

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки до виконання практичних занять

СУМИ 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки до виконання практичних занять

для здобувачів вищої освіти 1м курсу спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
другого рівня вищої освіти
ступеня вищої освіти «Магістр»

СУМИ 2023

Укладачі: Яковлев В. Ф., к.т.н., професор кафедри енергетики та електротехнічних систем; Савойський О. Ю., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем; Вольвач Т. С., асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Надійність систем електропостачання. Методичні вказівки до виконання практичних занять для здобувачів вищої освіти 1м курсу спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» другого рівня вищої освіти, ступеня вищої освіти «Магістр». – Суми, 2023. – 70 с.

Рецензенти:

Лобода В. Б., к.ф.-м.н., професор кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ;

Соларьов О. О., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій Сумського НАУ.

Відповідальний за випуск: Чепіжний А. В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою ІТФ СНАУ.

Протокол № 6 від «23» травня 2023 року.

ЗМІСТ

Практичне заняття №1. Основні поняття та визначення теорії надійності та оптимізації енергосистем.....	6
Практичне заняття №2. Основні теореми теорії ймовірності	14
Практичне заняття №3. Формула повної ймовірності	20
Практичне заняття №4. Статистична обробка даних про надійність елементів енергосистем	22
Практичне заняття № 5. Побудова гістограми та визначення статистичних показників розподілу спостережень.....	27
Практичне заняття №6. Розрахунок одиничних та комплексних показників надійності елементів	31
Практичне заняття №7. Надійність структур. Послідовне з'єднання елементів.	38
Практичне заняття №8. Надійність структур. Паралельне з'єднання елементів.	41
Практичне заняття № 9. Надійність структур. Змішане з'єднання елементів	44
Практичне заняття № 10. Надійність структур. Складне з'єднання елементів ..	47
Практичне заняття № 11. Техніко-економічне обґрунтування рівня надійності СЕП	56
Практичне заняття № 12. Визначення очікуваного недодавання електроенергії споживачам від відключення елементів проектованої РТП.	59
Практичне заняття № 13. Визначення надійності СЕП по величині збитку від відмов в електропостачанні.....	62
Практичне заняття № 14. Оцінювання надійності систем електропостачання по величині збитку від перерв в електропостачанні.....	64
Практичне заняття № 15. Вибір найкращих форм організації технічного обслуговування	66

Практичне заняття №1. Основні поняття та визначення теорії надійності та оптимізації енергосистем

Мета заняття: *Освоєння студентами основних понять та визначень теорії надійності та оптимізації енергосистем*

Програма заняття:

1.1 Теоретичні положення

1.2 Кількісні показники надійності елементів систем електропостачання

1. Теоретичні положення

Енергетичний комплекс України включає в себе цілий ряд систем (рисунок 1.1): газопостачання, нафтопостачання, вугле- та теплопостачання, ядерно-енергетичні. Однією із важливих систем є **електроенергетичні системи**, які забезпечують *виробництво, створювання, акумулювання, передачу і розподіл* електричної, а якщо говорити про вироблення частини тепла на теплоцентралях, теплової енергії.

У розвитку світової енергетики, енергетики промислово розвинутих країн спостерігається тенденція більш тісної взаємодії процесів виробництва, переробки та перетворення, передачі, зберігання, розподілу і споживання різних видів енергії. Тому при проектуванні і експлуатації систем енергопостачання важливим є уміння практичного використання існуючих методів, алгоритмів та математичних моделей при вирішенні задач забезпечення надійності енергопостачання споживачів та зокрема *електропостачання*.

До основних визначень систем електропостачання відносяться:

1) **об'єкт** – предмет певного цільового призначення, який розглядається з точки зору аналізу його властивостей, стану та інших якісних ознак;

2) **елемент** – об'єкт, властивості та інші ознаки якого вивчаються незалежно від властивостей його складових частин;

3) **система** – сукупність спільно функціонуючих елементів, які об'єднані для виконання єдиної задачі;

4) **виріб** – елемент, властивості та інші ознаки якого розглядаються незалежно від його місця і функції в системі.

На стан електрообладнання значно впливають різні зовнішні і внутрішні дії, які приводять до пошкоджень і знижують надійність не тільки окремих елементів, а і системи електропостачання в цілому.

Основними причинами є:

- *відмова* елементів системи (основне обладнання і пристрої системи управління);
- *помилки* експлуатаційного персоналу;
- *відхилення* умов від розрахункових;

- *забезпеченість* системи ресурсами необхідної якості і кількості.

Відмови елементів системи відбуваються не тільки за рахунок старіння, але і в результаті зовнішніх дій, які призводять до непередбачених відключень (природні процеси), а також за рахунок навмисних дій експлуатаційного персоналу (необхідність проведення планових технічних обслуговувань і поточних ремонтів).

Помилки експлуатаційного персоналу пов'язані з неправильним налагоджуванням систем релейного захисту і автоматики, помилковими діями при оперативних перемиканнях, виконанням профілактичних випробувань і ремонтів.

Відхилення умов від розрахункових пов'язані з перевищенням навантаження, технічною неудоконаленістю системи, з затриманням вводу у експлуатацію нового обладнання, невірно вибраними режимами роботи системи.

Забезпеченість системи передбачає забезпеченість її потрібними грошовими, матеріальними (в плані обладнання) і трудовими ресурсами. Основні причини і характер пошкоджень деяких базових елементів систем електропостачання наведені у таблиці 1.1.

Надійність систем забезпечується як надійністю окремих елементів, що складають систему, так і схемами систем електропостачання в цілому.

Під **надійністю** розуміють властивість об'єкта (елементу системи) виконувати задані функції у заданому об'ємі при визначених умовах функціонування. Основні класифікаційні ознаки, які характеризують надійність об'єктів електроенергетики наведені на рисунку 1.2.

Як бачимо із рисунку 1.2 кожний об'єкт електроенергетики, з точки зору надійності, характеризується рядом *властивостей, станом, подією* та їх кількісними або якісними показниками.

Властивості. До основних властивостей, якими характеризується надійність систем електропостачання відносяться: *безвідмовність, довговічність, ремонтоздатність, збереженість*.

Безвідмовність – це властивість об'єкту безперервно зберігати працездатний стан на протязі деякого часу або деякої наробітки.

Довговічність – властивість об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Ремонтоздатність – властивість об'єкту, яка полягає у пристосування до попередження та виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і усунення їхніх наслідків шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів.

Збереженість – властивість об'єкту безперервно зберігати ладний або тільки працездатний стан на протязі і після зберігання або транспортування.

Стан. Стан системи електропостачання, в якому вони можуть знаходитися, з точки зору надійності визначається по здатності об'єкту виконувати задані функції у заданому об'ємі. По даним ознакам стан об'єкту класифікується слідуочим чином

(рисунок 1.2).

Роботоздатний стан – стан об’єкту, при якому він здатний виконувати усі або частину заданих функцій в повному або частковому об’ємі.

У свою чергу роботоздатний стан характеризується двома ознаками:

1) **повністю роботоздатний стан** – це роботоздатний стан об’єкту, при якому він здатний виконувати всі задані функції в повному обсязі;

2) **частково роботоздатний стан**, при якому об’єкт здатний виконувати частину заданих функцій в повному або частковому обсязі або усі задані функції, але при цьому хоча б одну з них – в частковому об’ємі.

Нероботоздатний стан – стан об’єкту, при якому він не здатний виконувати всі задані функції. Стан, який визначає виконання об’єктом заданих функцій в заданому об’ємі, підрозділяється:

1) **робочий стан** – стан об’єкту, при якому він виконує усі або частину заданих функцій в повному або частковому обсязі і підрозділяється на наступні види:

а) *повністю робочий стан*, при якому об’єкт виконує усі задані функції в повному об’ємі;

б) *частково робочий стан*, при якому об’єкт виконує частину заданих функцій в повному або частковому об’ємі або усі функції, але при цьому хоча б одну з них в частковому об’ємі;

2) **резервний стан** – стан, при якому об’єкт здійснює резервування інших об’єктів і підрозділяється на два стани:

а) *навантаженого резерву*, при якому об’єкт знаходиться в роботі;

б) *ненавантаженого резерву*, при якому об’єкт не знаходиться в роботі;

3) **неробочий стан** – стан об’єкту, при якому він не виконує усі задані функції.

Крім того, робочий стан систем електропостачання характеризується режимами її роботи: **нормальним, ремонтним, важким, аварійним і післяаварійним** (рисунок 1.2).

Нормальний режим – робочий стан системи електропостачання, при якому забезпечуються значення заданих параметрів режиму роботи і резервування у встановлених границях.

Ремонтний режим – робочий стан системи, при якому незалежно від значення заданих параметрів режиму не забезпечується резервування у встановлених границях.

Важкий режим – робочий стан об’єкту, при якому незалежно від значення заданих параметрів режиму не забезпечується резервування у встановлених границях.

Аварійний режим – робочий стан системи, при якому вона знаходиться в результаті відмови її елементів від моменту виникнення відмови до її локалізації.

Післяаварійний режим – робочий стан системи, у якому вона знаходиться в результаті відмови її елементів після локалізації відмови до встановлення заданого режиму.

Необхідно підкреслити, що перераховані режими, як правило, характеризують стан системи, а не її елементів.

Нормальний режим завжди відповідає повністю робочому, а важкий - частково робочому стану.



