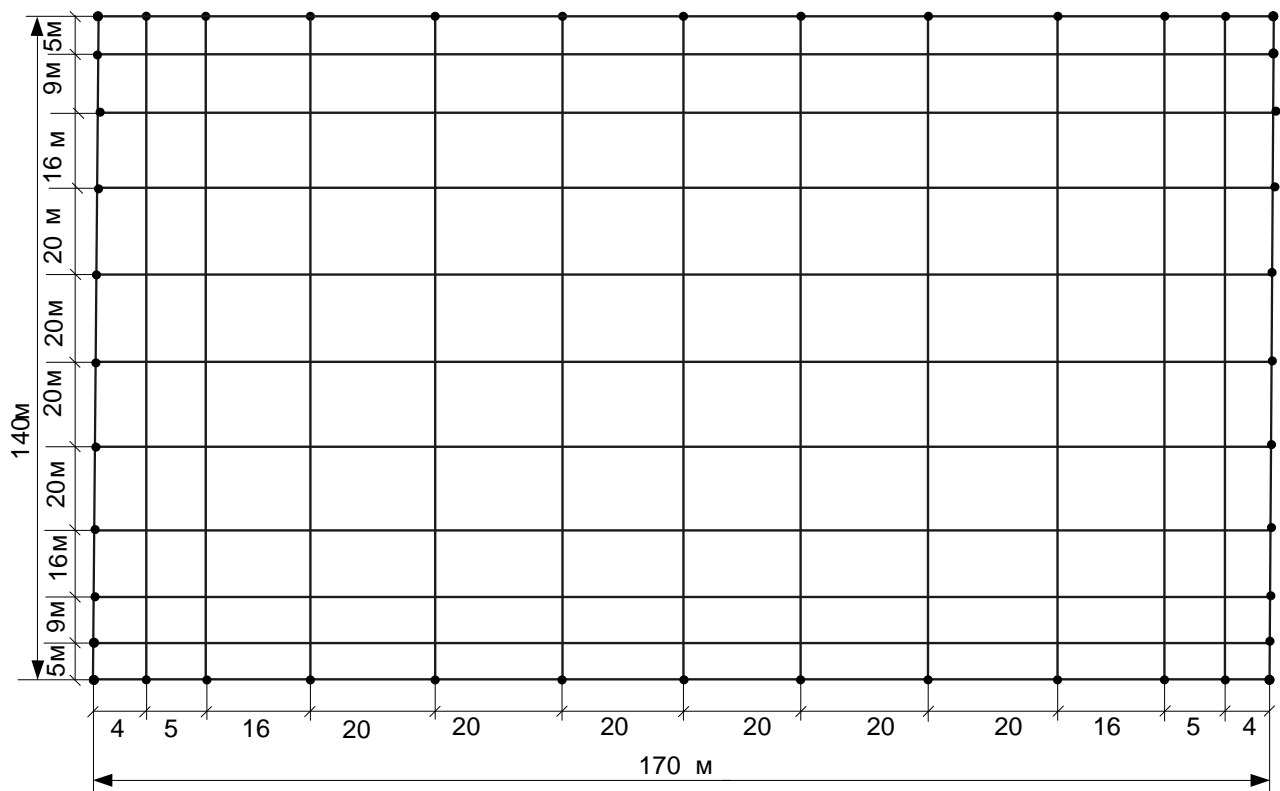


Рисунок 2.18 – План заземлювального пристрою ВРУ-330 кВ

Середня відстань між вертикальними заземлювачами:

$$a = p / n_B = 2 \cdot (140 + 170) / 46 = 13,4 \text{ м.}$$

Визначимо величини:

$$\rho_1 / \rho_2 = 1000 / 500 = 2;$$

$$a / l_B = 13,4 / 5 = 2,7;$$

$$\sqrt{S} = \sqrt{23800} = 154,3 \text{ (м)};$$

Опір штучного заземлюючого пристрою [2, 4]:

$$R_{\text{шт}} = A \cdot \frac{\rho_{\text{екв}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{екв}}}{L_{\Gamma} + L_B}, \quad (2.57)$$

де  $A$  – функція відношення  $\frac{l_B + t}{\sqrt{S}}$ ;

$\rho_{\text{екв}}$  – еквівалентний питомий опір ґрунту, Ом·м;

$L_{\Gamma}$ ,  $L_B$  – загальна довжина горизонтальних та вертикальних заземлювачів;

$$A = 0,444 - 0,84 \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \text{ при } 0 \leq \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \leq 0,1, \quad (2.58)$$

$$A = 0,385 - 0,25 \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \text{ при } 0,1 \leq \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \leq 0,5; \quad (2.59)$$

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{154,3} = 0,037 < 0,1;$$

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot 0,037 = 0,413;$$

$$\frac{h - t}{l_B} = \frac{2 - 0,7}{5} = 0,26.$$

$$L_{\Gamma} + L_B = (140 \cdot 13 + 170 \cdot 11) + 46 \cdot 5 = 3920 \text{ м.}$$

З таблиці 7.6 [4] визначаємо, що  $\rho_{\text{екв}}/\rho_2 = 1,14$ .

$$\rho_{\text{екв}} = 1,14 \cdot 500 = 570 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Опір штучного заземлювача:

$$R_{\text{ш}} = 0,413 \cdot 570 / 154,3 + 570 / 3920 = 1,67 \text{ (Ом)} > 0,5 \text{ (Ом)}.$$

На території ВРУ є природні заземлювачі. Приєднуємо до штучних заземлювачів:

а) системи «трос-опори»  $R_{\text{п1}} = 1,1 \text{ Ом}$ ;

б) фундаменти опор  $R_{\text{п2}} = 1,2 \text{ Ом}$ .

Опір заземлювача:

$$R'_3 = \frac{R_{\text{ш}} \cdot R_{\text{п1}} \cdot R_{\text{п2}}}{R_{\text{ш}} \cdot R_{\text{п1}} + R_{\text{ш}} \cdot R_{\text{п2}} + R_{\text{п1}} \cdot R_{\text{п2}}};$$

$$R'_3 = \frac{1,67 \cdot 1,1 \cdot 1,2}{1,67 \cdot 1,1 + 1,67 \cdot 1,2 + 1,1 \cdot 1,2} = 0,43 \text{ (Ом)} < 0,5 \text{ (Ом)}.$$

## РОЗДІЛ 3

### ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕГАЗОВИХ, ОЛИВНИХ І ПОВІТРЯНИХ ВИМИКАЧІВ

При виборі вимикачів високої напруги необхідно врахувати безліч різних властивостей, але в загальному випадку звертають увагу на такі [20,22]:

- 1) надійне вимкнення будь-яких струмів (від десятків ампер, до номінального струму відключення );
- 2) швидкодія , тобто найменший час відключення;
- 3) придатність до швидкодіючого АПВ, тобто швидке включення вимикача одразу ж після виключення;
- 4) можливість пофазного (пополюсного) керування для вимикачів 110 кВ і вище;
- 5) легкість ревізії і огляду контактів;
- 6) вибухо- та пожежобезпечність;
- 7) зручність транспортування і експлуатації;
- 8) придатність чи непридатність для внутрішньої чи зовнішньої установки;
- 9) вартість.

Можна також додати, що відповідно до ГОСТ 687-78Е високовольтні вимикачі характеризуються такими параметрами:

- 1) номінальний струм вимкнення;
- 2) допустимий відносний вміст аперіодичної складової струму вимкнення;
- 3) цикл операцій ( послідовність комутаційних операцій з заданими інтервалами між ними );
- 4) стійкість при наскрізних струмах;
- 5) номінальний струм увімкнення;
- 6) власний час вимкнення;
- 7) параметри відновлювальної напруги.

Для порівняння різних груп високовольтних вимикачів потрібно розібратись з



межами їхнього застосування, перевагами та недоліками. Розглянемо нижче три групи вимикачів: масляні ( олівні бакові і малооливні ), повітряні і елегазові.

1) Олівні вимикачі:

а) Олівні бакові вимикачі:

Переваги:

- простота конструкції;
- висока вимикальна здатність;
- придатність для зовнішньої установки;
- можливість встановлення вбудованих трансформаторів струму.

Недоліки:

- вибухо- і пожежонебезпечність;
- необхідність періодичного контролю за станом і рівнем масла;
- великий об'єм оливи;
- необхідність великих запасів оливи;
- непридатність до розміщення всередині приміщень;
- непридатність для виконання швидкодіючого АПВ;
- велика затрата металу;
- велика маса;
- незручність транспортування, монтажу і наладки.

б) Малооливні вимикачі:

Переваги:

- невелика кількість оливи;
- відносно мала маса;
- зручний доступ до дугогасильних контактів;
- можливість створення серії вимикачів на різні напруги з застосуванням уніфікованих вузлів.

Недоліки:

- вибухо- і пожежонебезпечність;
- неможливість здійснення швидкодіючого АПВ;
- необхідність періодичного контролю та заміни масла в дугогасильних камерах;
- труднощі при встановленні вбудованих трансформаторів струму;
- відносно мала вимикальна здатність.

2) Повітряні вимикачі:

Переваги:

- вибухо- і пожежобезпечність;
- достатньо високу швидкодію та можливість здійснення швидкодіючих АПВ;
- високу вимикаючу здатність;
- надійне вимкнення ємнісних струмів ліній;
- мале зношування дугогасильних контактів;
- легкий доступ до дугогасильних камер;
- можливість утворення серій з уніфікованих вузлів на надвисокій напрузі;
- придатність для зовнішньої і внутрішньої установки.

Недоліки:

- необхідність компресорної станції;
- складна конструкція ряду деталей і вузлів;
- відносно висока вартість;
- неможливість установки вбудованих трансформаторів струму. [2].

3) Елегазові вимикачі:

Переваги:

- повна вибухо- і пожежобезпечність;
- велика швидкодія;

- висока вимикальна здатність;
- мале зношування дугогасильних контактів;
- можливість створення серій з уніфікованими вузлами;
- придатність для зовнішньої і внутрішньої установки;
- елегаз дає змогу підвищити навантаження струмоведучих частин і зменшити їх масу за рахунок своїх охолоджуючих властивостей;
- у порівнянні із повітряними вимикачами має менший розмір і масу;
- гасіння дуги відбувається у замкнутому об'ємі без вихлопу в атмосферу.

#### Недоліки:

- необхідність спеціальних пристроїв для наповнення, перекачування й очищення елегазу;
- відносно висока вартість елегазу. [1,2,6,7].

Для того, щоб наглядніше показати усі переваги елегазових вимикачів, занесемо у таблицю 1 параметри схожих елегазового, масляного і повітряного вимикачів і порівняємо їх.

