

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ І ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з дисципліни
«Надійність систем електропостачання»
для студентів ОС «Магістр» денної та дистанційної форм
навчання зі спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

СУМИ 2019

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ І ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з дисципліни
«Надійність систем електропостачання»
для студентів ОС «Магістр» денної та дистанційної форм
навчання зі спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

СУМИ 2019

УДК631.81(631)

ББК 40.72

Укладачі: к.т.н., професор Яковлев Валерій Федорович
Ст. викладач Савойський Олександр Юрійович

Методичні до виконання курсового проекту з дисципліни «Надійність систем електропостачання» для студентів ОС «Магістр» денної та дистанційної форм навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Суми: Сумський НАУ, 2019. - 55 с

Рецензенти: Назаренко І.П., д.т.н, професор кафедри електроенергетики і автоматизації Таврійського державного агротехнологічного університету
Смоляров Г.А., к.т.н., доцент кафедри енергетики і електротехнічних систем Сумського національного аграрного університету

Відповідальний за випуск: професор кафедри енергетики і електротехнічних систем, професор Яковлев В.Ф.

Рекомендовано до видання: засіданням кафедри енергетики і електротехнічних систем. Протокол №2 від “ 9 “ вересня 2019 року

Рекомендовано до видання: методичною радою ІТФ
Протокол № 1 від “ 19 “ вересня 2019 року

Рекомендовано до видання: методичною радою університету
Протокол № 2 від “ 25 “ вересня 2019 року

© Сумський національний аграрний університет
© Яковлев В.Ф., Савойський О. Ю., 2019 рік

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИКОНАННЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	6
1.1. Загальні положення	6
1.2. Структура проекту	7
1.3. Вимоги до змісту проекту	7
1.3.1. Титульний лист	7
1.3.2. Завдання	7
1.3.3. Відомість курсового проекту	7
1.3.4. Реферат (анотація)	7
1.3.5. Зміст	8
1.3.6. Основна частина	8
1.3.7. Список літератури	9
1.3.8. Оформлення додатків	9
2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ	10
2.1. Розрахунок показників надійності схеми	10
2.1.1. Основні умови при складанні структур систем електропостачання	10
2.1.2. Послідовне з'єднання елементів структури СЕП	10
2.1.3. Урахування навмисних відключень	14
2.1.4. Структури СЕП з паралельним з'єднанням елементів	14
2.1.5. Урахування навмисних відключень при паралельному з'єднанні елементів	17
2.1.6. Складне з'єднання елементів структури СЕП	17
2.2. Визначення середнього часу безвідмовної роботи	21
2.3. Визначення імовірності відмови системи на протязі одного року	21
3. ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	22
3.1. Визначення складових приведених витрат	22
3.2. Визначення очікуваного недовідпуску електроенергії	22
3.3. Збиток від недовідпуску електроенергії	22
3.4. Таблиця результатів розрахунків системи	23
4. Приклад виконання курсового проекту	24
5. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	54

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИКОНАННЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

1.1. Загальні положення

Курсове проектування ставить перед собою за мету надати студенту навички самостійного вирішення конкретних інженерних задач, на основі придбаних знань при вивченні загальнотехнічних та профілюючих дисциплін. Воно повинно сприяти закріпленню, поглибленню і узагальненню знань, які отримані студентом за час навчання. Системою курсового проекту студент готується до виконання більш складної інженерної задачі – дипломного проектування.

При роботі над проектом студент, у відповідності з завданням на проектування, вирішує конкретні конструкторські, технологічні та організаційно-економічні задачі. В процесі проектування він повинен проявити вміння користуватися довідковою літературою, стандартами, табличними матеріалами, номограмами, кошторисними нормами, періодичною та іншою літературою.

Курсове проектування – заключний етап навчального процесу підготовки інженера-енергетика з даної дисципліни. Воно передбачає систематизацію, закріплення і розширення теоретичних знань по спеціальності та застосування їх при вирішенні конкретних наукових, технічних, економічних і виробничих задач.

Курсовий проект є першою самостійною роботою, у якій студент повинен проявити не тільки здібність до використання матеріалів по розрахунку надійності систем електропостачання, але і вміння аналізувати варіанти рішень з точки зору їх технічної та економічної доцільності.

Всі рішення, які застосовані студентом в процесі розробки курсового проекту, повинні бути підлеглими задачам, які поставлені перед агропромисловим комплексом держави.

За прийнятті у проекті технічні рішення і достовірність різних розрахунків відповідає автор проекту (студент).

Конкретну тематику, зміст розрахунково-пояснювальної записки і перелік графічних робіт уточнює кафедра у відповідності з програмою курсу.

Розрахунково-пояснювальна записка і графічні роботи виконуються у відповідності з діючими стандартами ДСТУ, ЄСКД.

1.2. Структура проекту

Розрахунково-пояснювальна записка проекту повинна містити : титульний лист; завдання; відомість проекту; реферат (анотацію); зміст; перелік скорочень, символів и спеціальних термінів з їх визначеннями (при необхідності); основну частину проекту; список літератури; додатки (при необхідності).

1.3. Вимоги до змісту проекту

1.3.1. Титульний лист

Титульний лист є першим листом документу. Він виконується по **ГОСТ 2.105-95(2006)** на листах формату А4 (210x297 мм). Загальний вид та приклад заповнення титульного листа для курсових проектів наведено у прикладі.

1.3.2. Завдання

Вихідним документом на виконання проекту є завдання, яке затверджено завідувачем кафедри. У завданні, яке надається студенту, чітко формулюється назва теми, наводяться необхідні вихідні дані, вказуються структура розрахунково-пояснювальної записки і зміст графічних робіт, а також вказуються терміни виконання розділів та всього проекту.

1.3.3. Відомість курсового проекту

Відомість курсового проекту відноситься до документів, які розбиті на графи і виконується відповідно до **ГОСТ 2.105-95(2006)**. Приклад заповнення першого листа відомості наведено у прикладі.

1.3.4. Реферат (анотація)

Реферат призначено для ознайомлення з пояснювальною запискою. Він повинен бути стислим, інформативним. Реферат повинен бути розміщено безпосередньо після відомості курсового проекту, починаючи з нової сторінки.

Реферат повинен містити:

- відомості про об'єм пояснювальної записки, кількості розділів, кількості ілюстрацій, таблиць, додатків, кількості джерел згідно переліку посилань (наводять усі відомості, включно дані додатків);

- текст реферату;

- перелік ключових слів.

Текст реферату повинен відображати наведену у проекті інформацію і, як правило, у такій послідовності:

- об'єкт дослідження або розробки;

- мету роботи;

- методи дослідження і апаратура;

- результати та їх новизна;

- основні конструктивні, технологічні і техніко- експлуатаційні

характеристики та показники;

- ступень впровадження;
- взаємозв'язок з іншими роботами; рекомендації відносно використання результатів роботи;
- область застосування;
- економічна ефективність;
- значення роботи та висновки;

Реферат необхідно виконувати об'ємом не більше 500 слів, і, бажано, щоб він умістився на одній сторінці формату А4 (210x297 мм).

Ключові слова, які є визначними для розкриття суті пояснювальної записки, розміщуються після тексту реферату.

Перелік ключових слів містить від 5 до 15 слів (словосполучень), надрукованих прописними (великими) буквами у іменному відмінку в строку через коми.

Анотація об'ємом 1, 2 сторінки повинна включати: конкретні відомості, які розкривають зміст основної частини проекту; краткі висновки відносно особливостей, ефективності, можливості та області застосування отриманих результатів.

1.3.5. Зміст

В текстових документах об'ємом більш 10 сторінок розміщують зміст. Він містить найменування та номери початкових сторінок усіх розділів, підрозділів і пунктів (якщо вони мають заголовки). Зміст виконують згідно **ГОСТ 2.105-95(2006)**.

1.3.6. Основна частина

Основна частина записки повинна починатися зі вступу. У вступі кратко характеризують сучасний стан питання, якому присвячується робота, а також мета проекту. У вступі слід чітко сформулювати, у чому заключається новизна та актуальність наданої роботи, та обґрунтовують необхідність її проведення. Об'єм вступу 1...2 сторінки.

Подальший зміст основної частини проекту повинен строго відповідати завданню на проектування і закінчуватися заключенням.

В заключенні наводиться підсумок відпрацьованої роботи. В заключенні повинно міститися: оцінка результатів роботи; висновки по відпрацьованій роботі; пропозиції по використанню отриманих результатів; шляхи та мета подальшої роботи у цій області або обґрунтовано недоцільність її продовження.

Об'єм розрахунково-пояснювальної записки курсового проекту до 30 сторінок рукописного тексту.

1.3.7. Список літератури

Список повинен містити перелік літератури, яка використана при виконанні проекту. Виконується список у відповідності до **ГОСТ 7.32-91** і даними рекомендаціями.

1.3.8. Оформлення додатків

Додатки оформляються як продовження пояснювальної записки. Оформлення додатків виконується по **ГОСТ 2.105-95(2006)**.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Розрахунок показників надійності схеми

2.1.1. Основні умови при складанні структур систем електропостачання

Визначення показників надійності для структур систем електропостачання (СЕС) відрізняється від визначення тих самих показників для елементів тим, що в структурі показники надійності елементів або відомі, або задаються. При цьому на розглядувану систему накладаються деякі умови:

- 1) система розглядається як деяка абстрактна структура і незалежна від її фізичної природи;
- 2) структура має вхід x і вихід y ;
- 3) показники надійності структури СЕС визначаються на виході;
- 4) елементи структури знаходяться тільки в двох станах: роботоздатному або нероботоздатному;
- 5) відмови елементів структури розглядаються як незалежні дії;
- 6) потік відмов та відновлення елементів є простими діями;
- 7) пропускна здатність елементів структури необмежена.

Для здійснення розрахунків показників надійності СЕС необхідно:

- 1) розглядувану систему представити у вигляді структурної схеми, на якій кожен елемент дається у вигляді еквівалентного прямокутника із своїми значеннями розрахункових або заданих показників надійності x_i (рисунок 2.1).

Показники надійності деяких елементів СЕС наведені у таблиці 2.1;

- 2) провести еквівалентування всієї структурної схеми, тобто сукупність елементів привести до загального елемента з сумарним значенням показників надійності. При цьому необхідно дотримуватись правил еквівалентування послідовно, паралельно та змішано з'єднаних елементів схем;

- 3) визначити проміжні та загальні показники надійності.

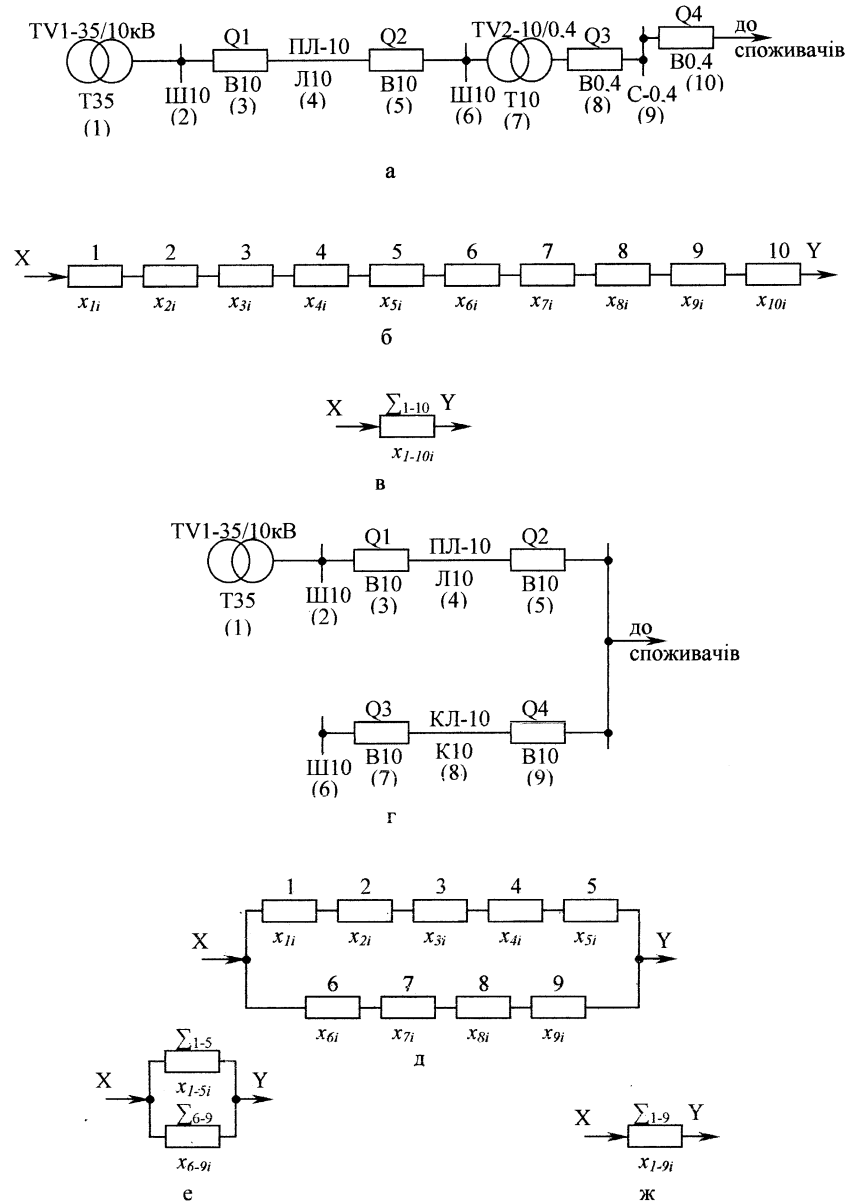
Нижче наведені правила еквівалентування та розрахунку показників надійності для різних схем з'єднання елементів структури СЕС.