Рисунок 1.1 – Складові енергетичного комплексу України

Таблиця 1.1 – Причини і характер пошкоджень основних елементів СЕП

Елемент СЕП	Причини	Кількість аварійних відключень, %	Примітка
Повітряні лінії (ПЛ) 0,4 – 110 кВ	1. Грозові пошкодження ізоляції 2. Ожеледні утворення 3. Повітряні навантаження 4. Вібрація і „танок” проводів 5. Займання дерев’яних опор 6. Послаблення механічної міцності деталей опор 7. Пошкодження опор і проводів автотранспортом та механізмами 8. Порушення правил монтажу та спорудження 9. Порушення при прийманні до експлуатації 10. Недоліки в організації експлуатації	90 - 95	
Кабельні лінії (КЛ) 0,4 – 110 кВ	1. Порушення цілісності будівельними машинами і механізмами при земляних роботах 2. Старіння міжфазної та поясної ізоляції 3. Інтенсивна корозія (електрична і хімічна) покриття 4. Перевантаження кабелю	60 - 70	Пошкодження кабелів залежить від способу прокладки, різниці горизонтальних рівнів ділянок прокладання

	5. Потрапляння вологи у кабель 6. Порушення ізоляції гризунами 7. Недоліки в організації експлуатації		(стікання масла і осушення ізоляції), агресивності навколишнього середовища, строку експлуатації та інше
Силові трансформатори (ТН)	1. Пошкодження ізоляції обмоток внаслідок дефектів конструкції та виготовлення, при дії та виготовлення, при дії зовнішніх перенапруг і струмів короткого замикання 2. Пошкодження перемикачів (в основному регулюємих під напругою), а також пошкодження, викликані конструктивними і технологічними дефектами 3. Пошкодження введів, в основному при зовнішніх перенапругах в мережах 4. Неякісні контактні з'єднання		
Комутаційні апарати (вимикачі, роз'єднувачі, відокремлювачі)	1. Механічні пошкодження, які пов'язані з недосконалістю конструкції 2. Порушення технології виготовлення 3. Порушення правил експлуатації 4. Перекриття ізоляції при зовнішніх та внутрішніх перенапругах 5. Пробій внутрішньооб'єктової ізоляції вимикачів		Велика пошкодженість лінійних роз'єднувачів 6 – 10 кВ внаслідок недоліків їхнього конструктивного виконання

Події. Перехід об'єкту (системи електропостачання) електроенергетики із одного стану в інший, який здійснюється в результаті цілеспрямованої зміни його структури і параметрів режиму або в результаті відмов (аварії) та операцій відновлення, називається **подією**. Класифікація подій, які характерні для електротехнічних систем, наведена на рисунку 1.2. До основних видів подій відносяться такі:

Пошкодження – порушення ладності об'єкту або його складових частин в результаті зовнішніх дій, які перевищують рівні, що встановлені нормативно-технічною документацією.

Відключення – переведення об'єкту із робочого у неробочий стан.

Навмисне відключення – це відключення, яке передбачене і виконане експлуатаційним персоналом.

Відновлення – це подія, яка заключається у переході об'єкту із

нероботоздатного в роботоздатний стан.

Обслуговування – сукупність заходів, які здійснюються для зберігання або відновлення роботоздатного стану об'єкту.

Ремонт – сукупність заходів, які здійснюються для відновлення роботоздатності об'єкту.

Оперативне перемикання – це зміна схеми або режиму роботи об'єкту, яка виконується обслуговуючим персоналом.

Відмова – подія, яка заключається в порушенні роботоздатності об'єкту або однієї із вимог до якості виконання даної функції, які встановлені у нормативно-технічній або конструкторській документації на систему.

Розрізняють два види відмови:

а) **відмова роботоздатності** – подія, яка заключається у переході об'єкту з одного рівня роботоздатності на другий, більш низький;

б) **відмова функціонування** – подія, яка заключається в переході об'єкту з одного відносного рівня функціонування на інший, більш низький.

Як відмова роботоздатності, так і відмова функціонування об'єкту електроенергетики може бути:

1) **повною відмовою роботоздатності** – відмова роботоздатності, яка приводить об'єкт у нероботоздатний стан;

2) **часткова відмова роботоздатності** – відмова роботоздатності, яка приводить об'єкт до часткового роботоздатного стану;

3) **раптова відмова роботоздатності** – відмова роботоздатності, яка характеризується раптовим зниженням рівня роботоздатності об'єкту;

4) **поступова відмова роботоздатності** – відмова роботоздатності, яка характеризується поступовим зниженням рівня роботоздатності об'єкту;

5) **незалежна відмова роботоздатності** – відмова роботоздатності об'єкту, яка не обумовлена відмовами роботоздатності інших об'єктів;

6) **залежна відмова роботоздатності** – відмова роботоздатності об'єкту, яка обумовлена відмовами роботоздатності інших об'єктів;

7) **стійка відмова роботоздатності** – відмова роботоздатності, для відновлення якої необхідний ремонт об'єкту;

8) **нестійка відмова роботоздатності** – відмова роботоздатності, для відновлення якої необхідні тільки відключення або зміна режиму роботи об'єкту без його ремонту.

По тривалості в електропостачанні відрізняють слідуючі відмови:

- **тривала перерва** в електропостачанні споживачів, яка обумовлена ліквідацією великих пошкоджень в системі електропостачання (декілька діб);

- **припинення живлення** споживачів на час відновлення роботоздатності елементу СЕП, який відмовив (4 – 24 год);

- **припинення живлення** споживачів на час, необхідний для ручного вмикання резервного живлення діями оперативно-виїздної бригади (ОВБ) (1,5 – 6 год);
- **припинення живлення** на час оперативних перемикачів, які виконуються черговим персоналом на підстанціях (декілька хвилин);
- **короткочасна відмова** в електропостачанні споживачів на час автоматичного вводу резервного живлення або автоматичного відключення пошкодженої ділянки мережі (декілька секунд).

Крім того, відмови в електропостачанні розділяють на:

- **раптові**, коли споживач не отримує ніякої інформації про відмови;
- **позапланові відключення**, коли споживач отримує інформацію про відключення незадовго до моменту відключення;
- **планові відключення**, про які споживач попереджується завчасно і це відключення планується експлуатаційним персоналом.

Критерієм відмови (аварії) є умови, відповідно до яких приймається рішення про працездатний стан об'єкту і відповідність його параметрам та допустимим границям їх зміни. Ці критерії встановлюються відповідною нормативно-технічною документацією по відмовам об'єктів електроенергетики.

Події, які приводять до обмеження наслідків відмов і підвищенню рівня працездатності та функціонування характеризується поняттям **локалізації відмови функціонування**. Це означає управління об'єктом з метою обмеження наслідків відмови шляхом відділення пошкоджених елементів.

Необхідно підкреслити, що відмова є одним із основних уявлень теорії надійності.

1.2 Кількісні показники надійності елементів систем електропостачання

Крім якісних характеристик, надійність елементів систем електропостачання має і кількісну оцінку. Найменування і визначення основних показників елементів схем та математичні вирази для їх кількісної оцінки наведено в таблиці 1.2.

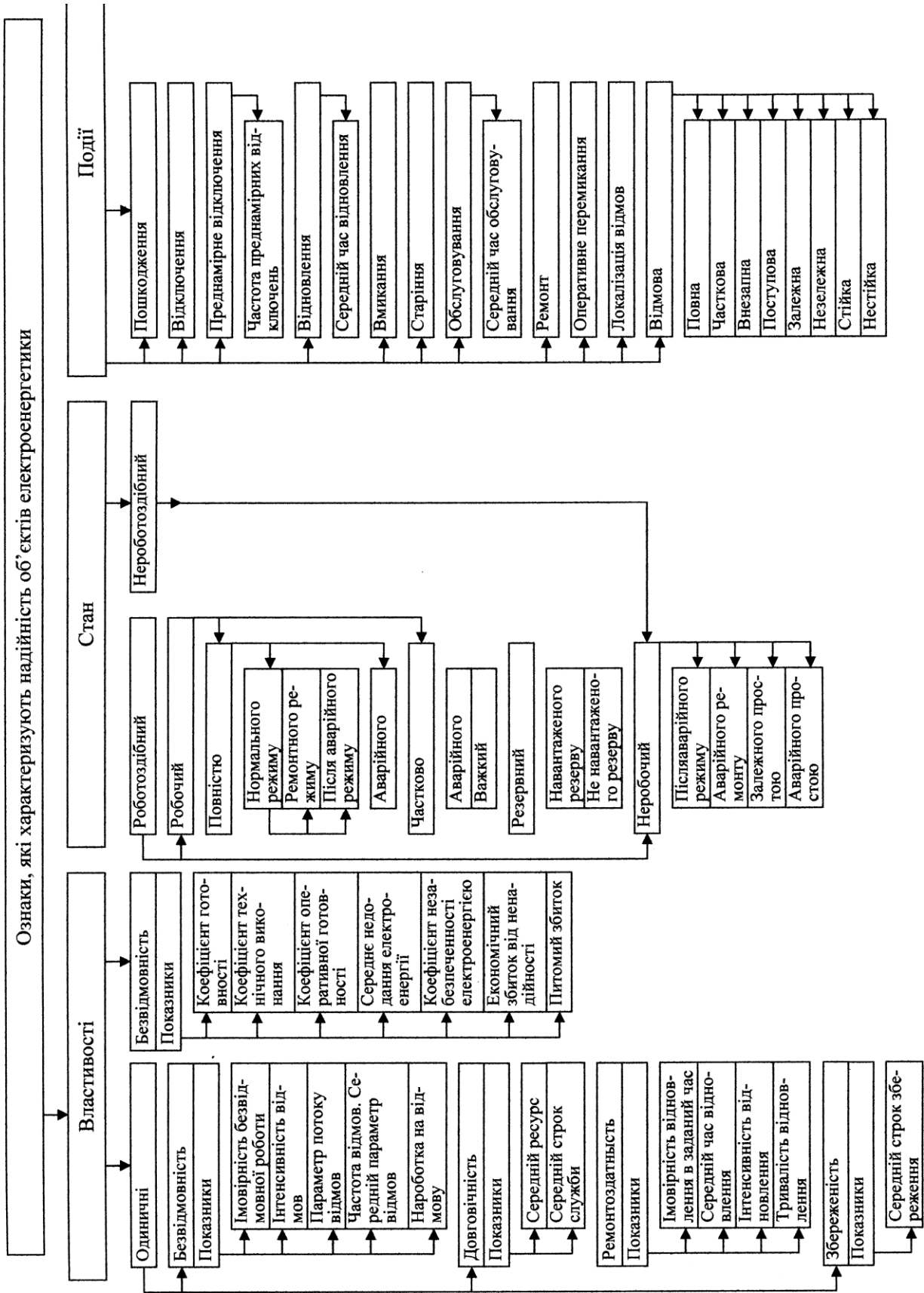


Рисунок 1.2 – Класифікація ознак, які характеризують надійність об'єктів електропостачання

Практичне заняття №2. Основні теореми теорії ймовірності

Мета заняття: ознайомити студентів із основними теоремами теорії ймовірності.