Таблиця 5.1-Порівняння характеристик вимикачів.

| Тип вимикача  | Елегазовий<br>ВГП-110-<br>40/2000У1 | Повітряний<br>ВВУ-110Б-<br>40/2000У1 | Малооливний<br>ВМТ-110Б-<br>25/1250УХЛ1 |
|---|-------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Номінальна напруга, кВ  | 110                                 | 110                                  | 110                                     |
| Найбільша робоча напруга, кВ                                    | 126                                 | 126                                  | 126                                     |
| Номінальний струм, А  | 2000                                | 2000                                 | 1250                                    |
| Номінальний струм<br>відключення, кА                            | 40                                  | 40                                   | 25                                      |
| Струм термічної стійкості, кА /<br>допустимий час його дії, сек | 40/3                                | 40/3                                 | 20/3                                    |
| Мінімальна без струмова пауза<br>при АПВ, сек                   | 0,3                                 | 0,25                                 | 0,3                                     |
| Час відключення, сек  | 0,055                               | 0,08                                 | 0,06                                    |
| Власний час відключення, сек                                    | 0,035                               | 0,06                                 | 0,035                                   |
| Власний час включення, сек                                      | 0,008                               | 0,2                                  | 0,13                                    |
| Габаритні розміри полюса, мм                                    | 4220×3170×950                       | 5460×1760×3900                       | 2500×1790×662                           |
| Маса, кг  | 1 014,5                             | 15 000                               | 1 095                                   |
| Ціна, у.о.  | 304 000                             | 166 953                              | 131 300                                 |

Як бачимо, елегазовий вимикач ВГП-110-40/2000У1 має менший час відключення (0,055 сек.) і значно менший власний час включення (0,008 сек.). Хоча цей вимикач має більші габаритні розміри ніж у масляного вимикача, але він менший за повітряний вимикач. Мала маса також є однією з переваг цього вимикача. Мінусом є порівняно велика вартість. [4,5].

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Організація і технологія виконання робіт з монтажу

1.1. У відповідності зі СНиП 12-01-2004 "Організація будівництва" до початку виконання будівельно-монтажних (у тому числі підготовчих) робіт на об'єкті замовник повинен одержати в установленому порядку дозвіл на виконання будівельно-монтажних робіт. Виконання робіт без вказаного дозволу забороняється.

1.2. Підготувати місця для складування матеріалів, інвентарю, ін. Необхідного обладнання.

Організація транспортування, складування та зберігання матеріалів, деталей, конструкцій і обладнання повинна відповідати вимогам стандартів і технічних умов і виключати можливість їх пошкодження, псування та втрат.

1.3. Забезпечити зв'язок для оперативно-диспетчерського управління виробництвом робіт.

1.4. Забезпечити будівельний майданчик протипожежним водопостачанням та інвентарем, освітленням і засобами сигналізації.

1.5. Виконати геодезичну розбивку осей споруди з оформленням акту зі схемами розташування знаків розбивки і даними про прив'язку до базисної лінії і висотної опорної мережі.

1.6. Скласти акт готовності об'єкта до виробництва робіт.

1.7. Вакуумні вимикачі ВВ / ТЕМ призначені для експлуатації в мережах трифазного змінного струму частотою 50 Гц номінальною напругою до 10 кВ з ізольованою і компенсованою нейтраллю в нормальних і аварійних режимах.

1.8. Вакуумні вимикачі ВВ / ТЕМ застосовуються в комірках КРУ внутрішньої і зовнішньої установки, а також в камерах КСВ, як при новому будівництві, так і при заміні вимикачів.

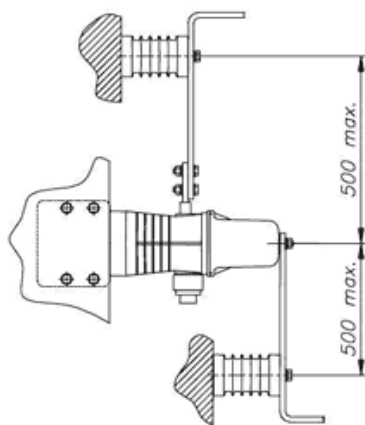


Рисунок 4.1- Встановлення додаткових ізоляторів для апаратів з струмом 1000 А

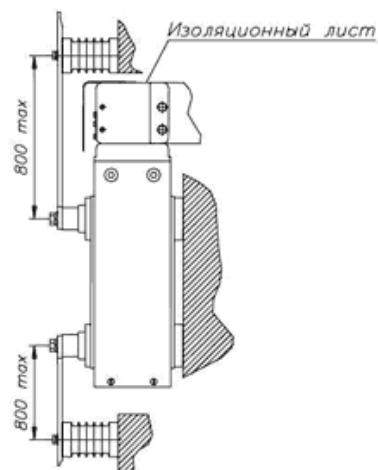


Рисунок 4.2 - Встановлення додаткових ізоляторів для апаратів з струмом 1600 А

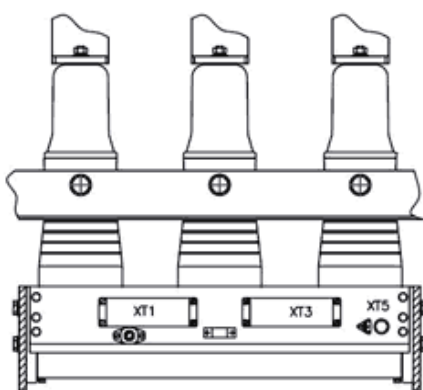
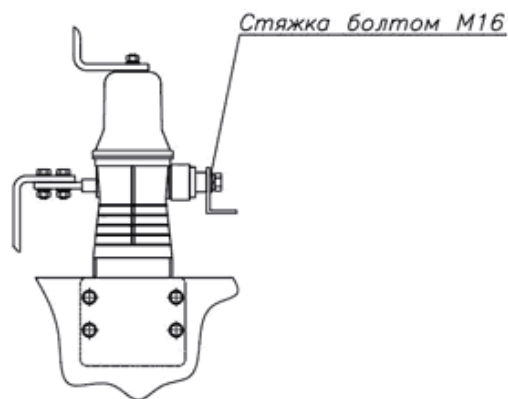


Рисунок 4.3 - Кріплення вимикача стяжкою



Точки кріплення (1 і 2), а також моменти затягування, типи болтів, необхідних для кріплення вимикача до несучих металоконструкціях і до ошиновки, представлені на рис.ба для апаратів на номінальний струм 1000 А і на рис.4.1 для апаратів на номінальний струм 1600 А. При кріпленні до висновків ВВ / ТЕМ на 1600 А для компенсації крутних моментів висновків головного ланцюга ВВ утримувати контакт ключем на 46 відповідно до рис.

1.18. Монтаж ошиновки. Ошиновка вимикачів повинна проводитися шинами, підігнаними до висновків апарату. Неприпустимо притягання шин до висновків апарату, при якому створюються статичні зусилля в напрямку, перпендикулярному осі полюса, що перевищують нормовані значення. Максимальні нормовані значення статичних зусиль, створюваних ошиновкою, представлені на рис. вимикачів на номінальний струм 1000 А і рис.4.5 на номінальний струм 1600 А.

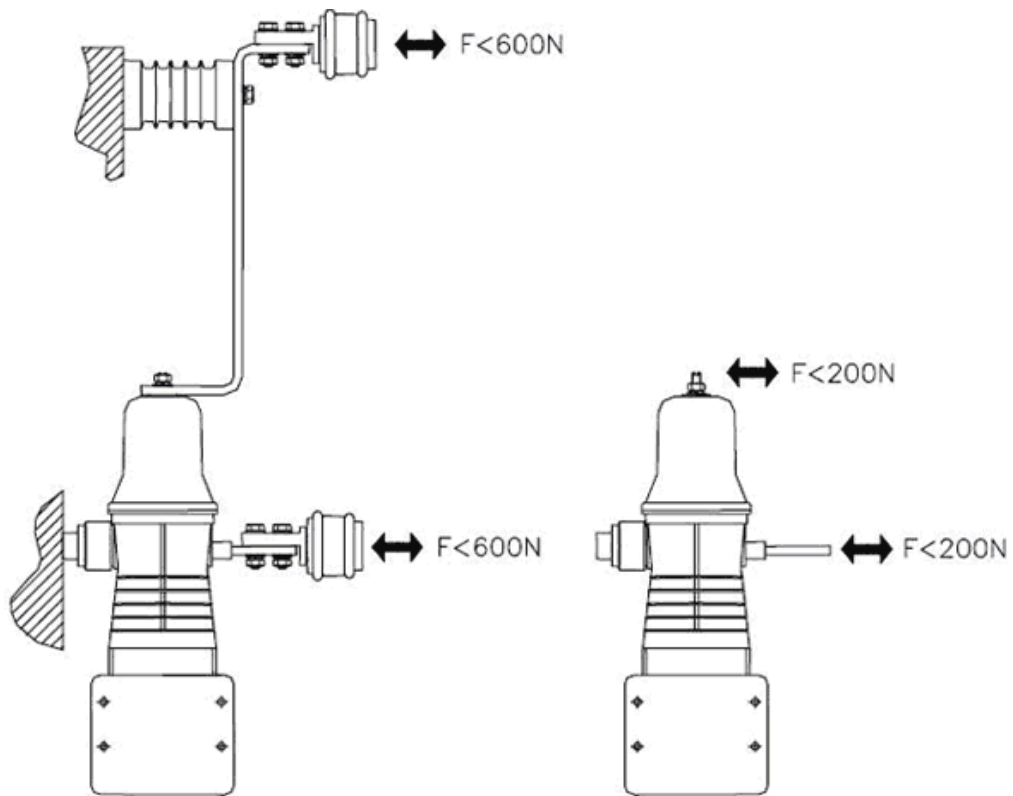


Рисунок 4.5 - Максимальні значення зусиль апарату на струм 1000 А

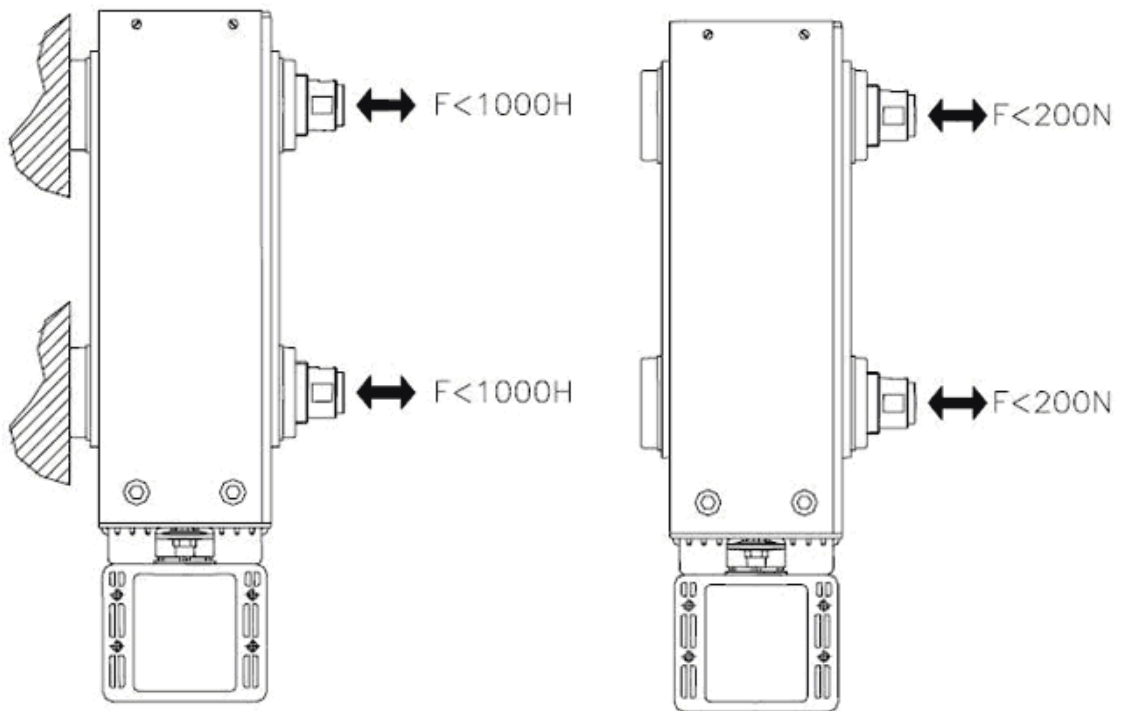


Рисунок 4.6 - Максимальні значення зусиль апарату на струм 1600 А

## 4.2 Вимоги до якості та приймання робіт

1.1. На всіх етапах робіт слід виконувати виробничий контроль якості будівельно-монтажних робіт, який включає в себе вхідний контроль робочої документації, конструкцій, виробів, матеріалів і устаткування, операційний контроль окремих будівельних процесів або виробничих операцій і приймальний контроль проміжних і остаточних циклів робіт. Склад контрольованих показників, обсяг і методи контролю повинні відповідати вимогам СНиП.