2.1.2. Послідовне з'єднання елементів структури СЕС

Послідовним з'єднанням називається така структура, відмова якої трапляється при виході з ладу хоча б одного елемента, тобто послідовна структура роботоздатна, коли усі її елементи роботоздатні.

Прикладом такої структури може бути схема, яка наведена на рисунку 2.1а. При виході з ладу хоча б одного із вимикачів Q1 – Q4 або ділянки лінії 10 кВ (елемент 4), шин 10 або 0,4 кВ (елементи 2, 6, 9), будь якого трансформатора (TV1 або TV4) вся мережа становиться недієздатною, тобто споживачі не будуть отримувати електричну енергію. Структурна схема системи електропостачання з послідовним

з'єднанням елементів наведена на рисунку 2.1б. В результаті еквівалентування схеми необхідно визначити еквівалентні показники надійності x_{1-10i} , формули для розрахунку яких (при послідовному з'єднанні елементів) наведені у таблиці 2.2.



а – в – послідовне з'єднання; г – ж - паралельне з'єднання елементів
Рисунок 2.1 – Приклади структур СЕП з послідовним і паралельним з'єднаннями елементів та їх перетворювання (еквівалентування)

Таблиця 2.1 – Показники надійності елементів систем електропостачання

Елемент	Умовне позначення	Частота відмов ω , рік ⁻¹	Середній час відновлення, τ , год	Частота навмисних відключень ν , рік ⁻¹	Середній час обслуговування η , год
Повітряна лінія 35, 110 кВ одноколова, на 1 км	Л110	0,08	6/8*	0,1/0,15*	6,5/8*
Обидва кола повітряної лінії 35, 110 кВ, на 1 км	2Л110	0,008	10/-	0,01/-	8/-
Повітряна лінія 6, 10 кВ одноколова, на 1 км	Л10	0,25	5/6	0,2/0,25	5/5,8
Кабельна лінія 6, 10 кВ, на 1 км	К10	0,10	15/50-25**	0,3/0,5-1**	3/30-10**
Дві кабельні лінії 6, 10 кВ у одній траншеї, на 1 км	2К10	0,005	15/-	0,05/-	3/-
Повітряна лінія 0,38 кВ, на 1 км	Л0,4	0,20	4/3	0,25/0,30	4/6
Трансформатор 35, 110 кВ	Т110	0,03	25/30	0,3/0,5	10/12
Трансформатор 6, 10 кВ	Т10	0,035	6/8	0,25/0,30	6/8
Чарунка вимикача 35, 110 кВ	В110	0,02	5,5/7	0,2/0,3	5/6
Чарунка вимикача 6, 10 кВ внутрішнього встановлення	В10	0,015	5/6	0,15/0,25	4/7
Чарунка вимикача 6, 10 кВ КРПН зовнішнього встановлення	В010	0,05	4,5/5,5	0,25/0,35	4/7
Чарунки ВД (КЗ) 35, 110 кВ	ВД(КЗ)	0,05	3,5/5	0,25/0,35	4/6
Чарунка роз'єднувача 35, 110 кВ	Р110	0,005	3/4,5	0,2/0,3	3/5
Чарунка роз'єднувача 6, 10 кВ внутрішнього встановлення	РВ10	0,002	2,5/4	0,15/0,25	2,5/5
Чарунка роз'єднувача 6, 10 кВ КРПН зовнішнього встановлення	РЗ10	0,01	2,5/4	0,15/0,25	2,5/5
Чарунка ПК 6, 10 кВ	ПК	0,05	2,5/3	0,15/0,25	2,5/4
Лінійний роз'єднувач 6 і 10 кВ	ЛР10	0,08	3,5/6	-	-
Шини ВРП 35, 110 кВ (на 1 приєднання)	Ш110	0,001	4/6	0,1/0,2***	5/7***
Шини РП 6, 10 кВ (на 1 приєднання)	Ш10 кВ	0,001	3,5/5	0,12/0,2***	4/6***
Збірка НН – 0,4 кВ ТП	С0,4	0,007	3/5	0,15/0,25	4/6

Примітка: * - у чисельнику – для нерезерованих систем, а у знаменнику – для резервованих;

** - 25/01 – величини, які наведені для живлячих мереж 6, 10 кВ;

*** - показники для усієї системи (секції) шин

Таблиця 6.2 – Номенклатура показників надійності структур СЕП при послідовному з'єднанні елементів

Найменування показників надійності	Математичний вираз для розрахунку показника надійності структури СЕП	Розшифрування символів, які входять до математичного виразу
1	2	3
Без урахування навмисних відключень		
1. Частота відмов $\omega_c^{(n)}$	$\omega_c^{(n)} = \sum_{i=1}^n \omega_i$	ω_i - частота відмов і-го елемента, рік ⁻¹ ; n - кількість елементів схеми
2. Середній час без відмовної роботи $T_c^{(n)}$	$T_c^{(n)} = (\omega_c^{(n)})^{-1} = \left[\sum_{i=1}^n (T_i)^{-1} \right]^{-1}$	T_i - середній час безвідмовної роботи і-го елемента структури, год (рік)
3. Середній час відновлення $\tau_c^{(n)}$	$\tau_c^{(n)} = (\omega_c^{(n)})^{-1} \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \tau_i$	τ_i - середній час відновлення і-го елемента, год (рік)
Тільки при навмисному відключенні		
4. Частота навмисних відключень $\nu_c^{(n)}$	$\nu_c^{(n)} = \sum_{i=1}^n \nu_i$ з урахуванням коефіцієнту збіжності $g_{\delta i}$ (при нееквівалентованій структурі) $\nu_c^{(n)'} = \nu_{\delta} + \sum_{i=1, i \neq \delta}^n \nu_i (1 - g_{\delta i})$	ν_i - частота навмисних відключень і-го елемента, рік ⁻¹ ; ν_{δ} - частота навмисних відключень базового елемента, рік ⁻¹ ; $g_{\delta i}$ - коефіцієнт збіжності і-го елемента; береться з таблиці 3.3
5. Середній час обслуговування $\eta_c^{(n)}$	$\eta_c^{(n)} = (\nu_c^{(n)})^{-1} \sum_{i=1}^n \nu_i \eta_i$ з урахуванням коефіцієнту збіжності $\eta_c^{(n)'} = (\nu_c^{(n)'})^{-1} [\nu_{\delta} \eta_{\delta} + \nu_{max} \times (\eta_{max} - \eta_{\delta}) + \sum_{i=1, i \neq \delta}^n \nu_i (1 - g_{\delta i}) \eta_i]$	η_i, η_{δ} - середній час обслуговування і-го та базового елементів, год; ν_{max} - частота навмисного відключення елемента, у якого цей показник найбільший, рік ⁻¹ ; η_{max} - середній час обслуговування елемента, у якого цей показник має найбільше значення, год; n - кількість елементів схеми
З урахуванням навмисних відключень		
6. Частота відмов $\omega_c^{(n)}$	$\omega_c^{(n)} = \sum_{i=1}^n \omega_i$	ω_i - частота відмов елемента, який не підлягає навмисному відключенню, рік ⁻¹ ;
7. Середній час відновлення $\tau_c^{(n)}$	$\tau_c^{(n)} = (\omega_c^{(n)})^{-1} \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \tau_i$	τ_i - середній час відновлення елемента, який не підлягає навмисному відключенню, год (рік);

2.1.3. Урахування навмисних відключень

Як позначено раніше, навмисне відключення – це відключення, яке передбачено навмисно і виконується експлуатаційним персоналом. При цих відключеннях виконуються роботи, які направлені на підвищення надійності СЕП. Але з іншого боку, навмисні відключення знижують надійність електропостачання, так як створюють нерезервовані схеми. Тобто навмисні відключення тим чи іншим чином впливають на показники надійності СЕП, і їх необхідно враховувати як при проектуванні, так і при експлуатації електричних систем.

При послідовному з'єднанні елементів частота навмисних відключень ν_c і середній час обслуговування η_c для окремих елементів розраховується по виразах 4 і 5 таблиці 2.2.

Але ж треба відмітити, що при ремонті електрообладнання звичайно відключаються декілька взаємопов'язаних елементів. Це означає, що сумарне значення частоти навмисних відключень цих елементів менше, ніж сума частот окремих елементів. Тому для даного випадку прийнято наступне. Один з елементів схеми, який найчастіше відключається, приймають за *базовий*, а частоту навмисних відключень останніх елементів розраховують по відношенню до базового за допомогою *коефіцієнту збіжності*:

$$g_{oi} = \frac{m(\Delta t_n)_{oi}}{M_{ci}(t)}, \quad (2.1)$$

де $m(\Delta t_n)_{oi}$ - кількість навмисних відключень і-го елемента, які виконані сумісно з навмисними відключеннями базового елемента, за період часу Δt_n ;

$M_{ci}(t)$ - загальна кількість навмисних відключень і-го елемента.

Значення коефіцієнту збіжності для основних елементів систем електропостачання наведені в таблиці 2.3.

З урахуванням коефіцієнту збіжності вирази для визначення показників навмисних відключень також наведені у таблиці 2.2 (вирази 4 і 5). Слід відмітити, що ці формули дійсні, коли система не еквівалентована. Після проведення еквівалентування елементів ці показники розглядаються як незалежні події, тому розрахунок ведеться по формулам без урахування коефіцієнту збіжності.

2.1.4. Структури СЕП з паралельним з'єднанням елементів

Паралельним з'єднанням називається така структура, відмова якої може наступити тільки при відмові усіх елементів структури. Прикладом такої системи може служити схема електричної мережі, яка наведена на рисунку 2.1 г і більш наочно (після її еквівалентування) на рисунку 2.1 е.

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнтів збіжності основних елементів систем електропостачання

Елемент системи	Базові елементи			
	ПЛ (КЛ) 35, 110 кВ	ПЛ (КЛ) 6, 10 кВ	трансформатор 110, 35/ 10 кВ	трансформатор 6, 10/ 0,4 кВ
1. ПЛ 6, 10 кВ	0,7	1,0	0,6	-
2. КЛ 6, 10 кВ	0,6	1,0	0,5	-
3. Чарунка РП-35, 110 кВ	0,8	-	0,6	-
4. Чарунка вимикача 6, 10 кВ	0,85	0,8	0,7	-
5. Чарунка РП-6, 10 кВ	0,3	0,6	0,4	1,0
6. Трансформатор 35, 110/ 10 кВ	0,6	-	1,0	-
7. Трансформатор 6, 10/ 0,4 кВ	0,3	0,6	0,4	1,0
8. Шини 35, 110 кВ	0,6	-	0,8	-
9. Шини 6, 10 кВ	0,75	-	0,7	0,8
10. Збірка НН ТП	-	0,4	-	0,8

Ця система забезпечує споживачів енергією від двох незалежних джерел (рисунок 2.1 г) TV1 – 35/10 кВ (елемент 1) і шин 10 кВ Ш10 (елемент 6) та по двох лініях ПЛ-10 кВ (елемент 4) і КЛ-10 кВ (елемент 8). На схемі заміщення (рисунок 2.1 д) структура представляє собою два ланцюга з послідовним з'єднанням елементів $x_{1i} - x_{5i}$ та $x_{6i} - x_{9i}$. Після еквівалентування (по правилам для послідовних з'єднань) отримуємо схему з паралельним з'єднанням двох еквівалентованих елементів $x_{1i} - x_{5i}$ і $x_{6i} - x_{9i}$ (рисунок 2.1 е) з сумарними значеннями показників надійності. Споживач буде отримувати електричну енергію до тих пір, поки не вийдуть з ладу одночасно елементи x_{1-5i} і x_{6-9i} . При виході тільки одного із цих еквівалентних елементів живлення споживачів не порушиться. Воно буде здійснюватися через другий еквівалентований елемент. Для розрахунку показників надійності для усієї структури, схема рисунку 2.1 е повинна бути еквівалентована до сумарного елемента x_{1-9i} . Розрахункові формули для цього випадку наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Номенклатура показників надійності структур СЕП при