Програма заняття

- 2.1. Теоретичні відомості.
- 2.2. Приклади розв'язування задач
- 2.3. Завдання для самостійного виконання.

2.1. Теоретичні відомості

Під подією в теорії ймовірності розуміється всякий факт, який в результаті випробувань може відбутися або не відбутися.

Як одиницю виміру приймають ймовірність достовірної події й припишемо їй ймовірність, що дорівнює 1. Тоді ймовірності інших можливих, але недостовірних подій будуть характеризуватися ймовірностями, меншими за 1. Природно, що ймовірність неможливої події дорівнює 0.

Якщо є можливість зробити експерименти й порахувати, скільки випадкових результатів експерименту привели до появи події А, то можна оцінити ймовірність події А за формулою

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (2.1)$$

де $P(A)$ - ймовірність події А;

n - загальне число можливих результатів експерименту,

m - число результатів експерименту, які привели до появи події.

З формули (2.1) видно, що

$$0 \leq P(A) \leq 1.$$

Основні теореми ймовірностей

1. Повна група подій. Кілька подій в даному випробуванні утворюють повну групу подій, якщо в результаті випробування неодмінно повинна з'явитися хоча б одна з них.

2. Неспільні події. Кілька подій називаються неспільними в даному випробуванні, якщо ніякі дві з них не можуть з'явитися разом.

3. Рівноможливі події. Кілька подій в даному випробуванні називають рівноможливими, якщо є підстава вважати, що жодна з цих подій не є об'єктивно більше можлива, ніж інші.

4. Протилежними подіями називаються дві неспільних події, що утворюють повну групу.

5. Подія А називається незалежною від події В, якщо ймовірність події А не залежить від того, відбулася подія В чи ні.

6. Подія А називається залежною від події В, якщо ймовірність події А міняється залежно від того, відбулася подія В чи ні.

7. Сумою двох подій А і В називається подія С, що має місце при виконанні події А або події В, або обох разом узятих.

8. Сумою декількох подій називається подія, що має місце при появі хоча б однієї з цих подій.

9. Добутком двох подій А і В називається подія С, що має місце при спільному виникненні події А і події В.

10. Добутком декількох подій називається подія, що складається в спільній появі всіх цих подій.

Теорема додавання ймовірностей

Ймовірність суми двох несумісних подій дорівнює сумі ймовірностей цих подій:

$$P(A + B) = P(A) + P(B). \quad (2.2)$$

Методом повної індукції можна узагальнити теорему додавання на довільне число несумісних подій

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \quad (2.3)$$

Наслідок 1. Якщо події $A_1, A_2, \dots, A_n$ утворюють повну групу неспільних подій, то сума їхніх ймовірностей дорівнює одиниці:

$$\sum_{i=1}^n P(A_i) = 1. \quad (2.4)$$

Наслідок 2. Сума ймовірностей протилежних подій дорівнює одиниці:

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1. \quad (2.5)$$

Теорема множення ймовірностей

Ймовірність події A , обчислена за умови, що мала місце інша подія B , називається умовною ймовірністю події A й позначається $P(A/B)$.

Ймовірність добутку двох подій дорівнює добутку ймовірності однієї з них на умовну ймовірність іншої, обчисленої за умову, що перша мала місце:

$$P(A \cdot B) = P(A) \cdot H(A / B). \quad (2.6)$$

Наслідок 1. Якщо подія A не залежить від події B , то й подія B не залежить від події A .

Наслідок 2. Ймовірність добутку двох незалежних подій дорівнює добутку ймовірностей цих подій.

Допоміжні теореми

1. В випадку, коли події A и B спільні, ймовірність суми цих подій виражається за формулою

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB), \quad (2.7)$$

а для трьох подій A , B і C – формулою:

$$P(A + B + C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(AB) - P(AC) - P(BC) + P(ABC). \quad (3.8)$$

2. В випадку, коли події A та B – спільні, ймовірність добутку цих подій виражається за формулою:

$$P(AB) = P(A) + P(B) - P(A + B), \quad (2.8)$$

а для трьох подій A , B , і C – формулою:

$$\begin{aligned} P(ABC) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A + B) - P(A + C) - \\ - P(B + C) + P(A + B + C) \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.2. Приклади розв'язування задач

Задача 1. Знайти ймовірність відмови парогенератора $P_{\text{ПГ}}$, якщо відомо, що ймовірність безвідмовної роботи становить $R_{\text{ПГ}} = 0,99$.

Приймаються позначення

$$P(A) = R_{\text{ПГ}}; P(\bar{A}) = P_{\text{ПГ}}.$$

Ймовірність відмови гідрогенератора визначається з вираження

$$P_{\text{ПГ}} = 1 - R_{\text{ПГ}} = 1 - 0,99 = 0,01.$$

В розрахунках надійності електростанцій, що складаються з декількох генераторів, іноді потрібно визначити ймовірність одночасного виходу з ладу (відмови) групи генераторів, тоді використовують формулу біноміального розподілу:

$$P_n^m = C_n^m \cdot R_{\text{ПГ}}^m \cdot P_{\text{ПГ}}^{n-m},$$

де C_n^m – біноміальний коефіцієнт.

n – загальне число генераторів;

m – число генераторів, що відмовили.

В теорії ймовірностей та математичній статистиці, біноміальний розподіл є дискретним ймовірнісним розподілом, що характеризує кількість успіхів в послідовності експериментів, значення яких змінюється за принципом так/ні, кожен з яких набуває успіху з ймовірністю p .

Задача 2. На електростанції працюють три турбогенератори, ймовірність безвідмовної роботи кожного з них $R_{\text{ТГ}} = 0,98$, ймовірність відмови $P_{\text{ТГ}} = 0,02$. Визначити ймовірність відмови одночасно двох турбогенераторів.

$$P_3^2 = C_3^2 \cdot R_{\text{ТГ}}^1 \cdot P_{\text{ТГ}}^2 = \left(\frac{3!}{(3-2)!2!} \right) \cdot 0,98 \cdot 0,02^2 = 0,0012.$$

Задача 3. Визначити ймовірність відмови блоку ТЕС, якщо відомо, що ймовірність відмови генератора $P_{\text{Г}} = 0,006$, трансформатора - $P_{\text{Т}} = 0,00035$.

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(A)P(B)$$

де $P(A) = P_{\text{Г}};$

$P(B) = P_{\text{Т}}.$

$$P(A+B) = 0,006 + 0,00035 - 0,006 \cdot 0,00035 = 0,35 \cdot 10^{-3}$$

Задача 4. Відомо, що схема РУ електростанції перебуває в нормальному режимі з ймовірністю $P_H = 0,9$. Визначити ймовірність ремонтного стану схеми P_P .

$$P_H = P(A); P_P = (\bar{A});$$

$$P_P = 1 - P_H = 1 - 0,9 = 0,1$$

Задача 5. Ймовірність відмови блоку на ТЕС становить $P_{\text{бл}} = 0,001$. Визначити ймовірність відмови блоку в період максимального навантаження в системі. Ймовірність максимуму в системі протягом доби становить $P_{\text{max}} = K_{\text{max}} = 0,8$.

Введемо позначення

$$P(A) = P_{\text{бл}}, \quad P(B) = K_{\text{max}},$$

тоді

$$P(AB) = P_{\text{бл}} \cdot K_{\text{max}} = 0,001 \cdot 0,8 = 0,0008.$$

Задача 6. Для власних потреб електростанція живиться від двох трансформаторів. Ймовірність відмови кожного з них становить $P_T = 0,002$. визначити ймовірність одночасної відмови обох трансформаторів.

$$P(A) = P_{T1} \text{ та } P(B) = P_{T2}$$

$$P(AB) = P_{T1} \cdot P_{T2} = 0,002 \cdot 0,002 = 0,000004.$$

Задача 7. Секція 6 кВ власних потреб ТЕС нормально живиться від робочого трансформатора, ймовірність відмови якого становить $P_{HT} = 0,01$. В випадку його відмови включається резервний за допомогою дії АВР. Імовірності відмов: резервного трансформатора $P_{PT} = 0,005$; автоматичного включення резерву $P_{ABP} = 0,001$.

Визначити ймовірність погашення секції 6 кВ власних потреб.

$$P(A) = P_{PT}; \quad P(B) = P_{ABP}; \quad P(C) = P_{HT};$$

$$P(A+B) = P_{PT} + P_{ABP} = 0,005 + 0,001 = 0,006;$$

$$P((A+B)C)=P(A+B) \cdot P_{HT} = 0,006 \cdot 0,01 = 0,00006$$

2.3. Завдання для самостійного виконання

1. В електричному ланцюзі послідовно включені три пристрої. При виході з ладу одного з пристроїв втрачає працездатність весь ланцюг. Ймовірність виходу з ладу першого пристрою - 0.02, другого - 0.009, третього – 0.026. Знайти ймовірність того, що електричний ланцюг вийде з ладу.

2. Пожежна світлова сигналізація має три індикатори, які дублюють один одного. Ймовірність виходу з ладу кожного з індикаторів за час t дорівнює 0.02. З якою ймовірністю в момент часу t вийдуть з ладу всі три індикатори?

3. Технічна система містить три підсистеми: А, В і С. Ймовірність виходу з ладу за час роботи t для підсистеми А дорівнює $P(A)=0.21$, для підсистеми В дорівнює $P(B) = 0.32$, а для підсистеми С дорівнює $P(C) = 0.39$.

Підрахувати ймовірність того, що до моменту часу t система збереже працездатність, якщо для того, щоб вона втратила працездатність, необхідно щоб вийшли з ладу всі три підсистеми.

Практичне заняття №3. Формула повної ймовірності

Мета заняття: ознайомити студентів із формулою повної ймовірності.

Програма заняття

- 3.1. Теоретичні відомості.
- 3.2. Приклади розв'язування задач
- 3.3. Завдання для самостійного виконання.