1.2. Якість виробництва робіт забезпечується виконанням вимог технічних умов на виробництво робіт, дотриманням необхідної технічної послідовності при виконанні взаємозалежних робіт, технічним контролем за ходом робіт.

Контроль якості будівельно-монтажних робіт повинен здійснюватися фахівцями або спеціальними службами, оснащеними технічними засобами, що забезпечують необхідну достовірність і повноту контролю.

1.3. При вхідному контролі робочої документації повинна проводитися перевірка її комплектності і достатності міститися в ній технічної інформації для виконання робіт.

1.4. При вхідному контролі конструкцій, виробів, матеріалів і устаткування слід перевіряти зовнішнім оглядом їх відповідність вимогам стандартів або інших нормативних документів і робочій документації, а також наявність і зміст паспортів, сертифікатів та інших супровідних документів. Результати вхідного контролю фіксуються в Журналі обліку результатів вхідного контролю.

1.5. Операційний контроль здійснюється в ході виконання будівельних процесів або виробничих операцій з метою забезпечення своєчасного виявлення дефектів і вжиття заходів щодо їх усунення та попередження.

При операційному контролі слід перевіряти дотримання заданої в проектах виконання робіт технології виконання будівельно-монтажних процесів; відповідність виконуваних робіт робочим кресленням, будівельним нормам і правилам. Особливу увагу слід звертати на виконання спеціальних заходів при будівництві на просадних ґрунтах, в районах із зсувами і карстовими явищами,



вічної мерзлоти, а також при будівництві складних і унікальних об'єктів.

Результати операційного контролю фіксуються також у Журналі загальних робіт

1.6. Приймальний контроль проводиться для перевірки та оцінки якості закінчених будівництвом об'єктів або їх частин, а також прихованих робіт і окремих відповідальних конструкцій.

1.7. Після закінчення виконання монтажних робіт проводиться їх огляд Замовником і документальне оформлення зі складенням Акта проміжного приймання відповідальних конструкцій. До даного акту необхідно додати:

- Виконавчу схему готової конструкції з прив'язкою до базису осей, із зазначенням геометричних розмірів і висотних відміток. Виконавча схема складається в одному примірнику, у вигляді окремого креслення, за підписом головного інженера Підрядника;

- Паспорти, сертифікати якості та лабораторні висновки на застосовувані будівельні матеріали, конструкції та вироби.

Вся приймально-здавальна документація повинна відповідати вимогам СНиП 12-01-2004.

1.8. На об'єкті будівництва повинен вестися Загальний журнал робіт, Журнал авторського нагляду проектної організації і Оперативний журнал геодезичного контролю.

### **4.3 Калькуляції витрат праці та машинного часу**

1.1. Калькуляції витрат праці та машинного часу на монтаж вакуумного вимикача наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Калькуляції витрат праці та машинного часу на монтаж вакуумного вимикача

| N<br>п/<br>п | Найменування технологічної операції | Од. вим. | Обсяг робіт | Обґрунтування ГЕСН | Норми часу           |                        | Витрати праці                         |   |
|--------------|-------------------------------------|----------|-------------|--------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------------|---|
|              |                                     |          |             |                    | робітників, люд.-год | робота машин, маш.-год | робітників, люд.-год<br>(гр.4 · гр.2) | робота машин, маш.-год<br>(гр.5 · гр.2) |
|              |                                     |          |             |                    |                      |                        |                                       |   |
| 1            | Монтаж вимикача вакуумного 10 кВ    | шт.      | 1           | 08-01-059          | 7,95                 | 1,01                   | 7,95                                  | 1,01                                    |
|              | Разом:                              |          |             |                    |                      |                        | 7,95                                  | 1,01                                    |

1.2. Витрати праці і часу підраховані відносно ГЕСНм-2001, збірник 8 "Електротехнічні установки".

#### 4.4 Графік виконання робіт

1.1. Приклад складання графіка виконання робіт наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Графік виконання робіт

| N п/п | Найменування технологічних операцій | Од. вим.. | Об'єм робіт | Ухвалений склад ланки | Продовж-ність операції, годину | Перша зміна |   |   |   |   |   |   |   |  |
|-------|-------------------------------------|-----------|-------------|-----------------------|--------------------------------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|--|
|       |                                     |           |             |                       |                                | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |  |
| 1     | Монтаж вимикача вакуумного 10 кВ    | шт.       | 1           | 3 чол.                | 3,97                           |             |   |   |   |   |   |   |   |  |

1.2. При складанні графіка виконання робіт рекомендується виконання наступних умов:

1.2.1. У графі "Найменування технологічних операцій" наводяться в технологічній послідовності всі основні, допоміжні, супутні робочі процеси і операції, що входять в комплексний будівельний процес, на який складена технологічна карта.

1.2.2. У графі "Прийнятий склад ланки" наводиться кількісний, професійний і кваліфікаційний склад будівельних професій для виконання кожного робочого процесу і операції залежно від трудомісткості, обсягів і термінів виконання робіт.

При цьому необхідно прагнути зберігати сталість складу комплексних і спеціалізованих ланок (бригад) на весь час виконання робіт.

1.2.3. У графіку робіт вказуються послідовність виконання робочих процесів і операцій, їх тривалість і взаємна ув'язка по фронту робіт у часі.

1.2.4. Тривалість виконання комплексного будівельного процесу, на який складена технологічна карта, повинна бути кратною тривалості робочої зміни при однозмінній роботі або робочим добі при двох- і тризмінній роботі.

## 4.5 Матеріально-технічні ресурси

### 1.1. Потреба в машинах і устаткуванні.

1.1.1. Механізація будівельних, монтажних і спеціальних будівельних робіт при зведенні об'єкта повинна бути комплексною і здійснюватися комплектами будівельних машин, устаткування, засобів малої механізації, необхідної монтажної оснастки, інвентаря і пристроїв.

1.1.2. Засоби малої механізації, обладнання, інструмент, технологічне оснащення, необхідні для виконання монтажних робіт, повинні бути скомплектовані в Нормокомплекти відповідно до технології виконуваних робіт.

1.1.3. При виборі машин і установок необхідно передбачати варіанти їх заміни в разі потреби. Якщо передбачається застосування нових будівельних машин, установок і пристосувань, необхідно вказувати найменування та адресу організації або підприємства-виробника.

1.1.4. Перелік основного необхідного обладнання, машин, механізмів, технологічного оснащення, інструменту та пристосувань наведено в таблиці .

Таблиця 4.3 - Перелік основного необхідного обладнання

| N п/п | Найменування машин, механізмів, верстатів, інструментів і матеріалів | Марка          | Од. вим. | Кількість |
|-------|--|----------------|----------|-----------|
| 1     | Кран автомобільний, Q = 10,0 т                                       | КС-3551        | шт.      | 1         |
| 2     | Автомобіль бортовий, Q = 8,0 т                                       | КРАЗ           | "        | 1         |
| 3     | Автомобільний навантажувач   | 4045           | "        | 1         |
| 4     | Жилети помаранчеві   |                | "        | 3         |
| 5     | Захисні каски  | ГОСТ 39-124-81 | "        | 3         |

1.2. Потреба в основних матеріалах, виробих і конструкціях наведена в таблиці 6.4

Таблиця 4.4 - Потреба в основних матеріалах

| N<br>п/п | Найменування<br>матеріалів, виробів<br>та конструкцій | Од.<br>вим. | Потреба на 1<br>вимикач |
|----------|---|-------------|-------------------------|
| 1        | Фарба   | кг          | 0,12                    |
| 2        | Електроди<br>діаметром 4 мм<br>Е42А                   | кг          | 2,8                     |

### 1.3. Техніко-економічні показники

1.1. Роботи з монтажу вакуумного вимикача виконує ланка чисельністю - 3 чол., У тому числі:

Машиніст автокрана - 1 чол.

Водій автомобіля 1 класу - 1 чол.

Машиніст автонавантажувача - 1 чол.

Електромонтажник 4 розряду - 2 чол.

1.2. Витрати праці на монтаж вимикача складають:

Трудовитрати робітників - 7,95чол.-год.

Машинного часу - 1,01маш.-год.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 5.1 Задачі розділу

Згідно Конституції України всі громадяни України мають право на належні безпечні і здорові умови праці. Закон України «Про охорону праці» визначає основні положення щодо реалізації конституційного права зайнятих працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні умови праці, це стосується і робіт пов'язаних з монтажем та експлуатацією електрообладнання ВРУ.

Під час роботи в діючих електроустановках питання охорони життя та здоров'я працівників є надзвичайно важливим. До роботи в таких установках допускаються працівники, які пройшли спеціальне навчання з питань охорони праці, безпечної експлуатації електроустановок та надання першої медичної допомоги. Такі працівники обов'язково повинні мати при собі спеціальне посвідчення. Згідно з СОУ-НМПЕ 40.1.12.103:2005 «Навчання/перевірка знань працівників підприємств електроенергетики з питань охорони праці, пожежної безпеки і технічної експлуатації» організацію навчання і перевірку знань працівників з питань охорони праці, пожежної безпеки і технічної експлуатації, а також професійної підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації здійснюють служби управління (підготовки) персоналу або окремі працівники, яким доручена ця робота [15].

Тому, згідно теми кваліфікаційної роботи «Електрична частина конденсаційної електростанції потужністю 1920 МВт з дослідженням особливостей комутаційного обладнання», найголовнішим при експлуатації є електробезпека.