паралельному з'єднанні елементів

Найменування показників надійності	Математичний вираз для розрахунку показника надійності структури СЕП	Розшифрування символів, які входять до математичного виразу
Без урахування навмисних відключень		
1. Частота відмов $\omega_c^{(m)}$	$\omega_c^{(m)} = \left(\prod_{j=1}^m \omega_j \cdot \tau_j \right) \left(\sum_{j=1}^m \tau_j^{-1} \right)$ $\omega_c^{(m)} = 8760^{1-m} \times$ $\times \left(\prod_{j=1}^m \omega_j \cdot \tau_j \right) \left(\sum_{j=1}^m \tau_j^{-1} \right)$ для системи з рівнонадійними елементами: $\omega_c^{(m)} = m \omega^m \tau^{m-1}$	ω_j - частота відмов j-го елементів у паралельній схемі з'єднань, рік ⁻¹ ; τ_j - середній час відновлення j-го елемента у схемі з паралельним з'єднанням, год (рік)
2. Середній час без відмовної роботи $T_c^{(m)}$	$T_c^{(m)} = (\omega_c^{(m)})^{-1}$	T_i - середній час безвідмовної роботи i-го елемента структури, год (рік)
3. Середній час відновлення $\tau_c^{(m)}$	$\tau_c^{(m)} = \left(\sum_{j=1}^m \tau_j^{-1} \right)^{-1}$ для системи з рівнонадійними елементами: $\tau_c^{(m)} = m^{-1} \tau$	τ_j - середній час відновлення j-го елементів при паралельному з'єднанні відповідно, год (рік) n, m - кількість елементів схеми
З урахуванням навмисних відключень		
4. Частота відмов $\omega_c^{(m)}$	$\omega_c^{(m)} = \left(\omega_0 + \sum_{k=1}^m \omega_k \right) \cdot 8760^{1-m}$ $\omega_0 = \left(\prod_{i=1}^m \omega_i \cdot \tau_i \right) \left(\sum_{i=1}^m \tau_i^{-1} \right)$ $\omega_k = v_k \eta_k \times$ $\times \left(\prod_{j=1}^m \omega_j \cdot \tau_j \right) \left(\sum_{j=1}^m \tau_j^{-1} \right)$ $k = 1, 2, \dots, m; k \neq j$	ω_i, ω_j - частота відмов елементів, які не підлягають навмисному відключенню, рік ⁻¹ ; τ_i, τ_j - середній час відновлення елементів, які не підлягають навмисному відключенню, год (рік); ω_k - частота відмов паралельних елементів, серед яких є ті, що підлягають навмисному відключенню, рік ⁻¹ ; $v_k; \eta_k$ - показники надійності елементів, для яких передбачено навмисне відключення
5. Середній час відновлення $\tau_c^{(m)}$	$\tau_c^{(m)} = \left(\omega_c^{(m)} \right)^{-1} \times$ $\times \left(\omega_0 \tau_0 + \sum_{k=1}^m \omega_k \tau_k \right)$ $\tau_0 = \left(\sum_{i=1}^m \tau_i^{-1} \right)^{-1}$ $\tau_k = \left(\eta_k^{-1} + \sum_{j=1}^m \tau_j^{-1} \right)^{-1}$	τ_0 - сумарний середній час відновлення елементів, які не передбачають навмисного відключення, год; τ_k - сумарний середній час відновлення елементів, серед яких є ті, що передбачають навмисне відключення, год (рік); η_k - середній час обслуговування елемента навмисного відключення, рік ⁻¹

2.1.5. Урахування навмисних відключень при паралельному з'єднанні елементів

При паралельному з'єднанні двох і більше елементів у випадку простою одного із елементів інші не виводяться з роботи і живлення споживачів не порушується. В процесі експлуатації СЕП можливий такий випадок, коли один з елементів простоює, а другий – відмовляє (для системи із двох паралельно з'єднаних елементів). В цьому випадку система відмовляє. Тому, чим частіше і більш тривалі навмисні відключення, тим нижче надійність системи. В загальному випадку для системи, яка складається із m паралельно з'єднаних елементів, частота відмов та середній час відновлення системи повинні розраховуватися з урахуванням показників надійності, що характеризують навмисні відключення. Розрахункові формули показників надійності при паралельному з'єднанні елементів системи наведені у таблиці 2.4 (вирази 4, 5).

2.1.6. Складне з'єднання елементів структури СЕП

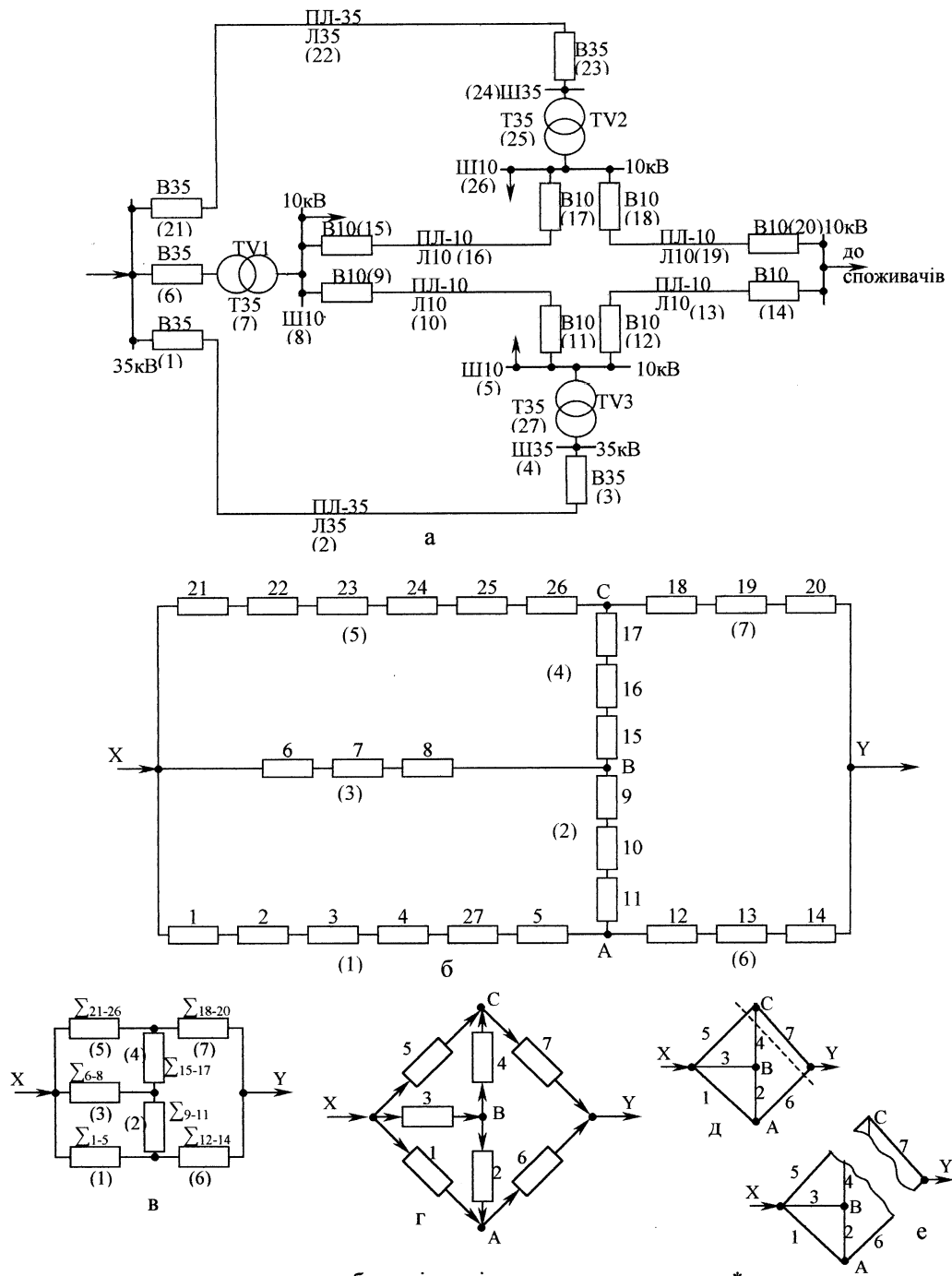
Реальні системи електропостачання не завжди представляють сукупність послідовно та паралельно з'єднаних елементів. Існують і більш складні структури, наприклад, схема електропостачання частини району, яка наведена на рисунку 2.2 а. У таких структурах елементи з'єднані таким чином, що їх подальше спрощення неможливе (рисунок 2.2 в). Для цих випадків вживаються деякі методи спрощення. Одним з ефективних методів є метод *мінімального перерізу*. Сутність методу полягає в наступному.

Існують деякі групи елементів, одночасна відмова яких приводить до *роз'єднання (розриву)* усіх шляхів, які зв'язують вхід X та вихід Y структури. Набір елементів, відмова яких призводить до відмови структури (тобто розриву усіх зв'язків між входом і виходом) в теорії надійності називається **перерізом**. Якщо виявити усі перерізи, які має досліджувана структура і визначити їх надійність, то взагалі можна визначити надійність усієї структури.

Чим складніша структура і чим більше елементів вона містить, тим складніше визначити усі можливі перерізи. Для структури, яка містить n елементів, необхідно розглянути $2^n - 1$ сполучень. Але серед безлічі перерізів складних структур є такі, що утворені мінімальним набором елементів тобто – **мінімальні перерізи**.

В теорії надійності доведено, що складну структуру можна перетворити в схему з послідовно з'єднаних мінімальних перерізів, кожен з яких являє собою паралельне з'єднання елементів, що входять до складу кожного з цих мінімальних перерізів.

Для спрощення дії по вибору мінімальних перерізів використовують елементи теорії графів.



а – принципова схема; б, в – хід еквівалентування схеми а; г – е – визначення мінімальних перерізів

Рисунок 2.2 – Приклад складного з'єднання елементів СЕП та її перетворення (еквівалентування)

Графом називається схема, на якій позначена сукупність вузлів (**вершин** X, A, B, C, Y – рисунок 2.2 г – е), з'єднуючі їх вітки (**ребра**) (1 – 7) і наведена інформація про передачу кожної вітки (**ребра**). Вузли і вітки графа відповідають вузлам і віткам початкової електричної схеми (рисунок 2.2 а). Тобто, граф представляє собою топологічне відображення самої електричної схеми.

Застосування положень теорії графів в даному випадку полягає в наступному. Структуру представляють у вигляді замкненого графа. **Замкненим графом** називається граф, який не має елементів, по яким не проходить хоча б один шлях, зв'язуючий вхід графа з його виходом. **Ребрами** такого графа служать елементи, надійність яких відома. Для розгляду цього питання звернемося до рисунку 2.2 д. Допустимо, що ми маємо граф, який містить z ребер і m вершин. Розірвемо графу таким чином, щоб частина вершин n була приєднана тільки до входу X графа, а інші $(m - n)$ вершин – до виходу Y графа (рисунок 2.2 е). Тим самим порушується зв'язок між входом та виходом графа і утворюються дві структури, які називаються **деревами**: n -дерево (тобто дерево, яке містить n вершин X, A, B , приєднаних до входу X графа) та $(m - n)$ -дерево з вершинами C, Y , які приєднані до виходу графа. При цьому обірвані ребра утворюють мінімальні перерізи. На рисунку 2.2 е мінімальні перерізи утворюють елементи 5, 4, 6.

Таким чином, задача пошуку мінімальних перерізів зводиться до задачі побудови можливих дерев графа. Для цього до однієї із вершин графа (входу або виходу) послідовно приєднується одна за другою вершини, які безпосередньо зв'язані з попереднім деревом. Порядок визначення мінімальних перерізів виконується в наступній послідовності:

- 1) складається матриця безпосередніх зв'язків вершин-ребер графу;
- 2) складається масив n -дерев графа послідовним приєднанням до n -дерева вершин, які безпосередньо зв'язані з однією із вершин, яка належить n_{i-1} -дереву;
- 3) для кожного n -дерева вибирається переріз;
- 4) складається масив перерізів, з яких вибираються мінімальні.

Згідно цього порядку визначаємо мінімальні перерізи для графу, наведеного на рисунку 2.2 г – е.

1. Вершина X безпосередньо пов'язана з ребрами 1, 3, 5; вершина A – з ребрами 1, 2, 6 і так далі. Матриця можливих зв'язків вершин з ребрами для даного випадку наведена у таблиці 2.5.

2. До першого n -дерева відноситься вершина X . До неї безпосередньо приєднуються вершини A, B, C , які в свою чергу є послідовними n -деревами XA, XB, XC . Далі до дерева XA приєднуємо вершину C і отримуємо дерево XAC . Потім до дерева XA приєднуємо вершину B і отримуємо дерево XAB і так далі

Таблиця 2.5 – Матриця зв'язків вершин графа з ребрами

Вершина	Ребра, які пов'язані з вершиною
<i>X</i>	<i>1 3 5</i>
<i>A</i>	<i>1 2 6</i>
<i>B</i>	<i>2 3 4</i>
<i>C</i>	<i>4 5 7</i>
<i>Y</i>	<i>6 7</i>

поки не будуть розглянуті усі вершини, крім *Y* - вихід графа (в цьому випадку утворюється замкнена структура). Таким чином, із розглянутого графа отримуємо масив *n*-дерев: *X*; *XA*; *XB*; *XC*; *XAB*; *XAC*; *XBC*; *XABC*, які утворюються сукупністю відповідних ребер. Ці дані заносимо до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Визначення мінімальних перерізів графа

<i>n</i> -дерево	Ребра	Переріз	Мінімальний переріз
<i>X</i>	<i>1 3 5</i>	<i>1 3 5</i>	<i>1 3 5</i>
<i>XA</i>	<i>1 3 5</i> , <i>1 2 6</i>	<i>2 3 5 6</i>	<i>2 3 5 6</i>
<i>XB</i>	<i>1 3 5</i> , <i>2 3 4</i>	<i>1 2 4 5</i>	<i>1 2 4 5</i>
<i>XC</i>	<i>1 3 5</i> , <i>4 5 7</i>	<i>1 3 4 7</i>	<i>1 3 4 7</i>
<i>XAB</i>	<i>1 3 5</i> , <i>1 2 6</i> , <i>2 3 4</i>	<i>4 5 6</i>	<i>4 5 6</i>
<i>XAC</i>	<i>1 3 5</i> , <i>1 2 6</i> , <i>4 5 7</i>	<i>2 3 4 6 7</i>	-
<i>XBC</i>	<i>1 3 5</i> , <i>2 3 4</i> , <i>4 5 7</i>	<i>1 2 7</i>	<i>1 2 7</i>
<i>XABC</i>	<i>1 3 5</i> , <i>1 2 6</i> , <i>2 3 4</i> , <i>4 5 7</i>	<i>6 7</i>	<i>6 7</i>

3. Для кожного *n_i*-дерева визначаємо переріз. Тобто, згідно матриці „ребра-вершини” (таблиця 2.5) виписуємо усі ребра, які безпосередньо пов'язані з вершинами *n*-дерев. Наприклад, для *n*-дерева *XA* перерізами будуть ті, що пов'язані як з вершиною *X*, так і з вершиною *A*, тобто *1 3 5* і *1 2 6*. Ці дані заносимо в графу 2 таблиці 2.6. напроти відповідного *n*-дерева.