3.1. Теоретичні відомості

Нехай потрібно визначити ймовірність деякої події A , що може відбутися разом з однією з подій $H_1, H_2, \dots, H_n$, що утворюють повну групу неспільних подій. Будемо ці події називати гіпотезами. Ймовірність події A обчислюють як суму добутків ймовірності кожної гіпотези на ймовірність події за цією гіпотезою:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \times P(A/H_i). \quad (3.1)$$

3.2. Приклади розв'язування задач

Робота генератора контролюється двома регуляторами. Розглядається певний період часу t , в пліні якого бажано забезпечити безвідмовну роботу генератора. При наявності обох регуляторів генератор відмовляє з ймовірністю $1,2q$, при роботі тільки першого з них – з ймовірністю $1q$, при роботі тільки другого – з ймовірністю $2q$, при відмові обох регуляторів – з ймовірністю $0q$. Перший з регуляторів має надійність $1p$, другий – $2p$. Всі елементи виходять з ладу незалежно один від одного. Знайти повну надійність (ймовірність безвідмовної роботи) генератора.

Рішення. Розглянемо гіпотези:

$H_{1,2}$ – працюють обидва регулятори;

H_1 – працює тільки перший регулятор (другий вийшов з ладу);

H_2 – працює тільки другий регулятор (перший вийшов з ладу);

H_0 – обидва регулятори вийшли з ладу.

Подія:

A – безвідмовна робота генератора.

Ймовірності гіпотез дорівнюють:

$$P(H_{1,2}) = p_1 p_2;$$

$$P(H_1) = p_1(1 - p_2);$$

$$P(H_2) = p_2(1 - p_1);$$

$$P(H_0) = (1 - p_1)(1 - p_2).$$

Умовні ймовірності події А за цими гіпотезами дорівнюють

$$P\left(\frac{A}{H_{1,2}}\right) = 1 - q_{1,2};$$

$$P\left(\frac{A}{H_1}\right) = 1 - q_1;$$

$$P\left(\frac{A}{H_2}\right) = 1 - q_2;$$

$$P\left(\frac{A}{H_0}\right) = 1 - q_0.$$

За формулою повної ймовірності одержимо

$$P(A) = p_1 p_2 (1 - q_{1,2}) + p_1 (1 - p_2) (1 - q_1) + p_2 (1 - p_1) (1 - q_2) + (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - q_0)$$

3.3. Завдання для самостійного виконання.

На промисловому підприємстві через аварію втратили роботоспроможність чотири дільниці. На трьох з них вийшли з ладу шість запобіжників, а два залишилися цілими. На четвертій дільниці вийшли з ладу вісім запобіжників, а один залишився цілим. Визначити ймовірність події В, що полягає в тому, що на довільно вибраній дільниці при перевірці та ремонті устаткування довільно обраний запобіжник буде цілим.

Практичне заняття №4. Статистична обробка даних про надійність елементів енергосистем

Мета заняття: *Навчити студентів визначати елементи енергосистем та здійснювати збір і обробку даних про їх надійність*

Програма заняття:

4.1 Теоретичні положення.

4.2 Приклад розрахунку.

4.1. Теоретичні положення

Основні відомості про статистичну обробку даних про надійність елементів систем електропостачання. Як в процесі проектування, а саме виборі схем первинних комутацій підстанцій, схем електричних мереж та інше, так і виборі режимів їх роботи в процесі експлуатації, необхідним та важливим є кількісна оцінка показників надійності. Це дозволяє, при виборі схем і режимів їх роботи, прийняти найбільш оптимальне техніко-економічне рішення.

Визначення та оцінка кількісних показників надійності елементів СЕП базується на положеннях теорії імовірностей, математичної статистики, теорії масового обслуговування.

Дані про відмови і навмисні відключення елементів утримуються в первинній документації підприємств електричних мереж. Ці дані необхідно обробляти таким чином, щоб у результаті отримати достовірні показники надійності елементів мережі. Обробка даних спостережень виконується в наступній послідовності.

1. Накопичується необхідний об'єм вибірки спостережень, які беруться в експлуатаційних організаціях (наприклад, в РЕМ) або здійснюються експериментальні спостереження за роботою та відмовами елементів схем систем електропостачання, які підлягають оцінці. Мінімальний необхідний об'єм спостережень $N_i(0)$ визначається за виразом:

$$N_i(0) = \frac{n_{ei} \cdot T_{\bar{e}i}}{f \cdot \Delta t_{ei}}, \quad (4.1)$$

де n_{ei} - кількість відмов i -го елемента схеми за час спостереження;

$T_{\bar{e}i}$ - очікуваний час безвідмовної роботи i -го елемента, років;

Δt_{ei} - проміжок часу, за який спостерігалися відмови i -го елемента, років
(задається);

f - кількість ступенів свободи

$$f = 1 + \delta, \quad (4.2)$$

де δ - відносна похибка; може бути задана.

Кількість відмов n_{ei} визначається по таблицям [1, 3] при розрахунковому значенні ступенів свободи f та вибраному значенні довірчої імовірності α .

2. Складається таблиця спостережень, яка містить графи „номер спостереження” та „значення параметру” (таблиця 2.1).

3. Визначаємо параметри закону розподілу по експериментальним даним (таблиця 2.3):

3.1) визначаємо кількість інтервалів q , на які необхідно розділити різницю між двома граничними значеннями даних за правилом Старджеса:

$$q = 1 + 3,33 \lg N, \quad (4.3)$$

де N - кількість спостережень; береться з таблиці експериментальних спостережень (таблиця 4.1);

Таблиця 4.1 – Дані експериментальних спостережень

Номер спостереження	Значення параметру	Номер спостереження	Значення параметру
1	2	1	2
1	x_1	6	x_6
2	x_2	7	x_7
3	x_3	8	x_8
4	x_4	...	...
5	x_5	N	x_N

Примітка – x_i – кількісне значення спостереженого параметра

3.2) визначаємо масштаб (або шаг) вибірки h :

$$h = (x_{\max} - x_{\min})q^{-1}, \quad (4.4)$$

де $x_{\max}$, $x_{\min}$ - відповідно, максимальне та мінімальне значення параметра спостереження; береться з таблиці 2.1;

3.3) визначаємо граничні значення кожного інтервалу $x_{q\min} \dots x_{q\max}$. Слід враховувати те, що верхнє граничне значення попереднього інтервалу є початковим (мінімальним) граничним значенням слідуєчого, тобто:

- перший інтервал:

$$x_{\min} \dots (x_{\min} + h)$$

- другий інтервал:

$$(x_{\min} + h) \dots (x_{\min} + 2h)$$

- для останнього інтервалу:

$$(x_{\min} + (q - 1)h) \dots (x_{\min} + qh)$$

- для i -го інтервалу:

$$(x_{min} + (q_i - 1)h) \dots (x_{min} + q_i h) \quad (2.5)$$

де q_i - порядковий номер i -го інтервалу.

Розрахункові дані заносимо в „шапку” таблиці для визначення параметрів статистичного ряду (таблиця 2.2).

Таблиця 4.2 – Розрахункові дані статистичного ряду

Параметр статистичного ряду	$x_{qmin} \dots x_{qmax}$				
	$x_{min} \dots (x_{min} + h)$	$(x_{min} + h) \dots (x_{min} + 2h)$	$(x_{min} + 2h) \dots (x_{min} + 3h)$		$(x_{min} + (q-1)h) \dots (x_{min} + qh)$
$\bar{x}_q$					
x_q^*					
n_q					
p_q					

3.4) визначається середнє значення $\bar{x}_q$ спостереженого параметру в кожному інтервалі. Для q -го інтервалу $\bar{x}_q$ визначається як:

$$\bar{x}_q = 0,5(x_{qmax} + x_{qmin}) \quad (4.6)$$

3.5) визначаємо відносне середнє значення спостереженого параметру x_q^* в q -му інтервалі [1.2]:

$$x_q^* = (\bar{x}_q - \bar{x}_0) \cdot h^{-1}, \quad (4.7)$$

де $\bar{x}_0$ - умовний нуль (новий початок відрахунку); як правило це середнє значення спостереженого параметру для усієї вибірки;

3.6) визначаємо частоту p_q спостережених значень параметру в q -му інтервалі:

$$p_q = n_q / N, \quad (4.8)$$

де N - загальна кількість спостережень параметру.

Результати розрахунків заносяться до таблиці визначення параметрів статистичного ряду (таблиця 2.2).

Приклад 1. На підставі багаторічних спостережень експлуатаційної організації (РЕМ) за роботою та відмовами елементів систем електропостачання, статистично обґрунтувати середній параметр потоку відмов (частоту відмов ω_e

вакуумних вимикачів серії ВВ/TEL. Дані спостережень наведені у таблиці 2.3. Очікуваний час безвідмовної роботи вакуумних вимикачів серії ВВ/TEL по даним інших організацій складає $T_{\text{бв}} = 25 \text{ років}$, відносна похибка $\delta = 0,2$, довірча імовірність дорівнює $\alpha = 0,9$. Спостереження проводилися на протязі п'яти років, тобто $\Delta t_{\text{бв}} = 5 \text{ років}$.

Рішення. Розрахунок виконуємо згідно п. 1 – 8 підрозділу 1.3.

1 *Визначення необхідної мінімальної кількості спостережень*

1.1 Визначаємо кількість ступенів свободи за формулою (4.2):

$$f = 1 + 0,2 = 1,2$$

1.2 По таблицям [1, 3] знаходимо кількість відмов вакуумних вимикачів за час спостережень $n_{\text{бв}}$ при $f = 1,2$ та $\alpha = 0,9$

$$n_{\text{бв}} = 12$$

1.3 За виразом (4.1) визначаємо мінімальний необхідний об'єм спостережень $N_e(0)$:

$$N_e(0) = \frac{12 \cdot 25}{1,2 \cdot 5} = 50 \text{ спост.}$$

2 Дані спостережень наведені у таблиці 4.3.

3 Визначення параметрів закону розподілу по даним спостережень (таблиця 4.3).