Небезпека ураження електричним струмом залежить від напруги електричної мережі, виду дотику людини, що обслуговує обладнання чи проводить його

налагодження до електромережі, режиму роботи електрообладнання, режиму нейтралі джерела живлення та наявності заземлення електроустановки.

Тому сформулюємо основні задачі щодо охорони праці за темою «Електрична частина конденсаційної електростанції потужністю 1920 МВт з дослідженням особливостей комутаційного обладнання» для мінімізації ризику професійного захворювання чи ураження електричним струмом під час проведення монтажних чи налагоджувальних робіт та при обслуговуванні комутаційного обладнання черговим персоналом на енергооб'єктах:

- Провести аналіз умов праці при виконанні робіт із вимикачами за міждержавним ГОСТ12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- Запропонувати організаційні та технічні заходи з охорони праці при виконанні робіт на ВРУ 110 кВ. Провести розрахунок захисного заземлення.

5.2 Аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем, та обслуговуванням електрообладнання на ВРУ

Досліджуючи питання конструкційних особливостей ліній електропередач згідно теми магістерської роботи «Електрична частина конденсаційної електростанції потужністю 1920 МВт з дослідженням особливостей комутаційного обладнання» на основі викладеного в попередньому розділі матеріалу на персонал що виконує обслуговування ліній за ГОСТ 12.0.003-74 впливають наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні:

- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухомість повітря;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- підвищений рівень вібрації,

в) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні)
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).
- підвищений рівень статичної електрики [15].

Джерелами (носіями) небезпеки є:

- електрообладнання;
- природне середовище;
- людина.

5.3 Організаційні та технічні заходи, якими досягається безпека виконання робіт з трансформатором в діючих електроустановках.

Для розробки рішень з охорони праці при роботі в діючих електроустановках було проаналізовано чинні норми:

- Закон України "Про охорону праці";
- ГКД 34.20.507-2003 "Правила - Технічна експлуатація електричних станцій і мереж";
- ГКД 341.004.001-94 – Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750 кВ;
- НПАОП 40.1-1.01-97 "Правила безпечної експлуатації електроустановок";
- НПАОП 40.1-1.07-01 "Правила експлуатації електрозахисних засобів";
- Правила улаштування електроустановок;
- ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление;



- ДСТУ ГОСТ 12.1.038:2008. Электробезопасность. Предельно допустимое значение напряжения прикосновения и токов;

Так як монтаж та налагодження пристроїв релейного захисту проводиться в діючих електроустановках, тому за «Правилами безпечної експлуатації електроустановок» для забезпечення безпечних умов праці слід виконати наступні організаційні заходи:

- затвердження переліку робіт, які виконуються за нарядом, розпорядженням;
- призначення відповідальних за безпечне проведення робіт;
- оформлення робіт за нарядом чи розпорядженням;
- підготовка робочих місць;
- допуск до роботи;
- нагляд під час виконання робіт;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв у роботі та її закінчення.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги слід виконати наступні технічні заходи:

- здійснити необхідні відключення і вжити заходів, що унеможливають помилкове або самочинне ввімкнення комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- перевірити відсутність напруги на струмовідних частинах;
- встановити заземлення (ввімкнути заземлювальні ножі, встановити переносні заземлення);
- обгородити, за необхідності, робочі місця або струмовідні частини, що залишилися під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки.

Враховання та виконання описаних організаційних та технічних заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму, ураження електричним струмом та професійного захворювання при виконанні робіт в діючих електроустановках.

## 5.4 Технічне рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 5.4.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату, що нормуються: температура ( $1^{\circ}\text{C}$ ) і відносна вологість повітря ( $XV$ , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ).

Допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт Іб та період року) в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів мікроклімату

| Період року | Категорія робіт | Температура, $^{\circ}\text{C}$<br>Допустима |            | Відносна вологість          | Швидкість руху,<br>X |
|-------------|-----------------|--|------------|-----------------------------|----------------------|
|             |                 | Верхня межа                                  | Нижня межа |                             |                      |
| Холодний    | Іб              | 20-24  | 17-25      | 75                          | не більше 0,2        |
| Теплий      |                 | 21-28  | 19-30      | 55 при $27^{\circ}\text{C}$ | 0,1-0,3              |

### 5.4.2 Склад повітря робочої зони

Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря та їх ГДК

| Найменування речовини | ГДК, $\text{мг}/\text{м}^3$ |                | Клас небезпечності |
|-----------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|
|                       | Максимально разова          | Середньодобова |                    |
| Пил нетоксичний       | 0,5                         | 0,15           | 4                  |

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу глибиною в  $1/8''$  у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню області [15].

### 5.4.3 Виробниче освітлення. Природне освітлення

Природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройоми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006, нормоване значення коефіцієнта природного освітлення слід визначати за формулою [15]:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (5.1)$$

де  $e_H$  – табличне значення КПО (природне – 1,5; суміщене – 0,9);

$m_N$  – коефіцієнт світлового клімату ( $m_N = 0,9$  при орієнтації вікон на північ);

$N$  – номер групи забезпеченості природним світлом.

Таким чином:

природне:  $e_N = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35 \%$  ;

суміщене  $e_N = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81 \%$ .

### 5.4.4 Штучне освітлення

Штучне освітлення використовується двох систем: загальне та комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення – додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення – освітлення, яке створюється світильниками, концентруючи світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Нормується величина освітленості  $E$  в люксах [15]. Для умов, що розглядаються в роботі (розряд робіт IV, підрозряд робіт в, система освітлення – загальне) тип джерела освітлення – люмінесцентні лампи, нормативне значення комбінованої освітленості 400 лк, а загальне – 200 лк.

Для забезпечення нормативного значення  $e_{\text{мін}}$  передбачено: штучне освітлення в приміщенні ДП забезпечується люмінесцентними лампами ЛБ-40.

Для забезпечення евакуації працюючих в темний час доби при аварійному відключенні електроенергії в цеху передбачається аварійне освітлення, яке забезпечує освітленість не менше 5% нормальної освітленості. Очищення вікон і світильників має проводитись на менше 4 разів на рік.

#### 5.4.5 Виробничий шум

Вплив шуму на людину може визвати різні подразнення, патологічні зміни, функціональні розлади і механічні пошкодження.

Шум порушує нормальну роботу шлунку, особливо впливає на центральну нервову систему. А також погіршує точність виконання робочих операцій, ускладнює сприйняття інформації, знижує продуктивність праці, збільшує брак в роботі [24].

Таблиця 5.3 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкополосного (тонального) шуму

| Робочі місця   | Рівні звукового тиску, дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц |     |     |     |      |      |      |      | Рівень звуку, дБА |
|--|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------------------|
| Робочі місця в приміщеннях цехового керівного апарату, контор, лабораторій | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 60                |
|  | 79  | 70  | 63  | 58  | 55   | 52   | 50   | 49   |                   |

#### 5.4.6 Виробнича вібрація

Вібрацією називають будь-які механічні коливання пружинних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Коливання тіл з частотою, нижчою 16 Гц сприймається організмом, як вібрація, а коливання з частотою 16... 20 Гц і більше – одночасно як вібрація і як звук.

У приміщенні оперативного пункту управління знаходиться обладнання, яке є джерелом вібрації. Це в першу чергу пристрої релейного захисту та автоматики, вентиляційні установки. В залежності від дії на людину вібрація ділиться на

загальну і локальну. Загальна вібрація передається через опорні поверхні на тіло сидячої або стоячої людини і викликає струс всього організму, локальна (місцева) – коливальні рухи лише окремих частин тіла (руки, ноги).

Наведемо в таблицю 5.4 допустимі рівні вібрації  $m$  постійних робочих місцях.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні вібрації  $m$  постійних робочих місць.

| Вид вібрації   | Октавні смуги з середньо геометричними частотами, Гц |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|  | 2  | 4                 | 8                 | 16                | 31,5              | 63                | 125               | 250               | 500               | 1000              |
| Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях | <u>1,3</u><br>108                                    | <u>0,45</u><br>99 | <u>0,22</u><br>93 | <u>0,2</u><br>92  | <u>0,2</u><br>92  | <u>0,2</u><br>92  | -                 | -                 | -                 | -                 |
| Локальна вібрація  | -  | -                 | <u>2,8</u><br>115 | <u>1,4</u><br>109 | <u>1,4</u><br>109 | <u>1,4</u><br>109 | <u>1,4</u><br>109 | <u>1,4</u><br>109 | <u>1,4</u><br>109 | <u>1,4</u><br>109 |

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

#### 10.5 Розрахунок захисного заземлення

Як зазначалось в розділі 5.1 для забезпечення безпечних умов праці є обов'язкове заземлення металевих частин електроустановок. Згідно ПУЕ заземлюючі пристрої електроустановок вище 1 кВ мережі з ефективно заземленою нейтраллю виконуються з урахуванням опору  $R_z \leq 0,5$  Ом або допустимої напруги дотику.

У роботі досліджуються блискавкозахист. Тому приводиться приклад розрахунку заземлювального пристрою ВРУ-110 кВ.

Заземленню підлягають корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, приводи, каркаси розподільних щитів, щитів управління, шафи а також вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів.

Згідно ПУЕ розрахунок заземлюючих пристроїв в мережах 110 кВ і вище проводиться по допустимому опорі заземлення  $R_z=0.5$  Ом.

Виконуємо загальне заземлення для всієї площі території підстанції 110/10, площа якої становить  $116 \times 78 \text{ м}^2$ .

Приймаємо заземлюючий пристрій розміром 116×78 м.

По таблиці 5.5 приймаємо в якості верхнього шару пісок ( $\rho_{1з} = 400 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ), в якості нижнього шару суглинок ( $\rho_{2л} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ). ВРП знаходиться в другій кліматичній зоні, тоді по таблиці 8.3  $hC = 2 \text{ м}$  [27].

Таблиця 5.5 – Питомі опори ґрунтів

| Ґрунт        | $\rho \text{ Ом} \cdot \text{м}$ | Ґрунт           | $\rho \text{ Ом} \cdot \text{м}$ |
|--------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Пісок        | 400÷1000                         | Торф            | 20                               |
| Супісок      | 150÷400                          | Чернозем        | 10÷50                            |
| Суглинок     | 40÷150                           | Мергель, вапняк | 1000÷2000                        |
| Глина        | 8÷70                             | скелястий ґрунт | 2000÷4000                        |
| Садова земля | 40                               |                 |                                  |

Таблиця 5.6 – Кліматичні зони

| Кліматична зона                     | I   | II  | III | IV  |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Товщина шару сезонних змін $hC$ , м | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 |

Приймаємо глибину закладення електродів  $t = 0,7 \text{ м}$ , відстань між горизонтальними смугами 15 м. Довжина вертикальних електродів  $lB = 15 \text{ м}$ . Вертикальні електроди встановлені по периметру сітки в місцях перетину внутрішніх провідників з контурним. Уточнюємо відстань між горизонтальними

провідниками. кількість комірок  $\frac{78}{15} = 5,2$  і  $\frac{116}{15} = 7,73$ . Приймаємо 4 і 7 комірок.