Ребра, які входять у сукупність *n_i*-дерева парне число разів, перекреслюються (таблиця 2.6, графа 2). Ребра, які залишилися, виписуються у графу 3 таблиці 2.6 у порядку зростання номера елементу.

Із отриманої кількості перерізів з більшим числом елементів визначаються ті, що мають в собі перерізи з меншим числом елементів. У даному випадку переріз, який утворений деревом *XAC* містить переріз, який утворений деревом *XABC*. Тому даний переріз виключається з переліку. Ті перерізи, що залишилися, являють собою мінімальні перерізи (графа 4 таблиці 2.6).

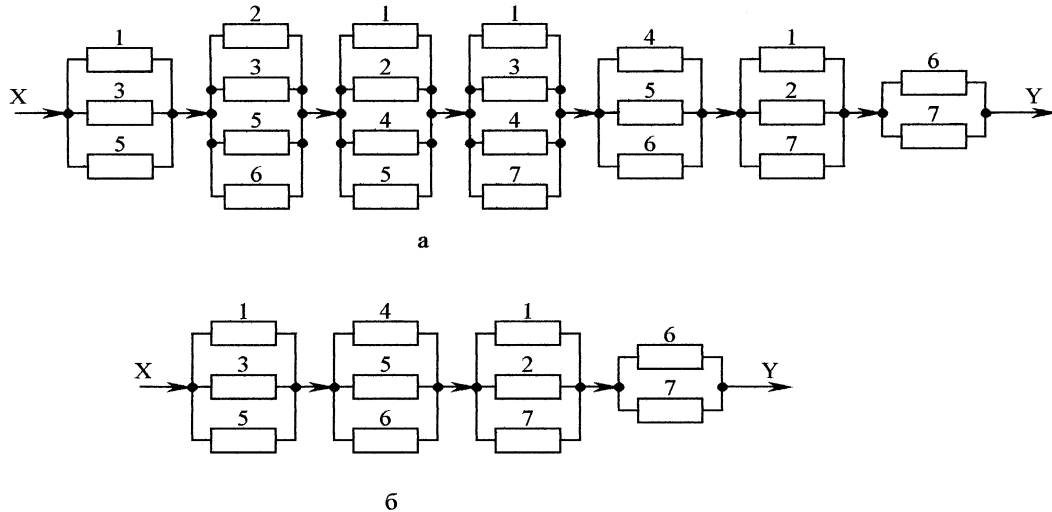
4. На схемі рисунку 2.3 кожне *n_i*-дерево позначається, як паралельно з'єднані елементи, з кількістю і номерами відповідно кількості і номерам ребер *n_i*-дерева.

Усі *n_i*-дерева між собою з'єднуються послідовно. Таким чином, для

наведеної структури СЕП схема заміщення буде мати сім мінімальних перерізів (рисунок 2.3 а).

Слід підкреслити, що чим більше елементів входить до мінімального перерізу, тим менше вони впливають на загальну надійність системи. Тому перерізами з числом елементів *більше трьох* можна знехтувати.

Враховуючи цю рекомендацію, отриману схему заміщення можна дещо спростити. Кінцева еквівалентована схема для розрахунку показників надійності наведена на рисунку 2.3 б.



а – схема з повним набором мінімальних перерізів; б – спрощена схема

Рисунок 2.3 – Еквівалентна схема для розрахунку показників надійності системи електропостачання, яка наведена на рисунку 2.2 а

2.2. Визначення середнього часу безвідмовної роботи

Середній час безвідмовної роботи $T_{c,i}$ знаходиться за виразом:

$$T_{c,i} = \omega_{\sum i}^{-1} \quad (2.2)$$

2.3. Визначення імовірності відмови системи на протязі одного року

Імовірність відмови системи на протязі одного року

$$F_c(1) = 1 - e^{-\omega_{\sum i} \cdot 1} \quad (2.3)$$

3. ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

3.1. Визначення складових приведених витрат

Щорічні відрахування від капіталовкладень Z^{iT} :

$$Z^{iT} = K^{iT} \cdot (E_n + P_a + P_o), \quad (3.1)$$

де K^{iT} – капіталовкладення по варіанту, тис. грн;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E_n = 0,12$ [10];

P_a, P_o – відповідно відрахування на амортизацію та на обслуговування,

$$P_a = 6,3\%, P_o = 3\% [11].$$

Капіталовкладення по варіанту:

$$K^{iT} = K_{\text{бм}} + K_{\text{об}} \quad (3.2)$$

де $K_{\text{бм}}$ – витрати на будівельно-монтажні роботи, $K_{\text{бм}} = 0,60K^{iT}$ [11].

$K_{\text{об}}$ – витрати на обладнання, $K_{\text{об}} = 0,40K^{iT}$ [11].

Змінні втрати I_{TKi} трансформатора:

$$I_{TKi} = P_i \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_H} \right)^2 \cdot \tau_{\text{max}} \cdot c, \quad (3.3)$$

де P_{Ki} – втрати к.з. трансформатора, кВт;

S_{max}, S_H – відповідно максимальна розрахункова та номінальна потужність трансформатора, $S_{\text{max}} = 4848$ кВА (з завдання);

τ_{max} – час максимальних втрат, $\tau_{\text{max}} = 4250$ год. [10];

c – вартість 1 кВт·год змінних втрат, $c = 0,017$ грн/кВт·год [6].

Постійні втрати I_{TXi} трансформатора:

$$I_{TXi} = P_{xx} \cdot T_{TP} \cdot C_x, \quad (3.4)$$

де P_{xx} – втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

T_{TP} – річне число годин роботи трансформатора, $T_{TP} = 8760$ год. [10];

C_x – вартість 1 кВт·ч постійних втрат, $C_x = 0,011$ грн/кВт·год [6].

Сумарні втрати в трансформаторі:

$$I_{\Sigma i} = I_{TKi} + I_{TXi}, \quad (3.5)$$

3.2. Визначення очікуваного недовідпуску електроенергії

Для варіанту схеми:

$$W_{\text{ав}} = S \cdot \cos \varphi T_{\text{max}} / T_{\text{год}} \cdot \omega \cdot \tau \quad (3.6)$$

$$W_{\text{пр}} = S \cdot \cos \varphi T_{\text{max}} / T_{\text{год}} \cdot v \cdot \eta \quad (3.7)$$

3.3. Збиток від недовідпуску електроенергії

Збиток при відмовах:

$$Y_{ав.і} = y_{ав} \cdot W_{ав.і} \quad (3.8)$$

де $y_{від}$ – питомий збиток від недовипуску електроенергії при відмовах, грн/кВт год;

Збиток при навмисних відключеннях:

$$Y_{пр.і} = y_{пр} \cdot W_{пр.і} \quad (3.9)$$

де $y_{нав}$ – питомий збиток від недовипуску електроенергії при навмисних відключеннях, грн/кВт год.

3.4. Таблиця результатів розрахунків системи

Таблиця 3.1 – Техніко–економічні показники та показники надійності запропонованої схеми

Показники	Значення показника
Відрахування від капітальних вкладень. тис. грн.	
Витрати на відшкодування втрат ел.енергії, грн	
Збиток від відмов. грн	
Збиток від навмисних відключень, грн	
Сумарні приведені витрати, тис. грн.	
Частота відмов ω , рік ⁻¹	
Час відновлення τ , год.	
Частота навмисних відключень ν , рік ⁻¹	
Середній час обслуговування η . год	
Середній час безвідмовної роботи T_c років	
Імовірність відмови системи F_c	

4. Приклад виконання курсового проекту

Приклад виконання курсового проекту наведено на сторінках 24 - 53

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Зав. кафедрою

«Енергетика і електротехнічні системи»,

к.т.н., доц.

А.В. Чепіжний

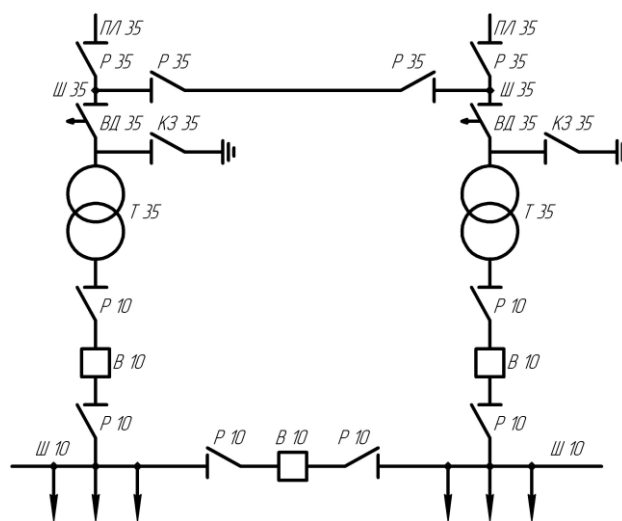
“ _____ ” _____ 201 р.

ЗАВДАННЯ

на курсовий проект з дисципліни “Надійність систем електропостачання”

ТЕМА: ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМИ ПЕРВИННИХ КІЛ КОМУТАЦІЇ ПІДСТАНЦІЇ

Варіант № 5



Проект складається з пояснювальної записки (25 - 30 сторінок рукописного тексту формату А4) та двох листів графічної частини формату А1.

Структура та зміст пояснювальної записки

Титульний лист

Завдання на курсовий проект

Відомість проекту

Реферат

Зміст

Вступ

1 Аналіз схеми РТП 35/10 кВ

1.1 Принцип роботи схеми

2. Обґрунтування показників надійності підстанції

2.1 Розрахунок показників надійності схеми

2.2. Визначення середнього часу безвідмовної роботи

2.3. Визначення імовірності відмови системи на протязі одного року

3. Техніко-економічні розрахунки

3.1 Визначення складових приведених витрат

3.2 Визначення очікуваного недовідпуску електроенергії

3.3. Збиток від недовідпуску електроенергії

3.4. Таблиця результатів розрахунків системи

Загальні висновки

Список літератури

Зміст листів графічної частини проекту:

Лист 1 – “Еквівалентування схем та показники надійності. Таблиця”. На листі у вигляді таблиці необхідно привести: вихідні схеми по варіантам та схеми їх еквівалентування; показники надійності; таблицю порівняння результатів розрахунків схем.

Лист 2 – “Кола первинної комутації трансформаторної підстанції. Схема електрична принципова”. На листі приводиться принципова електрична схема обґрунтованого варіанту підстанції. На листі також необхідно привести таблицю переліку елементів підстанції.

Розрахунково-пояснювальна записка та графічна частина проекту повинні бути виконані у відповідності з вимогами ЕСКД та ДСТУ.

Таблиця 1 – Вихідні дані для системи електропостачання

Елемент	Умовне позначення	Частота відмов ω , рік ⁻¹	Середній час відновлення, τ , год	Частота навмисних відключень ν , рік ⁻¹	Середній час обслуговування η , год	Вартість одиниці, тис. грн	Кількість,
1	2	3	4	5	6	7	8
Комірка роз'єднувача 35 кВ	Р35	0,005	4,5	0,3	5	8,3	4
Комірка від'єднувача та кокроткозамикача ВД (КЗ) 35 кВ	ОД35	0,05	5	0,35	6	4,5	2
Трансформатор 35/10 кВ	Т35	0,03	30	0,5	12	200	2
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	Р10	0,08	6	0,25	4,0	0,6	6
Комірка вимикача 10 кВ	В10	0,05	5,5	0,35	7	4	3
Шини 6,10 кВ	Ш10	0,001	5,0	0,2	6	0,5	2

Примітка: * - у чисельнику – для нерезервованих систем, а у знаменнику – для резервованих;

** - 25/01 – величини, які наведені для живлячих мереж 10 кВ;

*** - показники для усєї системи (секції) шин

Завдання видано “ ” _____ 201 р.
Строк виконання “ ” _____ 201 р.

Завдання видав _____
Завдання прийняв _____

№строки	Формат	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ			Кільк. листів	№ листа	Приміт ки		
1	A4	КП.12.005. ПЗ	Обґрунтування схеми							
2			первинних кіл підстанції.							
3			Курсовий проект.							
4			Розрахунково- пояснюваль-							
5			на записка.			32				
6	A1	КП. 12.005.01.ТБ	Еквівалентування схеми.							
7			Таблиця			2	1			
8	A1	КП. 12.005.02. ТБ	Кола первинної комутації							
9			підстанції. Схема							
10			електрична принципова.							
11			Показники техніко –							
12			економічні. Таблиця			2	2			
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
					КП.12.005.ТП					
Змін	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив	Петренко				Відомість проекту			Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Яковлєв									
Н.контр.	Яковлєв									
Затв.	Яковлєв				СНАУ, 2019					

РЕФЕРАТ

Обґрунтування схеми первинних кіл комутації підстанції: Курсовий проект / Петренко Герасим Петрович - Суми, СНАУ, 2019р - 32 с.