3.1 Згідно виразу (4.3) кількість інтервалів між граничними значеннями складає:

Таблиця 4.3 – Дані спостережень по відмовам вакуумних вимикачів серії ВВ/TEL

Номер спос- тере- жень	Значення пара- метра ω_e	Номер спос- тере- жень	Значення пара- метра ω_e	Номер спос- тере- жень	Значення пара- метра ω_e	Номер спос- тережен ь	Значен- ня пара- метра ω_e	Номер спос- тере- жень	Значен- ня пара- метра ω_e
1	0,0146	11	0,0144	21	0,0143	31	0,0166	41	0,0132
2	0,0131	12	0,0139	22	0,0132	32	0,0167	42	0,0133
3	0,0151	13	0,0198	23	0,0117	33	0,0158	43	0,0195
4	0,0203	14	0,0129	24	0,0160	34	0,0113	44	0,0173
5	0,0162	15	0,0103	25	0,0189	35	0,0165	45	0,0119
6	0,0187	16	0,0159	26	0,0213	36	0,0145	46	0,0159
7	0,0151	17	0,0160	27	0,0175	37	0,0163	47	0,0181
8	0,0161	18	0,0174	28	0,0156	38	0,0137	48	0,0187
9	0,0190	19	0,0179	29	0,0172	39	0,0190	49	0,0143
10	0,0142	20	0,0184	30	0,0177	40	0,0141	50	0,0159

$$q = 1 + 3,3 \lg 50 = 6,61$$

3.2 Визначаємо масштаб вибірки по (4.4):

$$h = (0,0213 - 0,0113) \cdot 6,61^{-1} = 0,0015$$

$$\omega_{\max} = 0,0213 \text{ рік}^{-1}; \quad \omega_{\min} = 0,0113 \text{ рік}^{-1}; \quad \omega_0 = 0,01625 \text{ рік}^{-1}$$

3.3 Граничні значення кожного інтервалу позначені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахункові дані статистичного ряду

Параметр статистичного ряду	$\omega_{q \min} \dots \omega_{q \max}$						
	0,0110 0,0125	0,0125 0,0140	0,0140 0,0155	0,0155 0,0170	0,0170 0,0185	0,0185 0,0200	0,0200 0,0215
ϖ_{eq}	0,01175	0,01325	0,01475	0,01625	0,01775	0,01925	0,02075
ω_{eq}^*	-3	-2	-1	0	1	2	3
n_{eq}	4	7	9	13	8	7	2
p_{eq}	0,08	0,14	0,18	0,26	0,16	0,14	0,04

3.4 Визначаємо середнє значення спостереженого параметру в кожному інтервалі за виразом (4.6). Так, для першого інтервалу:

$$\varpi_{e1} = 0,5(\omega_{e1 \max} + \omega_{e1 \min}) = 0,5(0,0125 + 0,0110) = 0,01175 \text{ рік}^{-1}$$

3.5 Відносне середнє значення спостереженого параметру в кожному інтервалі визначаємо по (2.7). Так, для першого інтервалу:

$$\omega_{e11}^* = 0,5(\varpi_{e1} - \omega_{e0}) \cdot h^{-1} = (0,01175 - 0,01625) \cdot 0,0015^{-1} = -3$$

Значення для інших інтервалів занесені до таблиці 4.4.

3.6 Визначаємо кількість та частоту спостережень в кожному інтервалі (вираз 4.8). Результати розрахунків заносимо до таблиці 4.4.

Практичне заняття № 5. Побудова гістограми та визначення статистичних показників розподілу спостережень

Мета заняття: *Навчити студентів будувати гістограму та визначати статистичні показники закону розподілу*

Програма заняття:

5.1 Теоретичні положення.

5.2 Приклад розрахунку.

1 Теоретичні положення

За даними таблиці 2.4 (див. ПЗ №2) будується гістограма для визначення закону розподілу (рисунок 3.1). Гістограма будується слідуєчим чином. По вісі абсцис відкладається відносне середнє значення досліджуваного параметру $\bar{x}_0$, а також відносні значення границь інтервалів x_{qmin} та x_{qmax} :

$$\begin{aligned} x_{qmin}^* &= (x_{qmin}^* - \bar{x}_0) \cdot h^{-1} \\ x_{qmax}^* &= (x_{qmax}^* - \bar{x}_0) \cdot h^{-1} \end{aligned} \quad (3.1)$$

По вісі ординат відкладається частота спостережень параметру p_q в q-му інтервалі.

З кінців інтервалів встановлюються перпендикуляри, висота яких дорівнює значенню частоти спостережень досліджуваного параметру p_q . Кінці інтервалів на рівні p_q з'єднуються прямою, яка паралельна вісі абсцис. В результаті отримуємо ступінчастий графік, тобто *вид статистичного розподілу* даних спостережень.

Будується теоретична крива закону розподілу (дані беруться з таблиці 2.4). Для цього визначаємо:

- математичне очікування середнього значення досліджуваного параметру m_x

:

- у відносних одиницях:

$$m_x^* = \sum_{q=1}^q x_q^* \cdot p_q \quad (3.2)$$

- в іменованих одиницях:

$$m_x^* = m_x^* \cdot h + \bar{x}_0 \quad (3.3)$$

5.2) дисперсію s_x :

- у відносних одиницях:

$$s_x^* = \sum_{q=1}^q (x_q^* - m_x^*)^2 \cdot p_q \quad (3.4)$$

- в іменованих одиницях:

$$s_x = s_x^* \cdot h^2 \quad (3.5)$$

6. По вигляду гістограми (рисунок 7.3) визначається (приблизно) відповідність до того або іншого закону розподілу (наприклад, з рисунку 7.3 видно, що зміна досліджуваного параметру може бути описана нормальним законом розподілу). Для затвердження цього висновку необхідно по параметрам розподілу побудувати теоретичну криву прийнятого розподілу. Для нормального закону розподілу функція буде мати слідуєчий вид [7.2]:

$$f(x) = (\sigma_x \sqrt{2\pi})^{-1} e^{-(\bar{x}_q - m_x)^2 \cdot (2\sigma_x^2)^{-1}}, \quad (3.6)$$

де σ_x - середньоквадратичне відхилення значення досліджуваного параметру:

- у відносних одиницях:

$$\sigma_x^* = \sqrt{s_x^* / (N - 1)} \quad (3.7)$$

- в іменованих одиницях:

$$\sigma_x = \sqrt{s_x / (N - 1)} \quad (3.8)$$

6.1) визначаємо значення нормованого та центрованого розподілу по таблицям із [7.2] для функцій:

$$\varphi_0(t) = (2\pi)^{-0,5} \cdot e^{-0,5t^2}; \quad f(t) = \sigma_x^{-1} \varphi_0(t) \quad (3.9)$$

$$\text{де} \quad t = (\bar{x}_q - m_x) \cdot \sigma_x^{-1}. \quad t^* = (x_q^* - m_x^*) \sigma_x^{*-1} \quad (3.10)$$

6.2) визначається функція $f(x)$ з урахуванням (3.9).

Розрахункові значення t , $\varphi_0(t)$, $f(x)$ заносимо до таблиці 3.1. По цим даним будуємо теоретичну криву розподілу (рисунок 3.1).

Таблиця 3.1 – Розрахункові дані для побудови теоретичної кривої розподілу по нормальному закону

Розрахункові параметри	* Відносне середнє значення досліджуваного параметру X_q								
	* $-X_q$				* X_0				* $+X_q$
$(x_q - m_x) \sigma_x^{-1}$									
$\varphi_0(t_q)$									
$f(x_q)$									
p_q									

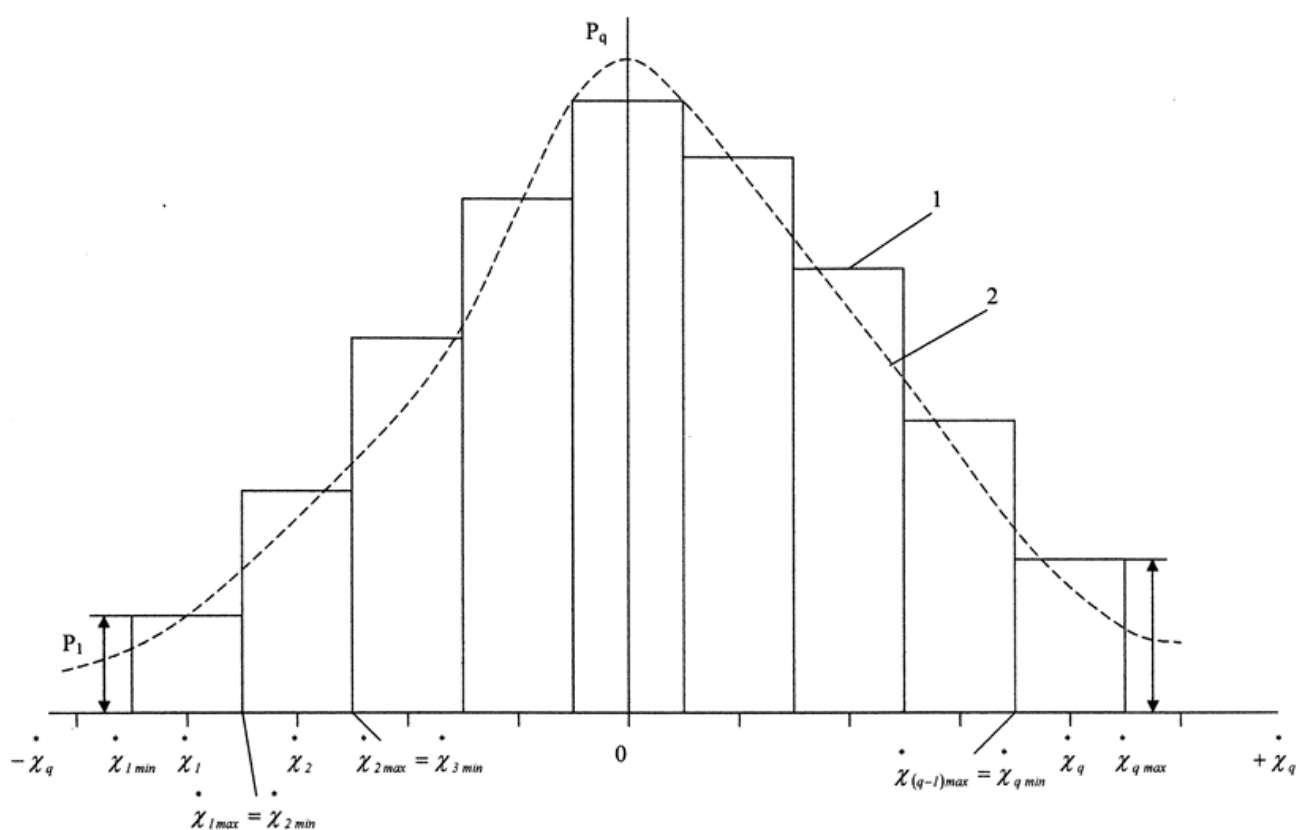


Рисунок 3.1 – Приклад побудови гістограми та теоретичної кривої закону розподілу:
1 – гістограма; 2 – теоретична крива закону розподілу статистичних даних

2. Приклад виконання.