Відстань між поздовжніми провідниками  $\frac{78}{5} = 15,6$  м, між поперечними

$\frac{116}{7} = 16,57$

м. На рисунку 10.1 зображена схема заземлення.

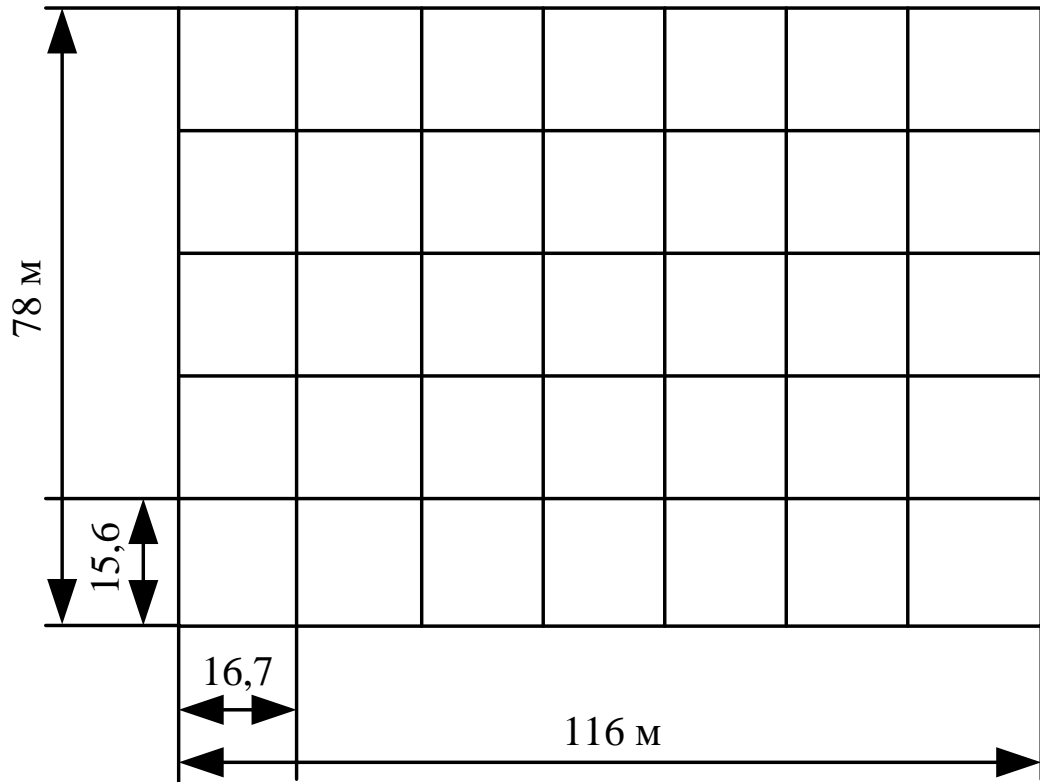


Рисунок 5.1 Схема заземлення ВРП 110 кВ.

Загальна довжина горизонтальних провідників:

$$L_{\Gamma} = 116 \cdot 6 + 78 \cdot 8 = 1320 \text{ (м)}.$$

Число вертикальних електродів  $nB = 16,57$ , повна довжина вертикальних електродів

$$LB = lB \cdot nB, \text{ (м)}.$$

$$L_B = 15 \cdot 16,57 = 248,55 \text{ (м)}.$$

Середня відстань між вертикальними провідниками

$$\alpha = P / nB, \text{ (м)}.$$

$$\alpha = 388 / 16,57 = 23,4 \text{ (м)}.$$

Визначаємо опір заземлювача

$$R = A \frac{\rho_{\text{ек.с}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{ек.с}}}{L_{\Gamma} + L_B}, (\text{Ом}),$$

$$\sqrt{S} = \sqrt{9048} = 95,12 \text{ (м}^2\text{)},$$

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}} = \frac{15 + 0,7}{95,12} = 0,16 > 0,1,$$

$$A = 0,38 - 0,25 \frac{l_B + t}{\sqrt{S}},$$

$$A = 0,38 - 0,25 \cdot 0,16 = 0,34,$$

$$\rho_{\text{эк.с}} = \rho_2 \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{\Delta}, (\text{Ом} \cdot \text{м}),$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{400}{100} = 4 > 1,$$

$$\Delta = 0,43 \frac{h_1 - t}{l_B} + 0,271g \frac{a}{l_B},$$

$$\Delta = 0,43 \frac{2 - 0,7}{15} + 0,271g \frac{22,2}{15} = 0,09,$$

$$\rho_{\text{ек.с}} = 100 \left( \frac{500}{100} \right)^{0,09} = 113,288 \text{ (Ом} \cdot \text{м)},$$

$$R = 0,34 \frac{113,288}{95,12} + \frac{113,288}{1320 + 248,55} = 0,43 \text{ (Ом)}.$$

Опір заземлювального пристрою, включаючи природні заземлювачі:

$$R_3 = \frac{R \cdot R_e}{R + R_e}, (\text{Ом}).$$

Опір природних заземлювачів наближено приймаємо  $R_e = 1,5 \text{ Ом}$  [13].



$$R_3 = \frac{0,43 \cdot 1,5}{0,43 + 1,5} = 0,334 \text{ (Ом)}.$$

Опір заземлювального пристрою нижче допустимого, але основною є величина допустимої напруги дотику.

По таблиці 5.7 для тривалості впливу  $\tau B = 0,2$  с найбільша допустима напруга дотику УДОТ. ДОП = 400 В.

Таблиця 5.7 – Найбільша допустима напруга дотику

| Тривалість дії, з                    | до 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | більше 1 до 3 |
|--------------------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|---------------|
| Найбільш дозволена напруга дотику, В | 500    | 400 | 200 | 130 | 100 | 65            |

Розраховуємо напругу, яка прикладена до людини:

$$U_{\text{Л}} = I_{\text{П0}}^{(1)} \cdot R_3 \cdot \alpha \cdot \beta, \text{ (В)}.$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт розподілу потенціалу по поверхні землі

$$\alpha = M \left( \frac{a\sqrt{S}}{I_B \cdot L_{\Gamma}} \right)^{0,45}.$$

З таблиці 10.8 визначаємо параметр М.

Таблиця 5.8 – Відношення опору верхнього шару ґрунту до нижнього

|                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\rho_1/\rho_2$ | 0,5  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 10   |
| М               | 0,36 | 0,50 | 0,62 | 0,69 | 0,72 | 0,75 | 0,77 | 0,79 | 0,80 | 0,82 |

Для  $\rho_1/\rho_2 = 4$  параметр  $M=0,72$ .

$$\alpha = 0,72 \left( \frac{23,4 \cdot 95,12}{15 \cdot 1320} \right)^{0,45} = 0,269$$

Коефіцієнт  $\beta = \frac{R_L}{R_L + R_C},$

де  $R_L = 1000$  Ом – опір тіла людини;

$R_C = 1,5 \rho_{в.ш.}$  – опір розтікання струму від ступнів.

$\rho_{в.ш.} = \rho_1 = 400$  – опір верхнього шару землі.

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 400} = 0,625$$

$$I_{П0}^{(1)} \approx I_{П0}^{(3)} = 10 \text{ (кА)}.$$

$$U_L = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,334 \cdot 0,269 \cdot 0,625 = 561 \text{ (В)}.$$

$U_L > U_{ДОТ. ДОП.}$

Для зменшення напруги дотику застосуємо підсипку шару гра вія товщиною 0,2 м по всій території ВРУ. Питомий опір верхнього шару при цьому  $\rho_{в.ш.} = 5000$  Ом·м, тоді

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 5000} = 0,118$$

Підсипка гравієм не впливає на розтікання струму із заземлювального пристрою, так як глибина закладення заземлювачів 0,7 м більше товщини шару гравію, тому співвідношення  $\rho_1/\rho_2$  і величина  $M$  залишаються незмінними, тоді напругу дотику

$$U_L = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,334 \cdot 0,269 \cdot 0,118 = 106 \text{ (В)},$$

$U_L < U_{ДОТ. ДОП.}$

Висновок: з наведеного вище бачимо, що вибраний заземлюючий пристрій повністю відповідає усім вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ і може бути встановлений на ВРУ 110 кВ.

## 5.6 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. Причинами пожеж та вибухів на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону "Про пожежну безпеку".

Небезпечними факторами пожежі і вибуху, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

За стан пожежної безпеки відповідають керівники, майстри та інші керівники.

Результати обрахунків наведені у ДОДАТКУ В.

## ВИСНОВКИ

В роботі була спроектована КЕС, яка призначена для видачі потужності в енергосистему і забезпечення електроенергією споживачів місцевого району.

Було розраховано графіки електричних навантажень електростанції, а також обчислено техніко-економічні показники роботи станції.

Для станції було обрано основне обладнання згідно завдання.

Структурну схему електростанції обрано блочною.

Електроенергія в енергосистему видається на напрузі 330 кВ, забезпечення електроенергією місцевих споживачів відбувається на напрузі 110 кВ. Розподільні установки 330 кВ та 110 кВ відкритого типу. Для ВРУ 110 кВ була прийнята схема «дві робочих системи збірних шин з обхідною», від ВРУ відходить сім повітряних ліній електропередачі. На підставі техніко-економічного порівняння двох варіантів була обрана схема ВРУ 330 кВ «4/3», від ВРУ відходить п'ять ПЛЕП.

РУ власних потреб 6 кВ виконана з однією секціонованою системою збірних шин.

Здійснено вибір струмоведучих частин, комутаційної, контрольно-вимірювальної апаратури та засобів для обмеження перенапруги. Обрана акумуляторна батарея, а також проведено розрахунок заземлювального пристрою ВРУ 330 кВ.

В результаті дослідження комутаційного обладнання, проведеного в роботі зробимо наступні висновки:

до переваг вакуумних вимикачів можна віднести

- широкий діапазон температур навколишнього середовища в якому можлива робота (від -70 до +200°C);

- підвищена стійкість до ударних і вібраційних навантажень;

- довільне робоче положення вакуумної дугогасильної камери в просторі;

- можливість організації високоавтоматизованого виробництва;

- термін служби до 25 років.

Недоліками вакуумних вимикачів є:

- труднощі розробки і виготовлення, пов'язані із створенням спеціальних контактних матеріалів, складністю вакуумного виробництва, схильністю матеріалів контактів до зварювання в умовах вакууму;

- великі капітальні вкладення, необхідні для наладки масового виробництва дугогасильних камер.

При масовому виробництві вартість вакуумних вимикачів всього на 5 - 15 % більше вартості малооливних і менше вартості електромагнітних однакової номінальної напруги. Велика економія при експлуатації робить ці вимикачі високоефективними, що обумовлює їх все більш широке розповсюдження в розподільних мережах 6 – 10 кВ та 35 кВ.

Застосування елегазових вимикачів є досить перспективним. Головним чином це завдячується властивостям елегаза, після гасіння дуги він розкладається на різні фториди і під дією дуги фактично перетворюється на одноатомну суміш фтору і сірки. Ця суміш у процесі гасіння при зменшенні струму миттєво рекомбінує, утворюючи вихідний продукт – елегаз. Хоч елегаз і коштує дорого, але його позитивні якості цілком себе виправдовують.