В проекті на підставі аналізу схеми первинних кіл комутації, складання схеми заміщення та її еквівалентування розраховані основні показники надійності. В проекті також проведено техніко – економічне обґрунтування запропонованої схеми, визначено кількість недоданої електричної енергії споживачам у разі аварійних та навмисних відключень, визначено середній час безвідмовної роботи системи та імовірність відмови системи на протязі року експлуатації.

Іл.2,

Табл. 7,

Бібл.11.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз існуючої схеми РТП 35/10 кВ	9
1.1 Принцип роботи схеми.....	10
2. Обґрунтування показників надійності підстанції	12
2.1 Розрахунок показників надійності схеми.....	12
2.2. Визначення середнього часу безвідмовної роботи.....	25
2.3. Визначення імовірності відмови системи на протязі одного року.....	25
3. Техніко-економічні розрахунки.....	26
3.1 Визначення складових приведених витрат.....	26
3.2 Визначення очікуваного недовідпуску електроенергії.....	28
3.3. Збиток від недовідпуску електроенергії.....	28
3.4. Таблиця результатів розрахунків системи.....	29
Загальні висновки.....	30
Список літератури.....	31

ВСТУП

Ефективне застосування електричної енергії у виробничих процесах сільського господарства та в біту сільського населення можливо лише при надійному постачанні цих споживачів електричної енергії. Перерви в подачі електроенергії призводять до простою виробничого обладнання, знижують якість продукції та призводять до її пошкодження. Особливо впливають перерви в електропостачанні на технологічні процеси, пов'язані з утриманням та обслуговуванням сільськогосподарських тварин.

Так перерва подачі електроенергії під час машинного доїння корів призводить до зниження удоїв, захворюванню корів, псуванню молока (внаслідок відключення холодильних установок, сепараторів), затрудняють виконання допоміжних трудомістких операцій по приготуванню та роздачі кормів, гноєвидаленню і т. ін.

Перерви в подачі електроенергії свиновідгодовувальним фермам викликають порушення технологічного циклу відкорму, що призводить до зниження приросту свиней. В установках для вирощування поросят при використанні опромінення та електропідігріву підлог перерви призводять до захворювання та навіть гибелі поросят.

Перерви в електропостачанні інкубаторів, установок для вирощування курчат та пташників завжди порушують нормальні умови інкубації, утримання курчат та, як правило, призводять до їх загибелі із-за припинення обігріву, подачі кондиційованого повітря, замерзання водопроводу та охолодження будівель.

Припинення постачання електроенергії теплицям, навіть тимчасове, знижує температуру всередині теплиць, що призводить до зниження урожаю, або до загибелі вирощуваних культур.

Крім перерахованого можливого збитку від перерв в електропостачанні, виникає також збиток від недовикористання або простоїв обладнання ферм, підприємств та робочої сили, що обслуговує ці підприємства.

Зниження спожива електроенергії сільськогосподарськими та іншими споживачами під час перерв негативно впливає також на загальні показники роботи енергосистем та живлячих ліній через недовикористання основного обладнання або його недовантаження.

Таким чином, перерви в подачі електроенергії призводять до значного народногосподарського збитку. Різні споживачі по різному реагують на тривалість та загальну кількість перерв, тому кожна група споживачів висуває свої вимоги до надійності електропостачання.

Більшість сільськогосподарських виробництв належать до споживачів першої та другої категорії (інкубатори, пташники, приміщення для вирощування бройлерів, свинарники-маточники, електрифіковані доїльні установки та установки по первинній обробці молока, господарства по відгодівлі свиней та великої рогатої худоби, тваринницькі та пташині ферми, установки водопостачання, теплиці та парники, для яких неприпустима перерва в електропостачанні. Тому при виборі схеми РТП 35/10 кВ основну увагу треба зосередити на питаннях надійності та безперебійності електропостачання, що буде відбуватися від цієї підстанції.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СХЕМИ РТП 35/10 КВ

До трансформаторних підстанцій належать районні підстанції напругою 35/10 кВ. Такі підстанції споруджують у центрі навантаження сільськогосподарського району для отримання розподільчої напруги 10 кВ, на якій виконують лінії, що безпосередньо живлять трансформаторні підстанції споживачів.

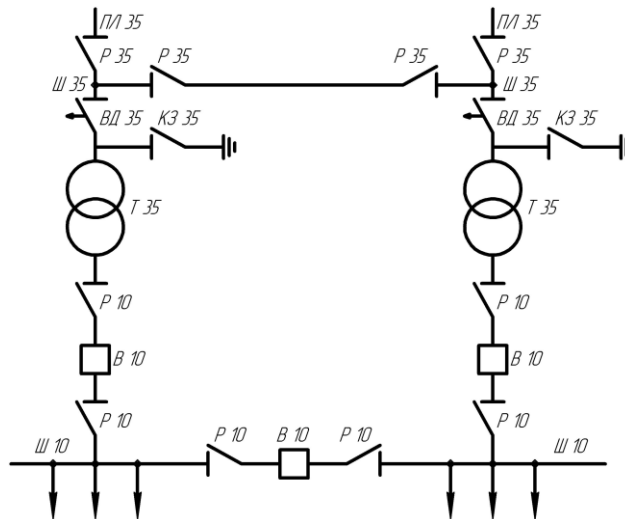
Потужність трансформаторів районних сільських підстанцій зазвичай знаходяться у межах від 1000 до 6300 кВА. Найбільш надійні в експлуатації двох трансформаторні підстанції [1].

При виборі схеми підстанції слід враховувати кількість приєднань (ліній і трансформаторів), вимоги надійності електропостачання споживачів. Число і вид комутаційних апаратів вибираються так, щоб була можливість проведення почергового ремонту окремих елементів підстанції без відключень сусідніх приєднань.

До схем районних підстанцій напругою 35/10 кВ пред'являють наступні вимоги [1,2]:

- схема повинна бути достатньо простою, надійною та зручною у експлуатації, мати найбільш прості та дешеві комутаційні апарати, мати одинарну систему збірних шин (по можливості – секціовану), число відходячих ліній не повинно перевищувати п'яти – шести.
- схема повинна забезпечувати надійне живлення приєднаних споживачів в нормальному, ремонтному та після аварійному режимах і відповідно з категоріями навантаження з урахуванням наявності або відсутності незалежних резервних джерел живлення;
- схема повинна забезпечувати надійність транзиту потужності крізь підстанцію в нормальному, ремонтному та після аварійному режимах відповідно з його значенням для даної ділянки мережі;
- схема повинна забезпечувати засобам автоматики відновлення живлення споживачів в після аварійній ситуації без втручання персоналу;

- схема повинна допускати поетапний розвиток РУ з переходом від одного етапу до другого без значних робіт по реконструкції і перерв в живленні споживачів;
- кількість одночасно спрацьовуючих вимикачів у межах одного РУ повинно бути не більше двох при ушкодженні лінії та не більше чотирьох при ушкодженні трансформатору.



ПЛ – повітряна лінія; P35 – роз’єднувач 35 кВ; ВД35 – від’єднувач 35 кВ; КЗ35 – короткозамикач 35 кВ; Т35 – силовий трансформатор 35/10 кВ; P10 – роз’єднувач 10 кВ; В10 – масляний вимикач 10 кВ.

Рисунок 1.1 – Схема двотрансформаторної підстанції.

1.1 Принцип роботи схеми

В нормальному режимі роботи відключений секційний вимикач В10 зі сторони 10 кВ з введеним у роботу АВР. При короткому замиканні на шинах 10 кВ однієї з підстанцій спрацьовує ввідний вимикач 10 кВ на дану секцію з заборороною на включення АВР.

При відключенні однієї з ліній 35 кВ (ПЛ1 або ПЛ2) спрацьовує АВР, при цьому релейний захист подає команду на відключення ввідного вимикача 10 кВ погашеної секції, після чого включається секційний вимикач 10 кВ. При аварії одного з трансформаторів ТР35 релейний захист подає

команду на спрацювання короткозамикача КЗ35. Штучне коротке замикання, яке створюється при цьому призводить до відключення живлячої лінії 35 кВ, після чого в безструмову паузу відключається віддільник ВД35 та спрацьовує АВР з відключенням ввідного вимикача В10. Потім АПВ лінії повертає лінії 35 кВ під напругу.

При тривалому відключенні однієї з живлячих ліній 35 кВ схема дозволяє подавати живлення на обидва трансформатори через ремонтну перемичку. При виводі в ремонт одного з трансформаторів включається секційний вимикач, відключається ввідний вимикач та розбирається його схема. Якщо до лінії 35 кВ, від якої живиться цей трансформатор не підключено інших споживачів, то відключається лінія. Якщо від цієї лінії живляться інші трансформаторні підстанції, то тоді відключається віддільник 35 кВ ВД35.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СХЕМИ РТП 35/10 КВ

2.1 Розрахунок показників надійності схеми

Надійність елементів електричної системи характеризується частотою його відмов: ω , рік⁻¹ – частота відмов елементу, показує з якою частотою в середньому за рік виходить зі строю даний елемент; τ , год. – середній час відновлення, показує скільки часу в середньому треба затратити, щоб відновити даний елемент.

Елемент системи може бути виведений з роботи не тільки через втрату працездатності, але і для виконання яких-небудь робіт на самому елементі, або на пов'язаних з ним елементах. Наприклад, проведення планово-попереджувальних ремонтів, усунення дефектів, що збільшують небезпеку відмов. Такі відключення називають навмисними, оскільки вони виконуються направленими діями персоналу, що обслуговує дане обладнання. Кожен елемент характеризується частотою навмисних відключень ν , рік⁻¹ (показує з якою частотою в межах року відключається даний елемент) та середнім часом обслуговування η , год. (показує скільки часу в середньому витрачається на обслуговування даного елемента) [6].

Виконуємо еквівалентування варіанту схеми. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 2.1.

Знаходимо показники надійності для елементів схеми.

Визначимо частоту відмов при послідовному з'єднанні елементів схеми:

$$\omega_i^{(n)} = \sum_1^n \omega_i, \quad (2.1)$$

де $\sum_1^n \omega_i$ – сума частоти відмов і-х елементів послідовного кола, рік⁻¹.

Для елемента 20=Σ(3,4) отримаємо (рисунок 2.1 б):

$$\omega_{20} = \omega_3 + \omega_4$$

$$\omega_{20} = 0,005 + 0,005 = 0,01 \text{ рік}^{-1}.$$

Визначимо середній час відновлення:

$$\tau_i^{(n)} = (\omega_i^{(n)})^{-1} \cdot \sum_1^n \omega_i \cdot \tau_i \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1 – Показники надійності елементів схеми

Найменування елементів схеми	Позн. елем.	ω , рік ⁻¹	τ , год.	ν , рік ⁻¹	η , год.	№ елемента по варіанту
Комірка роз'єднувача 35 кВ	Р35	0,005	4,5	0,3	5	1,2,3,4
Комірка від'єднувала та короткозамикача 35 кВ	ОД35	0,05	5	0,35	6	5,6
Трансформатор 35/10 кВ	ТР35	0,03	30	0,5	12	7,8
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	Р10	0,08	6	0,25	4,0	9,10,13, 14,15,17
Комірка вимикача 10 кВ	В10	0,05	5,5	0,35	7	11,12,16
Шини 6, 10 кВ	Ш10	0,001	5,0	0,2	6	18, 19

Для елемента 20:

$$\tau_{20} = (\omega_{20})^{-1} \cdot (\omega_3 \cdot \tau_3 + \omega_4 \cdot \tau_4)$$

$$\tau_{20} = (0,01)^{-1} \cdot (0,005 \cdot 4,5 + 0,005 \cdot 4,5) = 4,5 \text{ год}$$

Визначимо частоту навмисних відключень:

$$\nu_i^{(n)} = \nu_{\bar{o}} + \sum_{i=1; i \neq \bar{o}}^n \nu_i (1 - g_{i\bar{o}}), \quad (2.3)$$

де $\nu_{\bar{o}}$ – частота навмисних відключень базового елемента, рік⁻¹;

ν_i – частота навмисних відключень i -го елемента, рік⁻¹;

$g_{i\bar{o}}$ – коефіцієнт збігу, в.о. [6].

$$\nu_{20} = \nu_3 + \nu_4 (1 - g_4)$$

$$\nu_{20} = 0,3 + 0,3(1 - 0,6) = 0,18 \text{ рік}^{-1}$$

За базовий елемент прийнято шини 35 кВ. Тоді $g_{ш35} = 0,6$

Знаходимо середній час обслуговування $\eta_i^{(n)}$:

$$\eta_i^{(n)} = (\nu_i^{(n)})^{-1} \cdot [\nu_{\bar{o}} \cdot \eta_{\bar{o}} + \nu_{max} \cdot (\eta_{max} - \eta_{\bar{o}}) + \sum_{i=1; i \neq \bar{o}}^n \nu_i \cdot (1 - g_i) \cdot \eta_i], \quad (2.4)$$