Приклад 3.1 По даним таблиці 3.1 побудувати гістограму (дивись рисунок 3.1) та визначити статистичні показники розподілу спостережень

Рішення:

3.1 Математичне очікування частоти відмов визначаємо за виразом (3.2):

- в відносних одиницях:

$$\begin{aligned} \omega_{\epsilon}^* = & (-3) \cdot 0,08 + (-2) \cdot 0,14 + (-1) \cdot 0,18 + 0 \cdot 0,26 + \\ & + 1 \cdot 0,16 + 2 \cdot 0,14 + 3 \cdot 0,04 = -0,14 \end{aligned}$$

- в іменованих одиницях (3.3):

$$\omega_{\epsilon} = (-0,14) \cdot 0,0015 + 0,01625 = 0,01604 \text{ рік}^{-1}$$

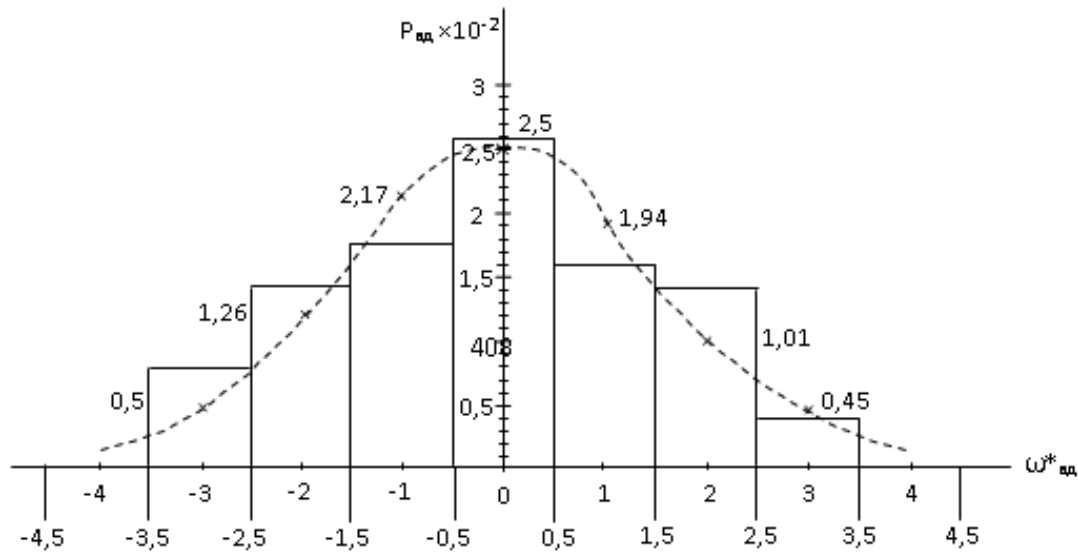


Рисунок 3.2 – Гістограма розподілу статистичних даних спостережень

Дисперсія складає, відповідно до (3.4) та (3.5):

$$\begin{aligned} S_{\omega}^* = & [-3 - (-0,14)]^2 \cdot 0,08 + [-2 - (-0,14)]^2 \cdot 0,14 + \\ & + [-1 - (-0,14)]^2 \cdot 0,18 + [0 - (-0,14)]^2 \cdot 0,26 + [1 - (-0,14)]^2 \cdot 0,16 + \\ & + [2 - (-0,14)]^2 \cdot 0,14 + [3 - (-0,14)]^2 \cdot 0,04 = 2,518 \\ S_{\omega} = & 2,518 \cdot 0,0015^2 = 5,6 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Практичне заняття №6. Розрахунок одиничних та комплексних показників надійності елементів

Мета заняття: навчитися визначати одиничні та комплексні показники надійності СЕП

Програма заняття

- 6.1. Теоретичні відомості.
- 6.2. Приклади розв'язування задач
- 6.3. Завдання для самостійного виконання.

6.1. Теоретичні відомості

Показниками надійності називають кількісні характеристики однієї чи кількох властивостей системи електропостачання, що становлять її надійність.

Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ – ймовірність того, що у заданому інтервалі часу в системі чи елементі не станеться відмова.

Статистична оцінка $P(t)$:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad 6.1$$

де N_0 – початкова кількість елементів для випробування або експлуатованих;

$n(t)$ – кількість елементів, котрі відмовили протягом часу t .

Ймовірність відмови $Q(t)$ – ймовірність того, що у заданому інтервалі часу відбудеться хоча б одна відмова.

Статистична оцінка $Q(t)$:

$$Q^*(t) = \frac{n(t)}{N_0}. \quad 6.2$$

Безвідмовна робота та відмова – несумісні та протилежні події, тому завжди має місце співвідношення:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad 6.3$$

Частота відмов $a(t)$ – похідна від ймовірності відмови, яка визначає ймовірність того, що відмова елемента відбудеться за одиницю часу Δt .

Кількісний показник надійності $a(t)$ є диференціальною функцією розподілу ймовірності відмови, чисельно рівною середньому числу відмов в одиницю часу на один об'єкт з початкової кількості об'єктів $N_0(t=0)$:

$$a(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}. \quad 6.4$$

Для визначення величини $a(t)$ використовується наступна статистична оцінка:

$$|a^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad 6.5$$

де $n(\Delta t)$ – кількість елементів, що відмовили в інтервалі часу від t до $(t + \Delta t)$;
 N_0 – загальна кількість елементів, взятих для випробування або експлуатованих;
 Δt – інтервал часу.

Точність статистичної оцінки (6.5) зростає із збільшенням початкового числа досліджуваних елементів і зменшенням часового інтервалу Δt .

Частота відмов, ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність появи відмови пов'язані наступними залежностями:

$$P(t) = \int_t^{\infty} a(t)dt; \quad Q(t) = \int_0^t a(t)dt; \quad P(t) = 1 - \int_0^t a(t)dt. \quad 6.6$$

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ є ймовірністю відмови об'єкта в одиницю часу після даного моменту часу за умови, що відмова до цього моменту не виникла.

Інтенсивність відмов пов'язана з частотою відмов та ймовірністю безвідмовної роботи:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}, \quad 6.7$$

де $a(t)$ – Частота відмов елемента СЕП;

$P(t)$ – можливість безвідмовної роботи елемента СЕП.

Статистично інтенсивність відмов $\lambda(t)$ – відношення числа елементів СЕС, що відмовили, за деякий проміжок часу до працездатних елементів на початку цього проміжку:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N(t)\Delta t}, \quad 6.8$$

де $n(\Delta t)$ – кількість елементів, що відмовили в інтервалі Δt ;

$N(t)$ – кількість елементів, що справно працюють до початку проміжку часу;

Δt – інтервал часу.

Середній час безвідмовної роботи або середнє напрацювання до відмови T – математичне очікування напрацювання об'єкта до першої відмови.

Статистична оцінка середнього напрацювання повністю визначається з наступного виразу:

$$T^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad 6.9$$

де t_i – час безвідмовної роботи i елемента СЕП;

N_0 – загальна кількість елементів, взятих для випробування.

При $\lambda = \text{const}$ отримаємо:

$$T = \frac{1}{\lambda}. \quad 6.10$$

6.2. Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Побудувати криву інтенсивності відмов за даними табл. 1. На випробування поставлено $N_0 = 200$ елементів, випробування проводилися за $t = 100$ год.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунків

Проміжок часу Δt , год	К-ть елементів, що відмовили $n(t)$, шт	Проміжок часу Δt , год	К-ть елементів, що відмовили $n(t)$, шт
0–10	10	50–60	2
10–20	8	60–70	2
20–30	6	70–80	4
30–40	4	80–90	5
40–50	2	90–100	8

Розв'язування.

Інтенсивність відмов зі статистичної точки зору визначимо за формулою (6.8):

$$\lambda^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N(t)\Delta t}.$$

Для першого інтервалу (0–10) год число елементів, що відмовили $n(\Delta t_1) = 10$, число елементів, що справно працюють до початку проміжку часу, $N(0) = 200$, тоді

$$\lambda^*(10) = \frac{10}{200 \cdot 10} = 0,005$$

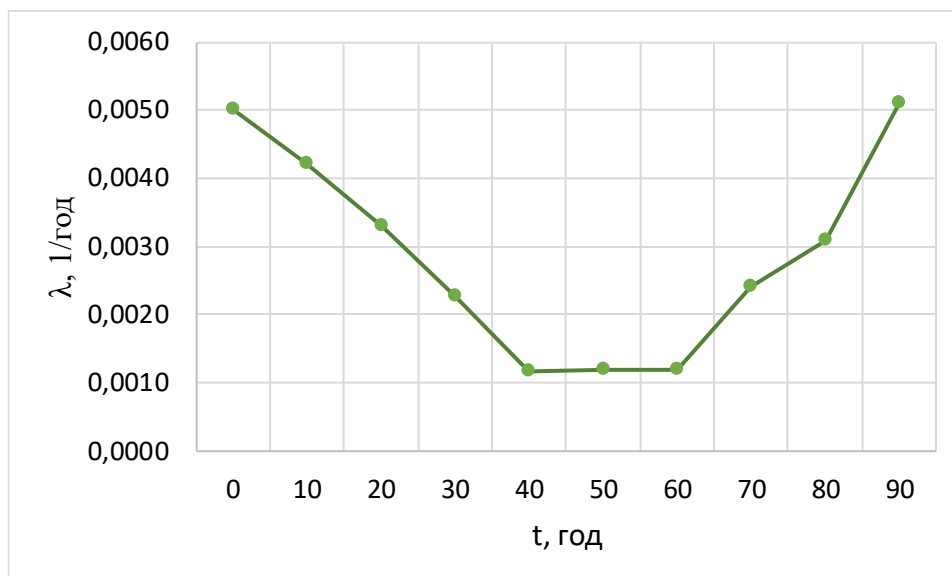
Для першого інтервалу (10–20) год число елементів, що відмовили $n(\Delta t_1) = 8$, число елементів, що справно працюють до початку проміжку часу, $N(0) = 200 - 10 = 190$, тоді

$$\lambda^*(20) = \frac{8}{190 \cdot 10} = 0,0042.$$

Результати інших розрахунків зводимо до таблиці 6.2.