Загалом усі елегазові вимикачі є повністю вибухо- і пожежобезпечними, мають малу масу і розміри, придатні до зовнішньої і внутрішньої установки, не потребують компресорних станцій і не викидають ніяких вихлопів у атмосферу. Елегазове середовище навколо струмоведучих частин дозволяє значно зменшити масу завдяки гарним охолоджувальним властивостям.

Проведене порівняння різних вимикачів, а також приведені недоліки і переваги елегазових, повітряних і оливних вимикачів дозволяють зробити висновок про перевагу використання елегазових вимикачів перед іншими в класі напруг 110 кВ та вище.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с
2. Лежнюк П. Д., Лагутін В. М., Тептя В. В. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 194 с.
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Київ, 2017. URL: <http://195.78.68.67/minugol/doccatalog/document?id=245234103>.
4. Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». 2022. 164 с. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
5. Лежнюк П.Д. Комутаційні електричні апарати. / П.Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський, Л.Н. Добровольська – М.: Луцьк: ЛНТУ, 2010. – 321 с.
6. Лагутін В. М. Власні потреби електричних станцій. Навчальний посібник / В. М. Лагутін, ., В. В. Тептя, С. Я. Вишневський. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 102 с.
7. Буряк В.М., Дейнеко Н.А Експлуатація високовольтних вимикачів. / В.М. Буряк, Н.А. Дейнеко. – Харків: ХНУМГ, 2016. –51 с
8. Сергій Щербацький, Василь Свіридов, Олександр Сікорський, Валентин Урсуленко «ЗАСТОСУВАННЯ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ». Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН2024)». Секція "Електроенергетика та електромеханіка", Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. [Електронний ресурс]. URL1: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/viewFile/19651/16268>
9. СОУ-Н МЕВ 40.1-21677681-67:2012 "Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 6-35 кВ. Настанова щодо вибору та застосування у розподільчих установках", затвердженого наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 13 липня 2012 року № 515.
- 10 Тептя В. В., Кулик В. В. Електромеханічні перехідні процеси в електроенергетичних системах. Конспект лекцій. Вінниця: ВНТУ, 2021. – 183 с.

11. Свиридов М. П. Перехідні процеси. Розрахунок статичної і динамічної стійкості електричної мережі : навч. посібник / М. П. Свиридов, В. В. Тептя. Вінниця : ВНТУ, 2017. 99 с.
12. Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Zasady ogolne. Ochrona przed piorunowym impulsem: PN-IEC 61312-1:2001.
13. Бондаренко Є. А. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. / Є. А. Бондаренко., А. В. Сердюк – Вінниця : ВДТУ, 2013. – 160 с.
14. ГКД 34.20.507-2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила.
15. Закон України «Про охорону праці» / Законодавство України про охорону праці. – К. Нова редакція 2002 р.
16. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>
17. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.
18. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.–Х.: Видавництво «Форт», 2018. – 192с.

**ДОДАТКИ**



## Додаток А

### ПРОТОКОЛ

#### ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Електрична частина конденсаційної електростанції потужністю 1920 МВт з дослідженням особливостей комутаційного обладнання

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки  
(кафедра, факультет)

#### Показники звіту подібності Unichek

Оригінальність \_\_\_\_\_ Схожість \_\_\_\_\_

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вишневський С.Я.  
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichek щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Щербацький С.Б.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Нетребський В.В.  
(прізвище, ініціали)

**Додаток Б****Технічне завдання МКР**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В.О.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

\_\_\_\_\_

(підпис)

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

**ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА КОНДЕНСАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ  
ПОТУЖНІСТЮ 1920 МВТ З ДОСЛІДЖЕННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ  
КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ  
08-21.МКР.017.00.004 ТЗ**

Науковий керівник: к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_ Нетребський В.В.

Магістрант групи 1ЕС-22м

\_\_\_\_\_ Щербацький С.Б.

Вінниця 2023 р.

## **1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)**

а) в зв'язку з тим, що стан енергетичної галузі України на даний час є досить тяжким, що обумовлено зношенням обладнання, недостатньою кількістю генерувальних потужностей та зростанням споживання електричної енергії, постає необхідність проектування та введення в експлуатацію нових електричних станцій;

б) наказ ректора ВНТУ №247 від 18.09.2023 про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

## **2. Мета і призначення МКР**

а) мета – проектування електростанцію типу КЕС із потужністю 1920 МВт та аналіз сучасного комутаційного обладнання.;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

## **3. Вихідні дані для виконання МКР**

Список використаних джерел розробки:

1. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.

2. Лагутін В. М. Власні потреби електричних станцій: навчальний посібник / В. М. Лагутін, В. В. Тептя, С. Я. Вишневський. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 102 с.

3. Бондаренко Є. А. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. / Є. А. Бондаренко., А. В. Сердюк – Вінниця : ВДТУ, 2013. – 160 с.

## **4. Вимоги до виконання.**

Передбачається спорудження КЕС у центральному регіоні

– Станція типу КЕС потужністю 1920 МВт. Відстань до енергосистеми 490 км; паливо – вугілля; максимальна потужність, що віддається в систему 1300 МВт; номінальна потужність системи 14200 МВА; номінальний опір системи 0,26 в.о.; номінальна напруга системи 330 кВ; максимальна потужність, що віддається в місцевий район 250 МВт; номінальна напруга району 110 кВ

– елементна база: електротехнічне обладнання, що має бути встановлено на КЕС, українського та зарубіжного виробництва (“Південнемаш”, “Рівненський завод високовольтної апаратури”, “ABB” та ін.)

– конструктивне виконання: компоновку та головну схему електростанції виконують за типовими схемами.

– показники технологічності: проектування КЕС, монтаж та експлуатація електрообладнання мають виконуватися відповідно до вимог ПУЕ та ПТЕ.

– технічне обслуговування і ремонт: експлуатація, технічне обслуговування та ремонт обладнання буде здійснювати оперативний та ремонтний персонал станції.

– живлення об'єкта: для забезпечення надійного живлення споживачів власних потреб ТЕЦ, виконати проектування резервного живлення.

### 5. Етапи МКР та очікувані результати

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи     | Строк виконання етапів роботи |          | Примітка   |
|-------|---|-------------------------------|----------|--|
|       |   | початок                       | кінець   |  |
| 1     | Розроблення технічного завдання                       | 19.09.23                      | 26.09.23 | формування технічного завдання                                     |
| 2     | Техніко-економічне обґрунтування проектування КЕС     | 27.09.23                      | 2.10.23  | аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 |
| 3     | Електротехнічна частина                               | 3.10.23                       | 2.11.23  | розділ 2   |
| 4     | Порівняння типів вимикачів                            | 3.11.23                       | 10.11.23 | розділ 3   |
| 5     | Економічна частина                                    | 11.11.23                      | 16.11.23 | розділ 4   |
| 6     | Охорона праці та безпека в НС                         | 17.11.23                      | 24.11.23 | розділ 5   |
| 7     | Оформлення пояснювальної записки                      | 25.11.23                      | 2.12.23  | пояснювальна записка   |
| 8     | Виконання графічної частини та оформлення презентації | 3.12.23                       | 5.12.23  | плакати, презентація   |

## **6. Матеріали, що подаються до захисту МКР**

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

## **7. Порядок контролю виконання та захисту МКР**

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

## **8. Вимоги до оформлення МКР**

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011р.

## **9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом**

Відсутні.

## Додаток В

## Пожежна безпека

Приміщення ВРУ згідно ОНТП 24-86 відносяться до категорії Д. До цієї категорії відносяться негорючі речовини у холодному стані, будівлі II ступеня вогнестійкості.

Приміщення категорії Д захищається вогнегасниками типу ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливого загоряння не повинна перевищувати 70 м.

На території підприємства електричних мереж встановлено 3 пожежних щита. До комплексу засобів пожежогасіння, які розміщуються в ньому, слід включати: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском – 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті 2м x 2м – 1 шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт [29].

Ящик для піску має місткість 3 м<sup>3</sup> та укомплектований совковою лопатою. У приміщеннях щит повинен бути в легкодоступному місці, ближче до виходу.

Встановлення блискавковідводів задля забезпечення пожежної безпеки ВРУ – 110кВ.

Кожний блискавковідвід створює навколо себе певний простір, вірогідність попадання блискавки в яке практично рівна нулю. Цей простір називають зоною захисту блискавковідводу.

В залежності від типу, числа і взаємного розташування блискавковідводів зони захисту можуть мати різні геометричні форми.

Виконуємо розрахунок зони захисту стержневим блискавковідводом. Зона захисту подвійного стержневого блискавковідводу представляється вертикальним перерізом конуса у вигляді ламаної лінії [7,9].

Площа захисного пристрою становить  $S = (116 \times 78) \text{ м}^2$ ; найвища точка обладнання, яке необхідно захистити  $h_x = 13 \text{ м}$ ; висота блискавковідводу  $h = 21 \text{ м}$ .

Розбиваємо захисний пристрій на 20 однакових частин із довжиною  $L_1 = 35$  м. і шириною  $L_2 = 11,1$  м. рисунок 7.2. Показуємо розрахунок для одної частини.

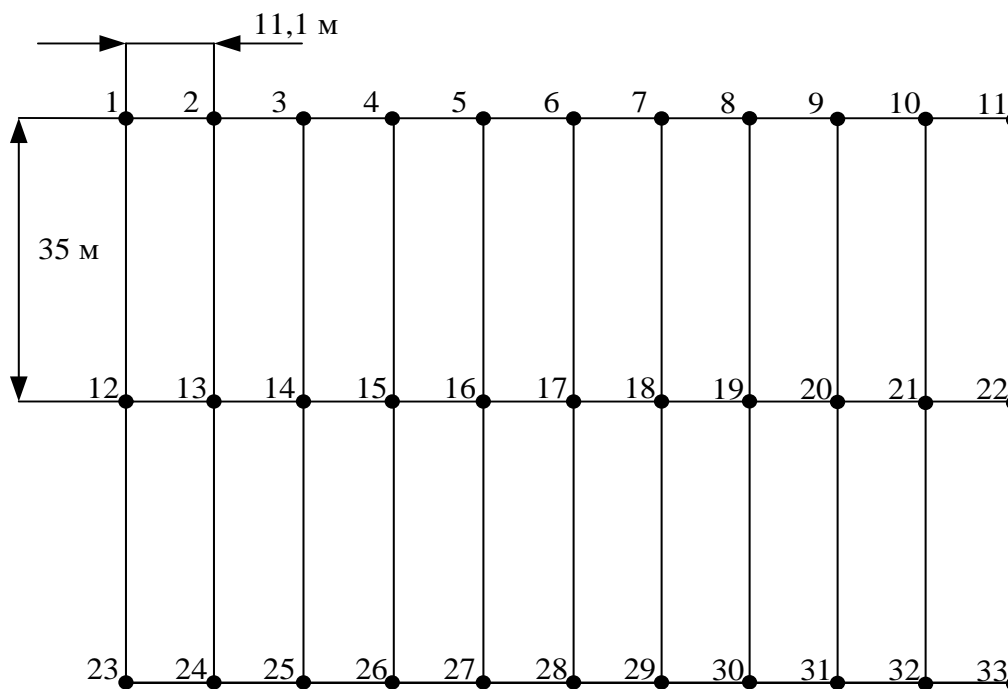


Рисунок 5.2 – План встановлення блискавковідводів на ВРУ 110 кВ

Для побудови зони захисту повинні виконуватися дані умови:

- висота блискавковідводу  $h \leq 60$  м;
- $r_x$  – радіус зони захисту одного БВ, м:

$$\begin{cases} r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25h_x), & \text{якщо } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h; \\ r_x = 0,75 \cdot (h - h_x), & \text{якщо } h > h_x > \frac{2}{3}h. \end{cases}$$

- $h_0$  – верхня границя зони захисту, м:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2}.$$

- $b_x$  – ширина найвужчого місця зони захисту між двома БВ, м:

$$\begin{cases} b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x), & \text{якщо } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h; \\ b_x = 1,5 \cdot (h_0 - h_x), & \text{якщо } h > h_x > \frac{2}{3}h. \end{cases}$$

Розрахуємо всі величини, необхідні для побудови зон захисту [13].

$$h_x = 13 \text{ (м)}; h = 21 \text{ (м)}; L_1 = 35 \text{ (м)}; L_2 = 11,1 \text{ (м)}; L_3 = 36,717 \text{ (м)}.$$

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25h_x) = 1,5 \cdot (21 - 1,25 \cdot 13) = 7,125 \text{ (м)};$$

$$h_0 = 4 \cdot 21 - \sqrt{9 \cdot 21^2 + 0,25 \cdot 35^2} = 18,614 \text{ (м)};$$

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x) = 3 \cdot (18,614 - 1,25 \cdot 13) = 7 \text{ (м)}.$$

Таблиця 5.5 – Розрахунки отриманих величин

|           | $L_1$ , м | $L_2$ , м | $L_3$ , м |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $r_x$ , м | 7,125     | 7,125     | 7,125     |
| $h_0$ , м | 18,614    | 20,76     | 18,379    |
| $b_x$ , м | 7         | 13,35     | 6,387     |

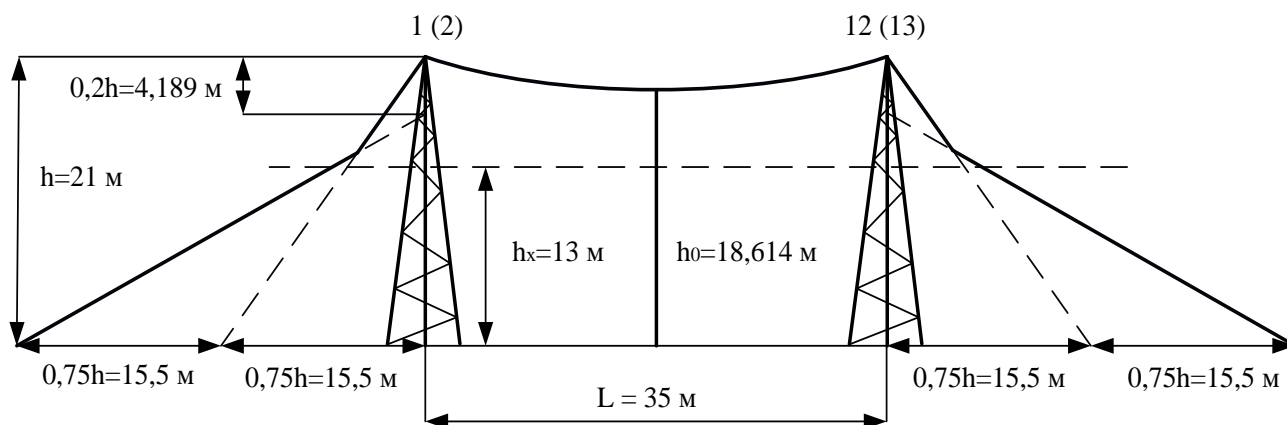


Рисунок 5.3 – Зони захисту блискавквідводами, вид збоку



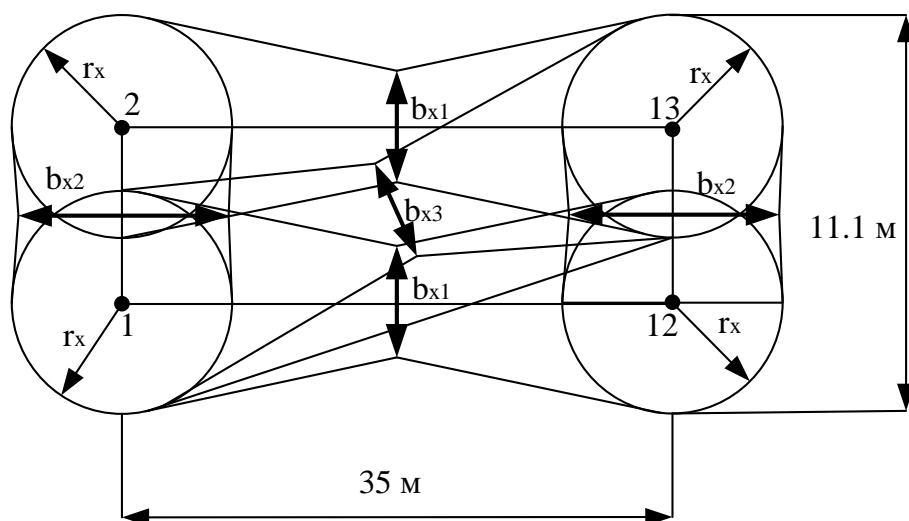


Рисунок 5.4 – Зони захисту ВРУ 110 кВ блискавковідводами, вид зверху

Висновок: з наведеного вище бачимо, що вибрана система блискавковідводів забезпечить зону захисту ВРУ 110 кВ задля пожежної безпеки.

## ДОДАТОК Д

(обов'язковий)

### ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА КОНДЕНСАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 1920 МВТ З  
ДОСЛІДЖЕННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

**Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської роботи є проектування електростанцію типу КЕС із потужністю 1920 МВт та аналіз сучасного комутаційного обладнання.

Згідно до наведеної мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

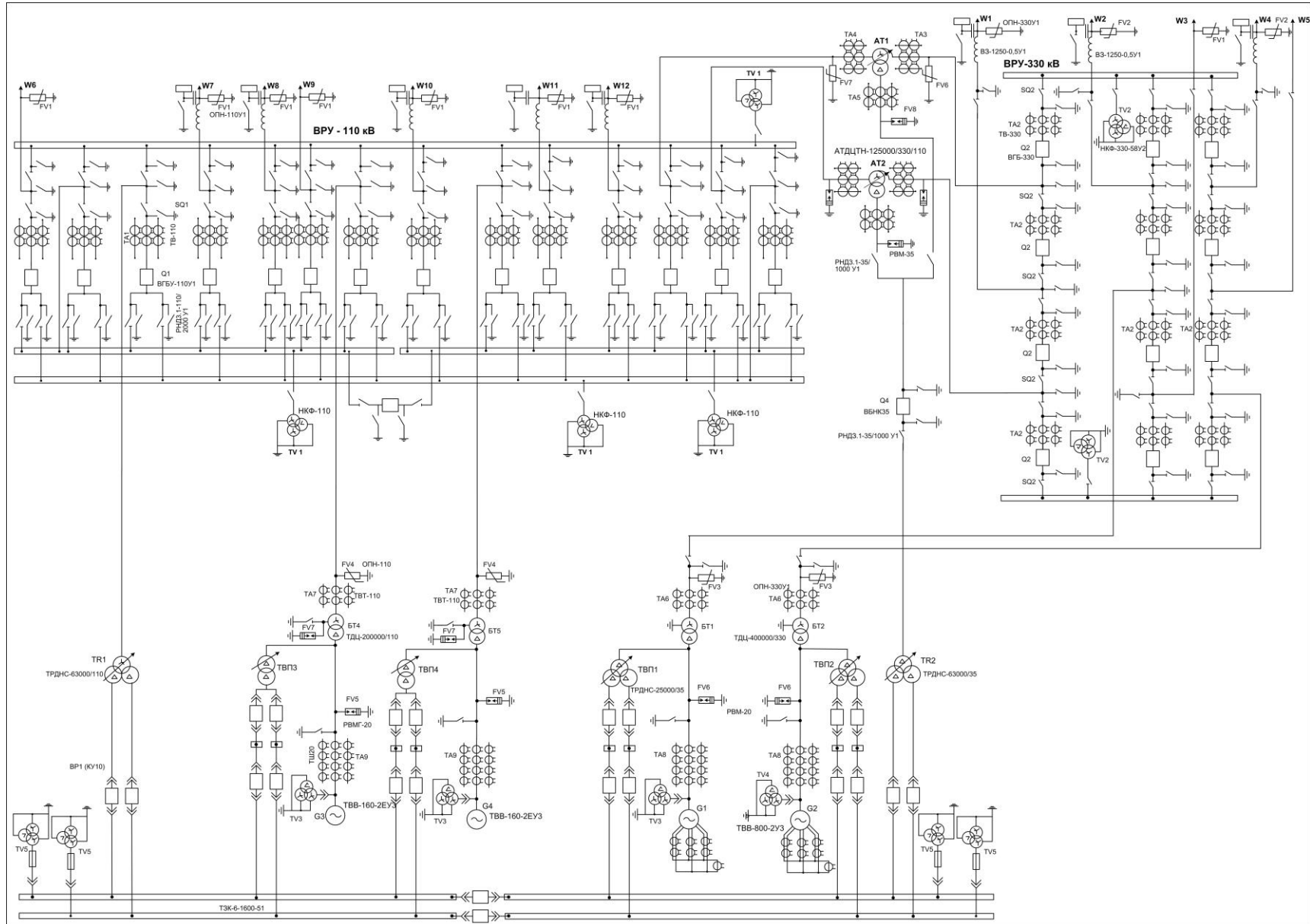
- техніко-економічне обґрунтування проекту КЕС, що включає аналіз вартості, ефективності та потенційних ризиків;;
- розробка головної схеми електричних з'єднань КЕС, включаючи вивчення оптимальних варіантів розміщення обладнання та мінімізацію втрат енергії;
- вибір комутаційної апаратури, струмоведучих частин, вимірювальних трансформаторів струму та напруги, а також акумуляторної батареї, з огляду на надійність та довговічність;
- аналіз особливостей сучасного комутаційного обладнання;
- розрахунок ключових техніко-економічних показників КЕС для оцінки її продуктивності та економічної вигідності;
- розроблення комплексу організаційно-технічних рішень з охорони праці.