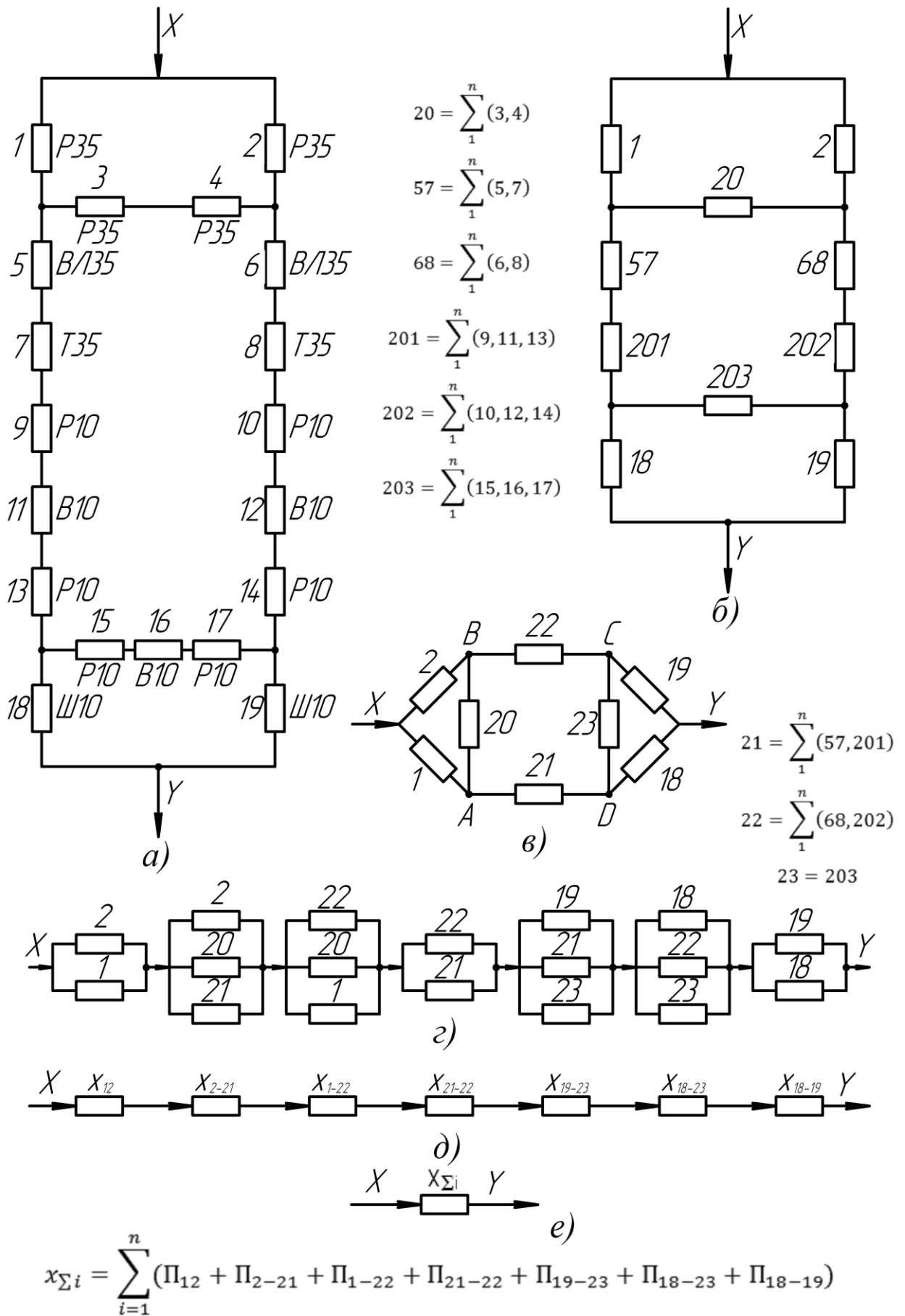


Рисунок 2.1 – Схема заміщення структури СЕП та її еквівалентування

де η_6 - середній час обслуговування базового елемента схеми, год;

η_i - середній час обслуговування відповідного елемента схеми, год;

ν_{max}, η_{max} - відповідно частота навмисних відключень та середній час обслуговування елемента схеми, у якого максимальний час обслуговування.

$$\eta_{20} = (\nu_{20})^{-1} \cdot [\nu_3 \cdot \eta_3 + \nu_4 \cdot (\eta_4 - \eta_3) + \nu_4 \cdot (1 - g_{46}) \cdot \eta_4] \quad (2.5)$$

$$\eta_{20} = (0,3)^{-1} \cdot [0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot (5 - 5) + 0,3 \cdot (1 - 0,6) \cdot 5] = 7 \text{ год}$$

Проведемо еквівалентування послідовно з'єднаних та рівних між собою

$$\text{елементів } 201 = \sum_1^n (9;11;13), 202 = \sum_1^n (10,12,14) \text{ та } 203 = \sum_1^n (15,16,17)$$

Визначимо частоту відмов:

$$\omega_{201} = \omega_{202} = \omega_{203} = \omega_9 + \omega_{11} + \omega_{13} \quad (2.6)$$

$$\omega_{201} = \omega_{202} = \omega_{203} = 0,08 + 0,05 + 0,08 = 0,21 \text{ рік}^{-1}$$

Середній час відновлення:

$$\tau_{201} = \tau_{202} = \tau_{203} = (\omega_{201})^{-1} \cdot (\omega_9 \cdot \tau_9 + \omega_{11} \cdot \tau_{11} + \omega_{13} \cdot \tau_{13}) \quad (2.7)$$

$$\tau_{201} = \tau_{202} = \tau_{203} = (0,21)^{-1} (0,08 \cdot 6 + 0,05 \cdot 5,5 + 0,08 \cdot 6) = 1,235 \text{ год} \dots$$

Частота навмисних відключень:

$$\nu_{201} = \nu_{202} = \nu_{203} = \nu_{11} + \nu_9 (1 - g_9) + \nu_{13} (1 - g_{13}) \quad (2.8)$$

$$\nu_{201} = \nu_{202} = \nu_{203} = 0,35 + 0,25(1 - 0,4) + 0,25(1 - 0,4) = 0,65 \text{ рік}^{-1}$$

Середній час обслуговування:

$$\eta_{201} = \eta_{202} = \eta_{203} = (\nu_{201})^{-1} \cdot [\nu_{11} \cdot \eta_{11} + \nu_{11} (\eta_{11} - \eta_{11}) + \nu_9 (1 - g_9) \eta_9 + \nu_{13} (1 - g_{13}) \eta_{13}]$$

$$\eta_{201} = \eta_{202} = \eta_{203} = (0,65)^{-1} \cdot [0,35 \cdot 7 + 0,35(7 - 7) + 0,25(1 - 0,4) \cdot 4 + 0,25(1 - 0,4) \cdot 4] = 5,62 \text{ год}$$

Проведемо еквівалентування послідовно з'єднаних та рівних між

$$\text{собою елементів (рисунок 2.16) } 57 = \sum_1^n (5,7), 68 = \sum_1^n (6,8)$$

$$\text{Визначимо частоту відмов: } \omega_{57} = \omega_{68} = \omega_5 + \omega_7 \quad (2.10)$$

$$\omega_{57} = \omega_{68} = 0,05 + 0,03 = 0,08 \text{ рік}^{-1}$$

Середній час відновлення:

$$\tau_{57} = \tau_{68} = (\omega_{57})^{-1} \cdot (\omega_5 \cdot \tau_5 + \omega_7 \cdot \tau_7) \quad (2.11)$$

$$\tau_{57} = (0,08)^{-1} \cdot (0,05 \cdot 5 + 0,03 \cdot 30) = 14,4 \text{ год}$$

Визначаємо частоту навмисних відключень елементів 57 та 68:

$$v_{57} = v_{68} = v_5 + v_7 (1 - g_7)$$

$$v_{57} = v_{68} = 0,35 + 0,5(1 - 0,4) = 0,65 \text{ рік}^{-1}$$

Середній час обслуговування:

$$\eta_{57} = \eta_{68} = (v_{57})^{-1} \cdot [v_7 \cdot \eta_1 + v_7(\eta_7 - \eta_7) + v_5(1 - g_5)\eta_5] \quad (2.12)$$

$$\eta_{57} = \eta_{68} = (0,65)^{-1} [0,5 \cdot 12 + 0,5(12 - 12) + 0,35(1 - 0,6)6] = 10,7 \text{ год}$$

Для елемента $21 = \sum_1^n (57,201) = 22 = \sum_1^n (68,202)$:

Визначимо частоту відмов:

$$\omega_{21} = \omega_{201} + \omega_{57} \quad (2.13)$$

$$\omega_{22} = \omega_{21} = 0,21 + 0,08 = 0,29 \text{ рік}^{-1}$$

Середній час відновлення:

$$\tau_{21} = (\omega_{21})^{-1} \cdot (\omega_{201} \cdot \tau_{201} + \omega_{57} \cdot \tau_{57}) \quad (2.14)$$

$$\tau_{22} = \tau_{21} = (0,29)^{-1} \cdot (0,21 \cdot 1,235 + 0,08 \cdot 14,4) = 4,87 \text{ год}$$

При знаходженні частоти навмисних відключень та середнього часу обслуговування формулами (2.3) та (2.4) користуються лише тоді, коли кожен з елементів схеми не еквівалентований. Після еквівалентування елементів навмисні відключення вважаються незалежними подіями і користуються формулами (2.15) та (2.16) [6].

$$v_i^{(n)} = \sum_i^n v_i \quad (2.15)$$

$$\eta_i^{(n)} = (v_i^{(n)})^{-1} \sum_i^n v_i \cdot \eta_i \quad (2.16)$$

$$v_{22} = v_{21} = v_{201} + v_{57} \quad (2.17)$$

$$v_{22} = v_{21} = 0,65 + 0,65 = 1,3 \text{ рік}^{-1}$$

$$\eta_{22} = \eta_{21} = (v_{21})^{-1} \cdot (v_{201} \cdot \eta_{201} + v_{57} \cdot \eta_{57}) \quad (2.18)$$

$$\eta_{22} = \eta_{21} = (1,3)^{-1} \cdot (0,65 \cdot 5,6 + 0,65 \cdot 10,7) = 8,15 \text{ год}$$

Отримана схема (рисунок 2.1 в) не підлягає звичайному еквівалентуванню, так як елементи з'єднані таким чином, що подальше їх

спрощення неможливе. Тому скористаємося методом “мінімальних перерізів”. Набір елементів, відмова яких призводить до відмови структури називається перерізом. Якщо виявити всі перерізи, що знаходяться в схемі, і визначити їх надійність, то можна визначити надійність всієї системи [6].

Для того, щоб виявити всі перерізи скористуємося теорією графів. Структура представляється у вигляді замкнутого графа, що має один вхід та один вихід. Замкнутим називається граф, який не має елементи, по яких не проходить шлях, що зв’язує вхід графа з виходом. Ребрами такого графа служать елементи, надійність яких відома.

Таким чином, завдання пошуку мінімальних перерізів зводиться до завдання побудови можливих дерев графа. Для цього до однієї з вершин графа (входу або виходу) послідовно приєднується одна за іншою вершини, що безпосередньо зв’язані з попереднім деревом.

Алгоритм визначення мінімальних перерізів наступний:

- 1) складається матриця безпосередніх зв’язків вершин – ребер графа (табл. 2.2)
- 2) складається масив N-дерев графа послідовним поєднанням к N_i -дереву вершин, що безпосередньо зв’язані з однією з вершин, що вже належать N_{i-1} дереву.
- 3) для кожного з N_i – дерева вибирають перерізи.
- 4) Складається масив перерізів, з якого вибираються мінімальні (табл. 2.3)

Таблиця 2.2 – Матриця безпосередніх зв’язків вершин з ребрами графу

Вершини	Ребра
X	1, 2
A	1, 20, 21
B	2, 20, 22
C	19, 22, 23
D	18, 21, 23
Y	18, 19

Таблиця 2.3 – Вибір мінімальних перерізів

№-дерево	Ребра	Переріз	Мінімальний переріз	Кінцеві міні перерізи
X	1,2	1,2	1,2	1,2
XA	1,2,1,20,21	2,20,21	2,20,21	2,20,21
XB	1,2,2,20,22	1,20,22	1,20,22	1,20,22
XAB	1,2,1,20,21,2,20,22	21,22	21,22	21,22
XAD	1,2,1,20,21,21,23,18	2,20,23,18	2,18,20,23	-
XBC	1,2,2,20,22,19,22,23	1,20,19,23	1,19,20,23	-
XABC	1,2,1,20,21,2,20,22,19,22,23	21,19,23	19,21,23	19,21,23
XBAD	1,2,2,20,22,1,20,21,18,21,23	22,18,23	18,22,23	18,22,23
XADC	1,2,1,20,21,18,21,23,19,22,23	2,20,18,19,22	-	-
XBCD	1,2,2,20,22,19,22,23,18,21,23	1,20,19,18,21	-	-
XABCD	1,2,1,20,21,2,20,22,19,22,23,18,21,23	18,19	18,19	18,19
XBADC	1,2,2,20,22,1,20,21,18,21,23,19,22,23	18,19	-	-

Із отриманої сукупності мінімальних перерізів складаємо схему заміщення (рисунок 2.1 г). Чим більше елементів входить до мінімального перерізу, тим менший вплив вони мають на результуючу надійність системи. Перерізами з кількістю елементів більше трьох можна зневажити [6]. Тому перерізи 2,20,23,18 та 1,20,19,23 при побудові схеми заміщення не враховуємо. Крім того перерізи XADC та XBCD також не враховуємо, т. я. вони у своєму складі мають перерізи з мінімальною кількістю елементів (XABCD = 18,19 (див. табл.2.3).)

Далі розрахунок зводиться до звичайного еквівалентування схеми. Показники надійності для всіх окремих елементів, що входять до цієї схеми розраховані вище. Тому зводимо вихідні дані для розрахунку в таблицю 2.4:

Розрахунок двох паралельно з'єднаних елементів ведемо за формулами (2.20 – 2.29).