$\Delta t, \text{год}$	$\Delta t, \text{год}$	$n(\Delta t), \text{шт}$	$N(t), \text{шт}$	$\lambda^*(t), \text{відкл/год}$
0–10	10	10	200	0,005
10–20	10	8	190	0,004211
20–30	10	6	182	0,003297
30–40	10	4	176	0,002273
40–50	10	2	172	0,001163
50–60	10	2	170	0,001176
60–70	10	2	168	0,00119
70–80	10	4	166	0,00241
80–90	10	5	162	0,003086
90–100	10	8	157	0,005096

Залежність $\lambda(t)$ представлена на рис. 6.1.

Рис. 6.1. Залежність $\lambda(t)$

Приклад 2. У процесі експлуатації електронної апаратури враховувалася кількість ламп, які виходять з ладу протягом кожної тисячі годин їх роботи. При цьому спостереження велося за 1000 однотипних ламп ($N_0=1000$). В результаті підрахунку ламп, які відмовили, отримані дані зведені в табл. 2. Визначити можливість безвідмовної роботи та можливість відмови ламп за 1000, 1500, 4000, 14000 год роботи.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані

Проміжок часу Δt , год	К-ть елементів, що відмовили $n(t)$, шт	Проміжок часу Δt , год	К-ть елементів, що відмовили $n(t)$, шт
0–1000	20	7000–8000	40
1000–2000	25	8000–9000	50
2000–3000	35	9000–10000	30
3000–4000	50	10000–11000	40
4000–5000	30	11000–12000	40
5000–6000	50	12000–13000	50
6000–7000	40	13000–14000	40

Розв'язування.

За формулою (6.1) ймовірність безвідмовної роботи ламп:

– за 1000 годин:

$$P^*(1000) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{1000 - 20}{1000} = 0.98$$

– за 1500 годин:

$$P^*(1500) = \frac{1000 - (20 + 25 / 2)}{1000} = 0.9675$$

– за 4000 годин:

$$P^*(4000) = \frac{1000 - (20 + 25 + 35 + 50)}{1000} = 0.87$$

Кількість елементів , що відмовили за 14000 год:

$$\begin{aligned} n(14000) &= 20 + 25 + 35 + 50 + 30 + 50 + 40 + 40 + 50 + 30 + 40 + 40 + 50 + 40 \\ &= 540 \text{ шт.} \end{aligned}$$

Ймовірність безвідмовної роботи ламп за 14000 год:

$$P^*(14000) = \frac{1000 - 540}{1000} = 0.46$$

За виразом 6.2 визначаємо ймовірність відмови ламп:

– за 1000 годин:

$$Q^*(1000) = \frac{20}{1000} = 0.02$$

– за 1500 годин:

$$Q^*(1500) = \frac{20 + 25 / 2}{1000} = 0.0325$$

– за 4000 годин:

$$Q^*(4000) = \frac{20 + 25 + 35 + 50}{1000} = 0.13$$

– за 14000 годин:

$$Q^*(14000) = \frac{540}{1000} = 0.54$$

3. Завдання

1. Визначити середній час безвідмовної роботи ламп за даними прикладу 2.
2. Визначити залежність частоти відмов від часу ламп, встановлених в електронному пристрої, за даними прикладу 2.
3. При експлуатації електричних розподільчих мереж району їх сумарний наробіток за рік склав 7610 год, сумарний час ремонту – 350 год та сумарний час технічного обслуговування – 800 год. Визначити коефіцієнти готовності, неготовності та технічного використання.

Практичне заняття №7. Надійність структур. Послідовне з'єднання елементів.

Мета заняття: навчитися визначати показники надійності СЕП із послідовним з'єднанням елементів.

Програма заняття:

7.1. Теоретичні відомості.

7.2. Приклади розв'язування задач

7.3. Завдання для самостійного виконання.

7.1. Теоретичні відомості

Послідовним з'єднанням називається така структура, відмова якої настає при виході з ладу хоча б одного елемента, тобто послідовна структура працездатна, якщо всі її елементи працездатні.

Частота відмов структури:

$$\omega_c = \sum_{i=1}^n \omega_i, \quad (7.1)$$

де ω_i – частота відмов i -го елемента структури, рік⁻¹.

Середній час безвідмовної роботи:

$$T_c = \frac{1}{\omega_c}. \quad (7.2)$$

Середній час відновлення є математичним очікуванням часу відновлення, зваженим за частотою відмов n послідовно з'єднаних елементів.

$$\tau_c = \frac{1}{\omega_c} \sum_{i=1}^n \omega_i \tau_i. \quad (7.3)$$

7.2. Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Визначити показники надійності системи, що складається з послідовно з'єднаних елементів (рис. 7.1).

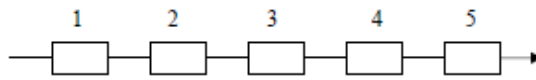


Рис. 7.1 – Система з послідовним з'єднанням елементів

Показники надійності елементів наступні:

$\omega_1 = 0,5$ 1/рік,	$\tau_1 = 16,0$ год.
$\omega_2 = 0,32$ 1/рік,	$\tau_2 = 8,0$ год.
$\omega_3 = 0,31$ 1/рік,	$\tau_3 = 6,0$ год.
$\omega_4 = 0,64$ 1/рік,	$\tau_4 = 12,0$ год.
$\omega_5 = 0,001$ 1/рік,	$\tau_5 = 15,0$ год.

Розв'язання:

Частота відмов:

$$\omega_c = \sum_{i=1}^5 \omega_i = 0,5 + 0,32 + 0,3 + 0,64 + 0,001 = 1,761 \text{ рік}^{-1}$$

Середній час відновлення, (годин):

$$\tau_c = \frac{1}{\omega_c} \sum_{i=1}^5 \omega_i \tau_i = \frac{1}{1,761} (0,5 \cdot 16 + 0,32 \cdot 8 + 0,3 \cdot 6 + 0,64 \cdot 12,5 + 0,001 \cdot 15) = 11,57 \text{ год}$$

Середній час безвідмовної роботи:

$$T_c = \frac{1}{\omega_c} = \frac{1}{1,761} = 0,568 \text{ років}$$

або

$$T_c = 0,568 \cdot 8760 = 4774 \text{ годин}$$

Ймовірність відмови системи за $t=1$ рік:

$$F_c = 1 - e^{-\omega_c t}. \quad (7.4)$$

$$F_c = 1 - e^{-1,761 \cdot 1} = 1 - 0,172 = 0,83$$

7.3. Завдання для самостійного виконання.

Виконати наступні задачі.

1. Визначити показники надійності системи з урахуванням надійності роз'єднувачів. Розрахункова схема мережі наведена на рис. 7.2.

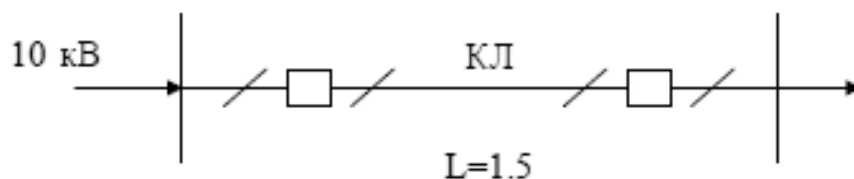


Рис. 7.2. – Розрахункова схема мережі до задачі 1

2. Визначити показники надійності системи без урахування надійності роз'єднувачів. Розрахункова схема мережі наведена на рис. 7.3.

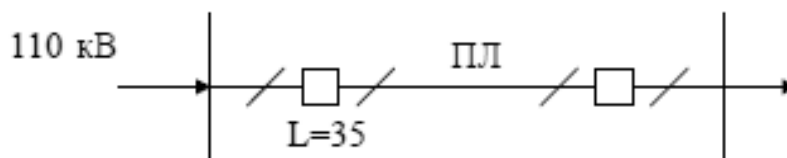


Рис. 7.3. – Розрахункова схема мережі до задачі 2

3. Визначити показники надійності системи з урахуванням надійності роз'єднувачів. Розрахункова схема мережі наведена на рис. 7.4.

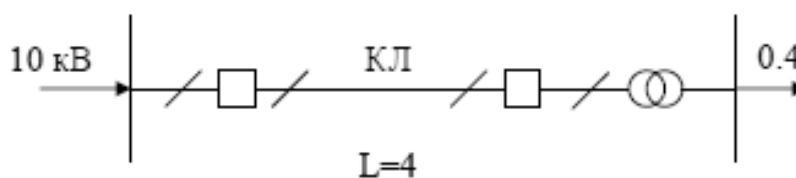


Рис. 7.4. – Розрахункова схема мережі до задачі 3

Практичне заняття №8. Надійність структур. Паралельне з'єднання елементів.

Мета заняття: навчитися визначати показники надійності СЕП із паралельним з'єднанням елементів.

Програма заняття:

- 8.1. Теоретичні відомості.
- 8.2. Приклади розв'язування задач
- 8.3. Завдання для самостійного виконання.

8.1. Теоретичні відомості

Паралельним з'єднанням називають структуру, відмова якої настає при відмові всіх елементів, що входять в структуру.