**Об'єктом дослідження** магістерської кваліфікаційної роботи є електрична частина конденсаційної станції.

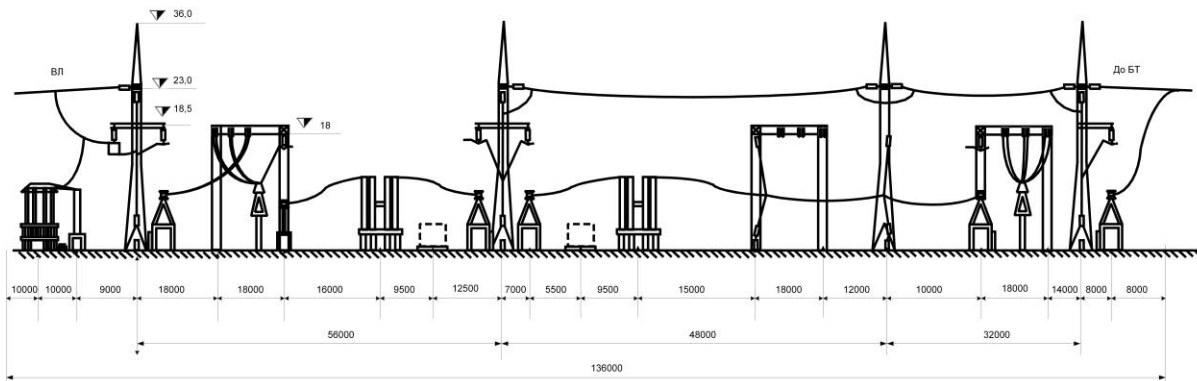
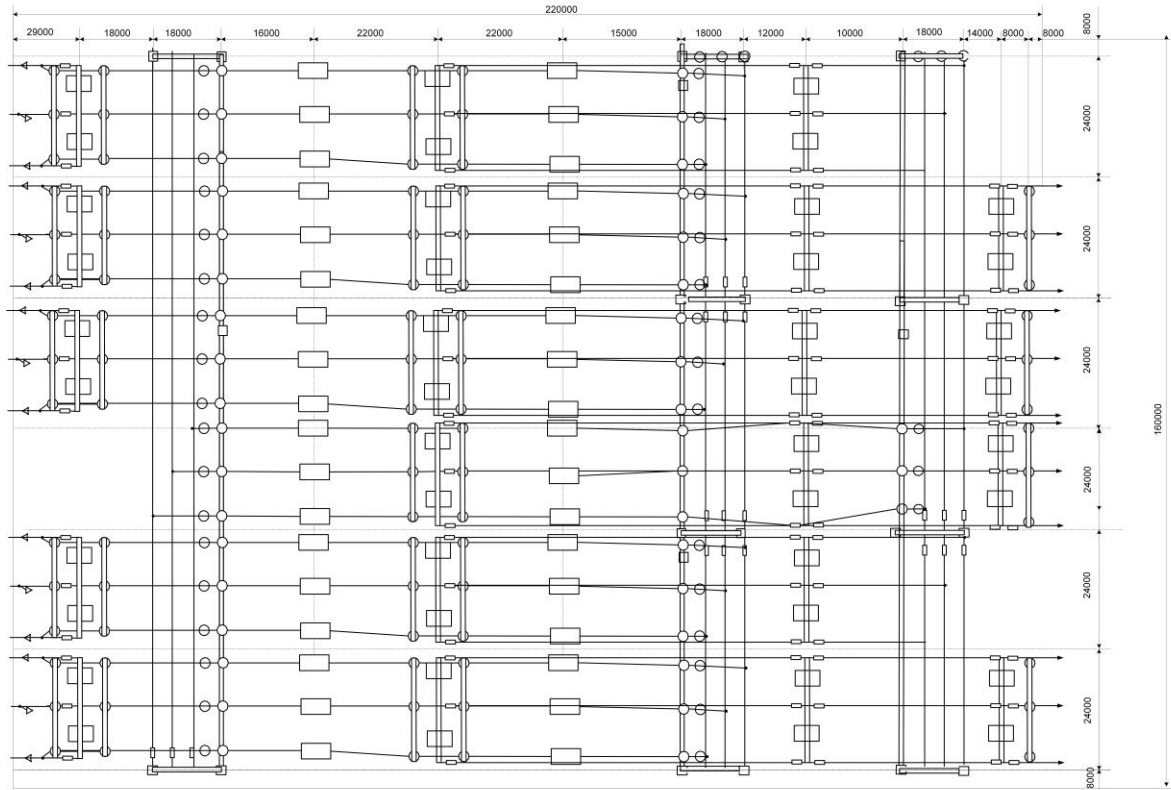
**Предметом дослідження** є методи та засоби проектування електричних станцій і режими роботи комутаційного обладнання.

**Методи дослідження.** Для аналізу та розв'язання поставлених вище задач використано практичні методи математичного моделювання. Під час проектування головної схеми електричних з'єднань станції типу КЕС використано елементи теорії надійності.

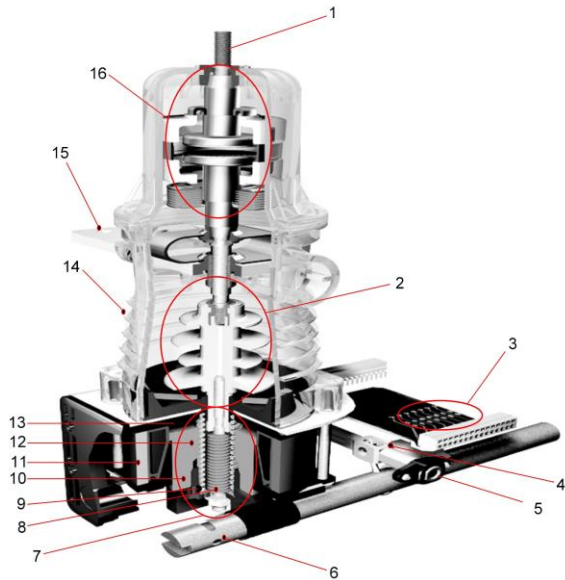
### Головна схема електричних з'єднань КЕС



План та поперечний розріз ВРУ-330 кВ



Поліус вакуумного вимикача серії ВВ/TEL

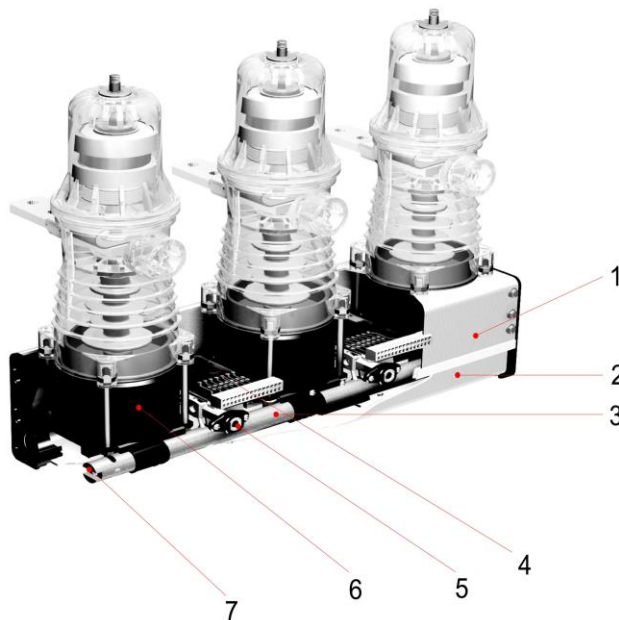


- 1-верхній вивід
- 2-вакуумна дугогасильна камера
- 3-допоміжні контакти
- 4-кулачок
- 5-блокувальна тяга
- 6-синхронізуючий вал
- 7-електромагнітний привід
- 8-пружина допоміжного підтягування контактів
- 9-вимикаюча пружина
- 10-якір привода
- 11-кільцевий постійний магніт
- 12-катушка електромагнітного привода
- 13-плоский магнітопровід
- 14-тяговий ізолятор
- 15-опорний ізолятор
- 16-нижній вивід

### До переваг вакуумних вимикачів можна віднести:

- широкий діапазон температур навколишнього середовища в якому можлива робота (від  $-70$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ );
- підвищена стійкість до ударних і вібраційних навантажень;
- довільне робоче положення вакуумної дугогасильної камери в просторі;
- термін служби до 25 років.

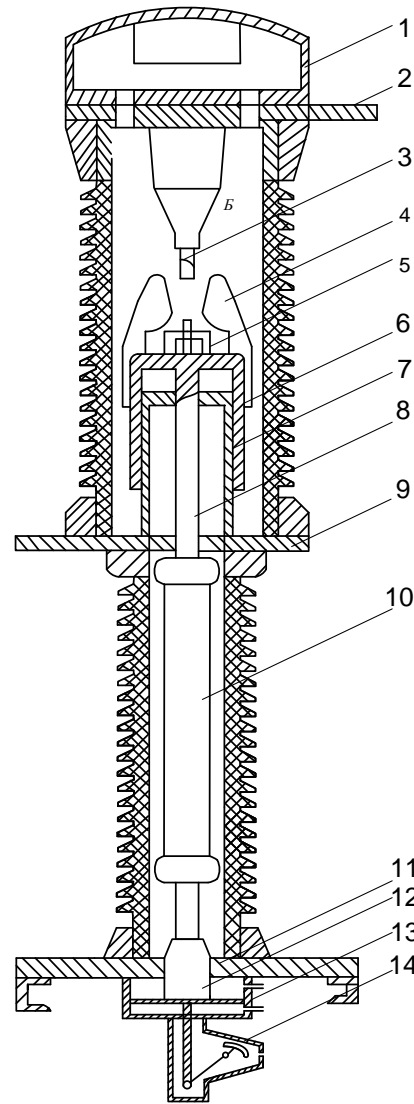
Вимикач вакуумний серії ВВ/TEL



- 1- основа
- 2- кришка
- 3- синхроніз руючий вал
- 4- допоміжні контакти
- 5- блокувальна тяга
- 6- привід
- 7- ребристий блокувальний вузол

### Недоліками вакуумних вимикачів є:

- труднощі розробки і виготовлення, пов'язані із створенням спеціальних контактних матеріалів, складністю вакуумного виробництва, схильністю матеріалів контактів до зварювання в умовах вакууму;
- великі капітальні вкладення, необхідні для наладки масового виробництва дугогасильних камер.



- 1 – верхня кришка,
- 2 – фланець,
- 3 – нерухомий контакт,
- 4 – фторопластове сопло,
- 5 – пересувний контакт,
- 6 – пересувний циліндр,
- 7 – нерухомий поршень,
- 8 – сталевий стрижень,
- 9 – фланець,
- 10 – ізоляційна тяга,
- 11 – підставка, 12 – шток,
- 13 – пневмопривід

**Колонковий елегазовий вимикач типу ВГТ-110**

## Порівняльний аналіз ремонтних робіт, придбання нового КРУ і Ретрофіта

| Критерій   | Ремонт | Ретрофіт | Нове КРУ |
|--|--------|----------|----------|
| Вартість, порівнюючи із Ретрофітом               | 1/4    | 1        | 3        |
| Строк введення у дію однієї комірки, дні         | 5      | 2        | 14       |
| Термін роботи, років                             | 2-5    | 25       | 25       |
| Функціональні можливості, порівнюючи з новим КРУ | 15%    | 95%      | 100%     |