Визначимо частоту відмов при паралельному з'єднанні елементів схеми. В загальному випадку для системи з m паралельно з'єднаних елементів:

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку отриманої схеми (2.1в)

Елемент	ω , рік ⁻¹	τ , год.	ν , рік ⁻¹	η , год.
1,2	0,005	4,5	0,3	5,0
20	0,01	4,5	0,18	7,0
21,22	0,29	4,87	1,3	8,15
23	0,21	1,235	0,65	5,6
18,19	0,001	5,0	0,2	6,0

Розрахунок двох паралельно з'єднаних елементів ведемо за формулами (2.20 – 2.29).

Визначимо частоту відмов при паралельному з'єднанні елементів схеми. В загальному випадку для системи з m паралельно з'єднаних елементів:

$$\omega^{(m)} = \left(\omega^0 + \sum_{i=1}^m \omega_i \right) \cdot 8760^{1-m} \quad (2.19)$$

Якщо система складається з двох паралельно з'єднаних елементів, то частота відмов складається з трьох складників[6]:

$$\omega_{ij} = \omega_{ij}^0 + \omega'_{ij} + \omega''_{ij} \quad (2.20)$$

Кожен з складників розраховується [6]:

$$\omega_{ij}^0 = \omega_i \cdot \omega_j \cdot (\tau_i + \tau_j) \cdot 8760^{-1} \quad (2.21)$$

де ω_i, ω_j - частота відмов відповідно першого та другого елементів

τ_i, τ_j - середній час відновлення відповідно першого та другого елементів

$$\omega'_{ij} = \nu_i \cdot \eta_j \cdot \omega_j \cdot 8760^{-1} \quad (2.22)$$

де ν_i, η_j - відповідно частота навмисних відключень та середній час обслуговування другого елементу.

Визначимо частоту відмов при паралельному з'єднанні для елементу X_{12} (рисунок 2.1 д) по схемі рисунку 2.1 г). Цей елемент є еквівалентом всіх елементів сторони високої напруги 35 кВ.

$$\omega_{12}^0 = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot (\tau_1 + \tau_2) \cdot 8760^{-1} \quad (2.23)$$

$$\omega_{12}^0 = 0,005 \cdot 0,005 \cdot (4,5 + 4,5) \cdot 8760^{-1} = 25 \cdot 10^{-9} \text{ рік}^{-1}$$

$$\omega'_{12} = \omega'_{12} = v_2 \cdot \eta_2 \cdot \omega_1 \cdot 8760^{-1} = v_1 \cdot \eta_1 \cdot \omega_2 \cdot 8760^{-1} \quad (2.24)$$

$$\omega'_{12} = \omega'_{12} = 0,005 \cdot 0,3 \cdot 5,0 \cdot 8760^{-1} = 856 \cdot 10^{-9} \text{ рік}^{-1}$$

$$\omega_{12} = \omega_{12}^0 + \omega'_{12} + \omega''_{12} \quad (2.25)$$

$$\omega_{12} = (25 + 856 + 856) \cdot 10^{-9} = 1,74 \cdot 10^{-6} \text{ рік}^{-1}$$

Визначимо середній час відновлення при паралельному з'єднанні елементів схеми. В загальному випадку для системи з m з'єднаних елементів:

$$\tau^{(m)} = (\omega^{(m)})^{-1} \left(\omega^0 \cdot \tau^0 + \sum_{r=1}^m \omega_r \tau_r \right) \quad (2.26)$$

Якщо система складається з двох паралельно з'єднаних елементів, то середній час відновлення розраховується за формулою:

$$\tau_{ij} = \frac{\omega_{ij}^0 \cdot \tau_{ij}^0 + \omega'_{ij} \cdot \tau'_{ij} + \omega''_{ij} \cdot \tau''_{ij}}{\omega_{ij}} \quad (2.26)$$

$$\tau_{ij}^0 = \frac{\tau_i \cdot \tau_j}{\tau_i + \tau_j} \quad (2.27)$$

$$\tau'_{ij} = \frac{\tau_i \cdot \eta_j}{\tau_i + \eta_j} \quad (2.28)$$

$$\tau''_{ij} = \frac{\tau_j \cdot \eta_i}{\tau_j + \eta_i} \quad (2.29)$$

Для елемента X_{12} :

$$\tau_{12}^0 = \frac{\tau_1 \cdot \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \quad (2.30)$$

$$\tau_{12}^0 = \frac{4,5 \cdot 4,5}{4,5 + 4,5} = 2,25 \text{ год}$$

$$\tau'_{12} = \frac{\tau_1 \cdot \eta_2}{\tau_1 + \eta_2} \quad (2.31)$$

$$\tau'_{12} = \frac{4,5 \cdot 5,0}{4,5 + 5,0} = 2,37 \text{ год}$$

$$\tau''_{12} = \frac{\tau_2 \cdot \eta_1}{\tau_2 + \eta_1} \quad (2.32)$$

$$\tau''_{12} = \frac{4,5 \cdot 5,0}{4,5 + 5,0} = 2,37 \text{ год}$$

$$\tau_{12} = \frac{\omega_{12}^0 \cdot \tau_{12}^0 + \omega'_{12} \cdot \tau'_{12} + \omega''_{12} \cdot \tau''_{12}}{\omega_{12}} \quad (2.33)$$

$$\tau_{12} = \frac{0,025 \cdot 10^{-6} \cdot 2,25 + 0,856 \cdot 10^{-6} \cdot 2,37 + 0,856 \cdot 10^{-6} \cdot 2,37}{1,74 \cdot 10^{-6}} = 2,37 \text{ год}$$

Частота навмисних відключень та середній час обслуговування при паралельному з'єднанні елементів дорівнюють нулю, так як в один і той самий час може бути навмисно відключений тільки один з елементів. Тому

$$v_{12} = 0 \text{ рік}^{-1}; \quad \eta_{12} = 0 \text{ год};$$

Користуючись формулами (2.19) та (2.26) отримаємо формули для розрахунку трьох паралельно з'єднаних елементів.

Частота відмов складається з чотирьох складників [6]:

$$\omega_x = \omega_x^0 + \omega'_x + \omega''_x + \omega'''_x \quad (2.34)$$

$$\omega_x^0 = \omega_i \cdot \tau_i \cdot \omega_j \cdot \tau_j \cdot \omega_k \cdot \tau_k \left(\frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_j} + \frac{1}{\tau_k} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (2.35)$$

де $\omega_i, \omega_j, \omega_k$ - частота відмов відповідно першого, другого та третього елементів;

τ_i, τ_j, τ_k - середній час відновлення відповідно першого, другого та третього елементів.

$$\omega'_x = v_i \cdot \eta_i \cdot \omega_j \cdot \tau_j \cdot \omega_k \cdot \tau_k (\tau_j^{-1} + \tau_k^{-1}) \cdot 8760^{-2} \quad (2.36)$$

де v_i, η_i - відповідно частота навмисних відключень та середній час обслуговування другого елементу.

$$\omega''_x = v_j \cdot \eta_j \cdot \omega_i \cdot \tau_i \cdot \omega_k \cdot \tau_k (\tau_i^{-1} + \tau_k^{-1}) \cdot 8760^{-2} \quad (2.37)$$

де v_j, η_j - відповідно частота навмисних відключень та середній час обслуговування другого елементу.

$$\omega'''_x = v_k \cdot \eta_k \cdot \omega_i \cdot \tau_i \cdot \omega_j \cdot \tau_j (\tau_i^{-1} + \tau_j^{-1}) \cdot 8760^{-2} \quad (2.38)$$

де v_k, η_k - відповідно частота навмисних відключень та середній час обслуговування третього елементу.

Визначимо частоту відмов для елемента $x_{2-21} = \prod_1^n(2,20,21)$

$$\omega_{2-21}^0 = \omega_2 \cdot \tau_2 \cdot \omega_{20} \cdot \tau_{20} \cdot \omega_{21} \cdot \tau_{21} \left(\frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_{20}} + \frac{1}{\tau_{21}} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (2.39)$$

$$\omega_{2-21}^0 = 0,005 \cdot 4,5 \cdot 0,01 \cdot 4,5 \cdot 0,29 \cdot 4,87 \left(\frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,87} \right) \cdot 8760^{-2} = 0,12 \cdot 10^{-10} \text{рік}^{-1}$$

$$\omega_{2-21}' = v_2 \cdot \eta_2 \cdot \omega_{20} \cdot \tau_{20} \cdot \omega_{21} \cdot \tau_{21} \left(\frac{1}{\tau_{20}} + \frac{1}{\tau_{21}} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (2.40)$$

$$\omega_{2-21}' = 0,3 \cdot 5 \cdot 0,01 \cdot 4,5 \cdot 0,29 \cdot 4,87 \left(\frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,87} \right) \cdot 8760^{-2} = 5,32 \cdot 10^{-10} \text{рік}^{-1}$$

$$\omega_{2-21}'' = v_{20} \cdot \eta_{20} \cdot \omega_2 \cdot \tau_2 \cdot \omega_{21} \cdot \tau_{21} \left(\frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_{21}} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (2.41)$$

$$\omega_{2-21}'' = 0,18 \cdot 7 \cdot 0,005 \cdot 4,5 \cdot 0,01 \cdot 4,5 \left(\frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,5} \right) \cdot 8760^{-2} = 0,073 \cdot 10^{-10} \text{рік}^{-1}$$

$$\omega_{2-21}''' = v_{21} \cdot \eta_{21} \cdot \omega_2 \cdot \tau_2 \cdot \omega_{20} \cdot \tau_{20} \left(\frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_{20}} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (2.42)$$

$$\omega_{2-21}''' = 1,3 \cdot 8,15 \cdot 0,005 \cdot 4,5 \cdot 0,01 \cdot 4,5 \left(\frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,5} \right) \cdot 8760^{-2} = 0,61 \cdot 10^{-10} \text{рік}^{-1}$$

Тоді:

$$\omega_{2-21} = \omega_{2-21}^0 + \omega_{2-21}' + \omega_{2-21}'' + \omega_{2-21}''' \quad (2.43)$$

$$\omega_{2-21} = (0,12 + 5,32 + 0,073 + 0,61) \cdot 10^{-10} = 6,12 \cdot 10^{-10} \text{рік}^{-1}$$

Середній час відновлення для трьох паралельно з'єднаних елементів:

$$\tau_x = \frac{\omega_x^0 \cdot \tau_x^0 + \omega_x' \cdot \tau_x' + \omega_x'' \cdot \tau_x'' + \omega_x''' \cdot \tau_x'''}{\omega_x} \quad (2.44)$$

$$\tau_x^0 = \left(\frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_j} + \frac{1}{\tau_k} \right)^{-1} \quad (2.45)$$

$$\tau_x' = \left(\frac{1}{\eta_i} + \frac{1}{\tau_j} + \frac{1}{\tau_k} \right)^{-1} \quad (2.46)$$

$$\tau_x'' = \left(\frac{1}{\eta_j} + \frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_k} \right)^{-1} \quad (2.47)$$

$$\tau_x''' = \left(\frac{1}{\eta_k} + \frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_j} \right)^{-1} \quad (2.48)$$

Визначимо середній час відновлення для елемента $x_{2-21} = \prod_1^n(2,20,21)$

$$\tau_{2-21}^0 = \left(\frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_{20}} + \frac{1}{\tau_{21}} \right)^{-1} \quad (2.49)$$

$$\tau_{2-21}^0 = \left(\frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,87} \right)^{-1} = 1,54 \text{ год}$$

$$\tau_{2-21}' = \left(\frac{1}{\eta_2} + \frac{1}{\tau_{20}} + \frac{1}{\tau_{21}} \right)^{-1} \quad (2.50)$$

$$\tau_{2-21}' = \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,87} \right)^{-1} = 1,59 \text{ год}$$

$$\tau_x'' = \left(\frac{1}{\eta_{20}} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_{21}} \right)^{-1} \quad (2.51)$$

$$\tau_{2-21}'' = \left(\frac{1}{7,0} + \frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,87} \right)^{-1} = 1,75 \text{ год}$$

$$\tau_{2-21}''' = \left(\frac{1}{\eta_{21}} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_{20}} \right)^{-1} \quad (2.52)$$

$$\tau_{2-21}''' = \left(\frac{1}{8,15} + \frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,5} \right)^{-1} = 1,79 \text{ год}$$

$$\tau_{2-21} = \frac{\omega_{2-21}^0 \cdot \tau_{2-21}^0 + \omega_{2-21}' \cdot \tau_{2-21}' + \omega_{2-21}'' \cdot \tau_{2-21}'' + \omega_{2-21}''' \cdot \tau_{2-21}'''}{\omega_{2-21}} \quad (2.53)$$

$$\tau_{2-21} = \frac{0,12 \cdot 10^{-10} \cdot 1,54 + 5,32 \cdot 10^{-10} \cdot 1,59 + 0,073 \cdot 10^{-10} \cdot 1,75 + 0,61 \cdot 10^{-10} \cdot 1,79}{6,12 \cdot 10^{-10}} = 1,61 \text{ год}$$

Для елементів $x_{2-21}; x_{1-22}; x_{19-23}; x_{18-23}$ частоту навмисних включень та частоту обслуговування не можна прийняти рівними нулю, так як елементи 20

та 203, що входять до нього є або роз'єднувачами, або секційним вимикачем з роз'єднувачами, які служать одночасно для двох паралельних елементів. Тому ці показники беруться такими, що дорівнюють показникам самих елементів, а саме:

$$v_{2-21} = 0,18 \text{ рік}^{-1}; \quad \eta_{2-21} = 7,0 \text{ год}$$

$$v_{1-22} = 0,18 \text{ рік}^{-1}; \quad \eta_{1-22} = 7,0 \text{ год}$$

$$v_{19-23} = v_{18-23} = 0,65 \text{ рік}^{-1}; \quad \eta_{19-23} = \eta_{18-23} = 5,6 \text{ год}$$

Розрахунок всіх елементів зводимо в таблицю 2.5:

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків показників надійності.

Елементи схеми	Показники			
	$\omega, \text{рік}^{-1}$	$\tau, \text{ГОД}$	$v, \text{рік}^{-1}$	$\eta, \text{ГОД}$
x_{12}	$17400 \cdot 10^{-10}$	2,37	0	0
x_{2-21}	$6,12 \cdot 10^{-10}$	1,61	0,18	7,0
x_{1-22}	$6,12 \cdot 10^{-10}$	1,61	0,18	7,0
x_{21-22}	$7949000 \cdot 10^{-10}$	2,98	0	0
x_{19-23}	$61,86 \cdot 10^{-10}$	0,86	0,65	5,6
x_{18-23}	$61,86 \cdot 10^{-10}$	0,86	0,65	5,6
x_{18-19}	$2750 \cdot 10^{-10}$	2,73	0	0
x_{Σ}	$0,8 \cdot 10^{-3}$	2,97	1,66	5,9

Визначаємо показники надійності для елемента x_{Σ_i} :

Частота відмов:

$$\omega_{\Sigma} = \sum_1^n \omega_{x_i} \quad (2.54)$$

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{12} + \omega_{2-21} + \omega_{1-22} + \omega_{21-22} + \omega_{19-23} + \omega_{18-23} + \omega_{18-19} \quad (2.55)$$

$$\begin{aligned}\omega_{\Sigma} &= (17400 + 6,12 + 6,12 + 7949000 + 61,86 + 61,86 + 2750) \cdot 10^{-10} = \\ &= 7969285,96 \cdot 10^{-10} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ рік}^{-1}\end{aligned}$$

Час відновлення:

$$\tau_{\Sigma} = \omega_{\Sigma}^{-1} \left(\sum_1^7 \omega_i \cdot \tau_i \right) \quad (2.56)$$

$$\begin{aligned}\tau_{\Sigma} &= \frac{1}{0,8 \cdot 10^{-3}} (17400 \cdot 2,37 + 6,12 \cdot 1,61 + 6,12 \cdot 1,61 + 7949000 \cdot 2,98 + 61,86 \cdot 0,86 + \\ &+ 61,86 \cdot 0,86 + 2750 \cdot 2,73) \cdot 10^{-10} = 2,97 \text{ год}\end{aligned}$$

Частота навмисних відключень:

$$v_{\Sigma} = \sum_1^7 v_i \quad (2.57)$$

$$v_{\Sigma} = (v_{12} + v_{2-21} + v_{1-22} + v_{21-22} + v_{19-23} + v_{18-23} + v_{18-19}) \quad (2.58)$$

$$v_{\Sigma} = (0 + 0,18 + 0,18 + 0 + 0,65 + 0,65 + 0) = 1,66 \text{ рік}^{-1}$$

Час обслуговування:

$$\eta_{\Sigma} = \left(v_{\Sigma} \right)^{-1} \cdot \sum_1^7 v_i \eta_i \quad (2.59)$$

$$\eta_{\Sigma} = \frac{1}{1,66} (0 \cdot 0 + 0,18 \cdot 7 + 0,18 \cdot 7 + 0 \cdot 0 + 0,65 \cdot 5,6 + 0,65 \cdot 5,6 + 0 \cdot 0) = 5,9 \text{ год}$$

2.2. Визначення середнього часу безвідмовної роботи

Середній час безвідмовної роботи $T_{c,i}$ знаходиться за виразом:

$$T_{c,i} = \omega_{\Sigma}^{-1} \quad (2.60)$$

Для даної схеми:

$$T_{c\Sigma} = (0,8 \cdot 10^{-3})^{-1} = 1,25 \cdot 10^3 \text{ років}$$

2.3. Визначення імовірності відмови системи на протязі одного року

Імовірність відмови системи на протязі одного року

$$F_c(1) = 1 - e^{-\omega_{\Sigma} \cdot 1} \quad (2.61)$$

Для даної схеми:

$$F_c(1) = 1 - e^{-0,00081} = 0,00079$$

3. ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Визначення складових приведених витрат

Знаходимо щорічні відрахування від капіталовкладень 3^{iT} :

$$3^{iT} = K^{iT} \cdot (E_n + P_a + P_o), \quad (3.1)$$

де K^{iT} – капіталовкладення по варіанту, тис. грн;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E_n = 0,12$ [10];

P_a, P_o – відповідно відрахування на амортизацію та на обслуговування,

$$P_a = 6,3\%, P_o = 3\% [11].$$

Визначаємо капіталовкладення по варіанту:

$$K^{iT} = K_{\text{бм}} + K_{\text{об}} \quad (3.2)$$

де $K_{\text{бм}}$ – витрати на будівельно-монтажні роботи, $K_{\text{бм}} = 0,60K^{iT}$ [11].

$K_{\text{об}}$ – витрати на обладнання, $K_{\text{об}} = 0,40K^{iT}$ [11].

Кошторисна вартість обладнання по варіанту схеми приведена в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Кошторисна вартість обладнання по схемі

Назва елементів мережі	Вартість одиниці, грн.	Варіант 1	
		Кількіст ь, шт.	Всього грн.
1	2	3	4
Комірка роз'єднувача	4500	4	18000
Комірка від'єднувача та короткозамикача 35 кВ	8300	2	16600
Трансформатор 35/10	200000	2	400000
Лінійний роз'єднувач	600	6	3600
Комірка вимикача 10	3600	3	10800
Шини 6, 10 кВ	600	2	1200
Усього			450200

Для варіанту схеми $K_{\text{об}} = 450,2$ тис. грн, тоді $K_{\text{бм}} = 675,3$ тис. грн, а капіталовкладення складуть:

$$K = 675,3 + 450,2 = 1125,5 \text{ тис. грн.}$$

Щорічні відрахування від капіталовкладень для варіанту схеми складають:

$$3^{iT} = 1125,5 \cdot (0,12 + 0,063 + 0,03) = 239,7 \text{ тис. грн.}$$

Знаходимо щорічні витрати на відшкодування втрат електроенергії в трансформаторах.

Технічні дані трансформаторів, необхідні для розрахунку:

Трансформатор ТМН-4000/35: $S_H = 4000$ кВА; $P_{xx} = 6,7$ кВт; $P_{кз} = 33,5$ кВт.

Визначимо змінні втрати I_{TKi} :

$$I_{TKi} = P_i \left(\frac{S_{\max}}{S_H} \right)^2 \cdot \tau_{\max} \cdot c, \quad (3.3)$$

де P_{Ki} – втрати к.з. трансформатора, кВт;

S_{\max}, S_H – відповідно максимальна розрахункова та номінальна потужність трансформатора, $S_{\max} = 4848$ кВА (з завдання);

τ_{\max} – час максимальних втрат, $\tau_{\max} = 4250$ год. [10];

c – вартість 1 кВт·год змінних втрат, $c = 0,017$ грн/кВт·год [6].

У варіанті схеми використовується два трансформатори і приймається, що навантаження між секціями розподіляється порівну, тоді $S_1 = S_2 = 4000$ кВА, а $I_{TK} = 2 \cdot I_{TK1}$, тому

$$I_{TK} = 2 \cdot 33,5 \cdot \left(\frac{4848}{4000} \right)^2 \cdot 4250 \cdot 0,017 = 7529 \text{ грн.}$$

Визначимо постійні втрати I_{TXi} :

$$I_{TXi} = P_{xx} \cdot T_{TP} \cdot C_x, \quad (3.4)$$

де P_{xx} – втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

T_{TP} – річне число годин роботи трансформатора, $T_{TP} = 8760$ год. [10];

C_x – вартість 1 кВт·ч постійних втрат, $C_x = 0,011$ грн/кВт·год [6].

$$I_{TX} = 6,7 \cdot 8760 \cdot 0,011 = 1291 \text{ грн}$$

$$I_{\Sigma i} = I_{TKi} + I_{TXi}, \quad (3.5)$$

Тоді:

$$I_{\Sigma 1} = I_{\Sigma 2} = 7529 + 1291 = 8820 \text{ грн.}$$

3.2 Визначення очікуваного недовідпуску електроенергії

Для варіанту схеми:

$$W_{ав} = S \cdot \cos \varphi T_{\max} / T_{\text{год}} \cdot \omega \cdot \tau \quad (3.6)$$

$$W_{пр} = S \cdot \cos \varphi T_{\max} / T_{\text{год}} \cdot \nu \cdot \eta \quad (3.7)$$

$$W_{ав} = 4848 \cdot 0.92 \cdot \frac{5320}{8760} \cdot 0.008 \cdot 2.97 = 6,43 \text{ кВт год / рік}$$

$$W_{пр} = 4848 \cdot 0.92 \cdot \frac{5320}{8760} \cdot 1.66 \cdot 5.9 = 26515,5 \text{ кВт год / рік}$$

3.3. Збиток від недовідпуску електроенергії

Збиток при відмовах:

$$Y_{ав.i} = y_{ав} \cdot W_{ав.i} \quad (3.8)$$

де $y_{від}$ – питомий збиток від недовипуску електроенергії при відмовах,
грн/кВт год, $y_{від} = 195$ грн/кВт год

Збиток для даної схеми:

$$Y_{ав} = 195 \cdot 6,43 = 1253,9 \text{ грн}$$

Збиток при навмисних відключеннях:

$$Y_{пр.i} = y_{пр} \cdot W_{пр.i} \quad (3.9)$$

де $y_{нав}$ – питомий збиток від недовипуску електроенергії при навмисних
відключеннях, грн/кВт год, $y_{нав} = 0,6$ грн/кВт год (10).

Збиток при навмисних відключеннях:

$$Y_{np} = 0,6 \cdot 26515,9 = 15909,3 \text{ грн}$$

Всі розраховані показники зводимо в таблицю 3.2.

3.4. Таблиця результатів розрахунків системи

Таблиця 3.2 – Техніко–економічні показники та показники надійності запропонованої схеми

Показники	Значення показника
Відрахування від капітальних вкладень. тис. грн.	239,7
Витрати на відшкодування втрат ел.енергії, грн	8820
Збиток від відмов. грн	1253,9
Збиток від навмисних відключень, грн	15909,3
Сумарні приведені витрати, тис. грн.	1125,5
Частота відмов ω , рік ⁻¹	0.0008
Час відновлення τ , год.	2,97
Частота навмисних відключень ν , рік ⁻¹	1,66
Середній час обслуговування η . год	5,9
Середній час безвідмовної роботи T_c років	1250
Імовірність відмови системи F_c	0.00079

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведені розрахунки показують, що запропонована схема первинних кіл комутації підстанції має ряд переваг та недоліків, а саме:

1) переваги:

- мають невеликі витрати від втрат електроенергії – 8,82 тис. грн.
- невеликий збиток від аварійних відключень – 1,253 тис. грн
- малу частоту аварійних відмов - 0.0008 рік^{-1}
- великий середній час безвідмовної роботи – 1250 років
- низьку імовірність відмови системи - 0.00079

час відновлення більший у 1,38 рази;

2) недоліки:

- велике значення збиток від навмисних відключень – 15,91 тис.грн
- велике значення середнього часу обслуговування - 5,9 годин

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поярков К.М. Электрические станции, линии и сети. Учебник для средн. сельск. проф. техн. училищ.- 2-е изд., испр и доп.- М.: Высш. шк, 1983. -287 с.
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем./ В.В. Ермевич, А.Н. Зейлингер, Г.А. Илларионов и др., Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. - 3-е изд., перераб и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1985- 352 с.
3. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектирование: Учеб. пособие для вузов. -2-е изд., испр. и доп. -Мн: Выш. шк., 1988. -308 с.
4. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. -2-е изд., перераб.- М.: Энергия, 1980.- 600 с., ил.
5. Двоскин Л.И. Схемы и конструкции распределительных устройств. Изд. 2-е перераб. и доп. М., Энергия. 1974.
6. Надежность систем электроснабжения. Зорин В.В., Тисленко В.В., Клеппель Ф., Адлер Г. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984. - 192 с.
7. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. Дьяконов В.П. - М. Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. - 224с.
8. Вентцель Е.С, Овчаров Л.А. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1973.-366 с.
9. Поллард Д. Справочник по вычислительным методам статистики/ Пер.с англ. В.С. Занадворова; Под ред. и с предисл. Е.М. Четыркина. - М.: Финансы и статистика, 1982. - 344 с.,ил.
10. Будзко И.А., Левин М.С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. - 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Агропром-издат, 1985. - 320 с., ил. - (Учебники и учеб.пособия для высш. с.-х. учеб, заведений).
11. Проектирование систем электроснабжения: Учеб. пособие для вузов / В.Н. Вгшославский, А.В. Праховник, Ф. Клеппель, У. Бушц, - Киев: Вища школа. Головное изд-в», 1981. – 360 с.

Яковлев Валерий Федорович
Савойський Олександр Юрійович

Надійність систем електропостачання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з дисципліни
«Надійність систем електропостачання»
для студентів ОС «Магістр» денної та дистанційної форм
навчання зі спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Сумський НАУ, вул.. Кірова 160

Підписано до друку 2019 р. Тираж 20 прим. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. Друк. Арк.. 2,3 замовл.