Паралельну структуру називають ще надлишковою або резервованою, оскільки вона містить елементів більше, ніж це необхідно для її нормального функціонування. При відмові одного або декількох елементів функцію структури виконують елементи, що залишилися в роботі.

В загальному випадку для структури, що складається з паралельно з'єднаних елементів.

Частота відмов

$$\omega_c = \prod_{j=1}^n \omega_j \tau_j \sum_{j=1}^m \frac{1}{\tau_j} \text{ 1/год,} \quad 8.1$$

або

$$\omega_c = 8760^{1-m} \prod_{j=1}^m \omega_j \tau_j \sum_{j=1}^m \frac{1}{\tau_j} \text{ 1/рік,} \quad 8.2$$

Середній час відновлення

$$\tau_c = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{\tau_j}}. \quad 8.3$$

Для системи з рівнонадійними елементами:

$$\omega_c = m\omega^m \tau^{m-1}, \quad 8.4$$

$$\tau_c = m^{-1} \tau. \quad 8.5$$

8.2. Приклади розв'язування задач

Визначити показники надійності системи, що складається з трьох паралельно з'єднаних елементів (рис 8.1).

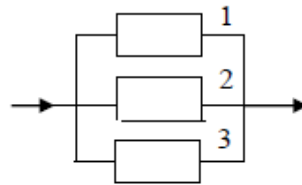


Рис. 1. Схема з 3 паралельно з'єднаних елементів

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 1.2 \text{ 1/рік}, & \tau_1 &= 16 \text{ год.}; \\ \omega_2 &= 2.7 \text{ 1/рік}, & \tau_2 &= 6 \text{ год.}; \\ \omega_3 &= 5.2 \text{ 1/рік}, & \tau_3 &= 24 \text{ год.} \end{aligned}$$

Розв'язання.

Частота відмов:

$$\omega_c = 8760^{1-3} \omega_1 \tau_1 \omega_2 \tau_2 \omega_3 \tau_3 \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_3} \right) = 1.37 \cdot 10^{-4} \text{ 1/рік.}$$

Середній час відновлення:

$$\tau_c = \frac{1}{\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_3}} = 3.69 \text{ год.}$$

Ймовірність відмови за рік:

$$F_c = 1 - e^{-0.0001371} = 0.000137.$$

8.3. Завдання для самостійного виконання.

1. Визначити показники надійності системи (рис.8.2) без урахуванням надійності шин.

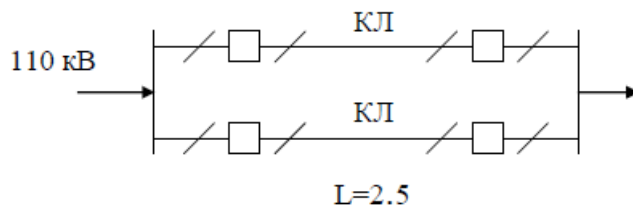


Рис. 8.2 – Розрахункова схема до задачі 1

2. Визначити показники надійності системи без урахування надійності шин та збірки.

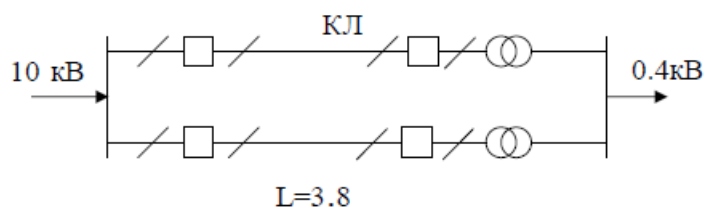


Рис. 8.3. Розрахункова схема до задачі 2

3. Визначити показники надійності системи без урахуванням надійності шин.

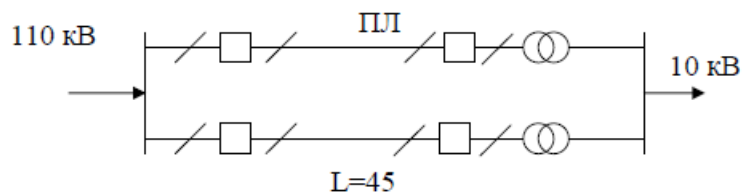


Рис. 8.4. Розрахункова схема до задачі 3

Практичне заняття № 9. Надійність структур. Змішане з'єднання елементів

Мета заняття: навчитися визначати показники надійності СЕП зі змішаним з'єднанням елементів.

Програма заняття:

- 9.1. Теоретичні відомості.
- 9.2. Приклади розв'язування задач
- 9.3. Завдання для самостійного виконання.

9.1 Теоретичні відомості

Перетворення та визначення показників надійності систем із змішаним з'єднанням елементів передбачає поетапне перетворення послідовно та паралельно з'єднаних елементів.

Вирази для визначення показників надійності при послідовному та паралельному з'єднанні елементів наведено в попередніх практичних заняттях (для послідовного з'єднання дивись ПЗ №7, а для паралельного – див. ПЗ № 8).

9.2 Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Визначити показники надійності системи (рис. 9.1).

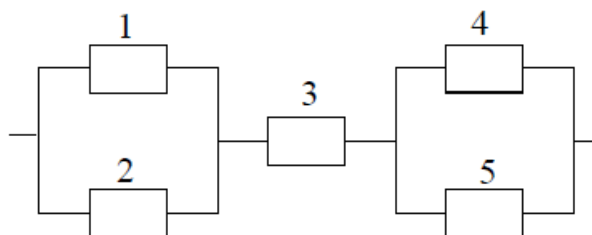


Рис. 9.1 – Система зі змішаним з'єднанням елементів

Показники надійності елементів наступні:

$$\lambda_1 = 0,11/\text{рік},$$

$$\lambda_2 = 0,51/\text{рік},$$

$$\lambda_3 = 0,6 \text{ 1/рік},$$

$$\lambda_4 = 0,2 \text{ 1/рік},$$

$$\lambda_5 = 0,21/\text{рік},$$

$$t_{B1} = 16 \text{ год.};$$

$$t_{B2} = 8 \text{ год.};$$

$$t_{B3} = 10 \text{ год.};$$

$$t_{B4} = 4 \text{ год.};$$

$$t_{B5} = 4 \text{ год.}$$

Розв'язання:

Розрахунок показників надійності виконують поетапними еквівалентними перетвореннями послідовно і паралельно з'єднаних елементів. Еквівалентний елемент 6, що представляє паралельне з'єднання елементів 1 і 2.

Інтенсивність відмов:

$$\lambda_6 = 8760^{-1} \cdot \lambda_1 \cdot t_{e1} \cdot \lambda_2 \cdot t_{e2} \left(\frac{1}{t_{e1}} + \frac{1}{t_{e2}} \right) = 8760^{-1} \cdot 0,05 \cdot 24 = 0,1368 \cdot 10^{-3} \text{ рік}^{-1}$$

Середній час відновлення, (годин):

$$\tau_c = \frac{1}{\frac{1}{t_{e1}} + \frac{1}{t_{e2}}} = \frac{t_{e1} \cdot t_{e2}}{t_{e1} + t_{e2}} = \frac{16 \cdot 8}{16 + 8} = 5,333 \text{ год}$$

Середній час безвідмовної роботи:

$$T_c = \frac{1}{\omega_c} = \frac{1}{1,761} = 0,568 \text{ років}$$

або

$$T_c = 0,568 \cdot 8760 = 4774 \text{ годин}$$

Ймовірність відмови системи за $t=1$ рік:

$$F_c = 1 - e^{-\omega t}.$$

$$F_c = 1 - e^{-1,761 \cdot 1} = 1 - 0,172 = 0,83$$

9.3 Завдання для самостійного виконання.

Виконати наступні задачі.

1. Визначити показники надійності системи з урахуванням надійності роз'єднувачів. Розрахункова схема мережі наведена на рис. 9.2.

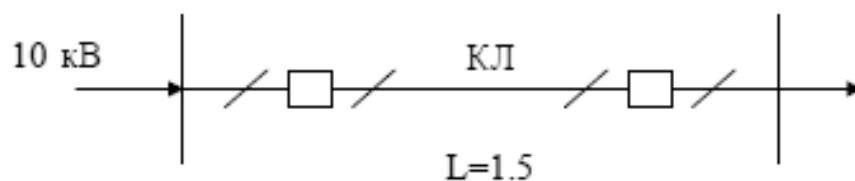


Рис. 9.2. – Розрахункова схема мережі до задачі 1

2. Визначити показники надійності системи без урахування надійності роз'єднувачів. Розрахункова схема мережі наведена на рис. 9.3.

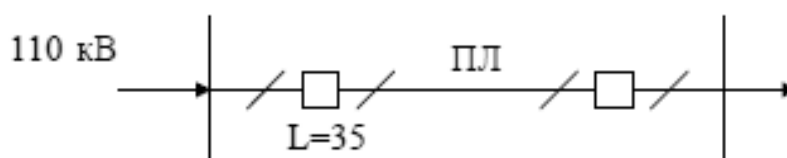


Рис. 9.3. – Розрахункова схема мережі до задачі 2

3. Визначити показники надійності системи з урахуванням надійності роз'єднувачів. Розрахункова схема мережі наведена на рис. 9.4.

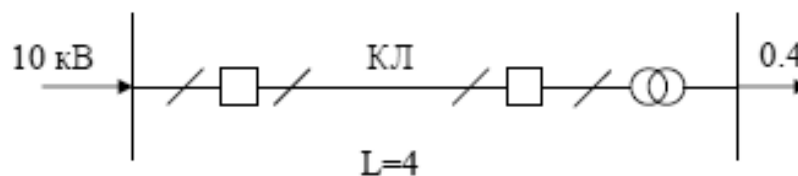


Рис. 9.4. – Розрахункова схема мережі до задачі 3

Практичне заняття № 10. Надійність структур. Складне з'єднання елементів

Мета заняття: навчити студентів визначати відмови елементів складних структур систем електропостачання

Програма заняття:

- 10.1. Теоретичні відомості.
- 10.2. Приклад виконання розрахунку.
- 10.3. Завдання для самостійного виконання.

10.1. Теоретичні відомості.

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 10, а. У таких структурах елементи з'єднані таким чином, що їх подальше спрощення неможливе (рисунок 10.1 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'єднування (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.

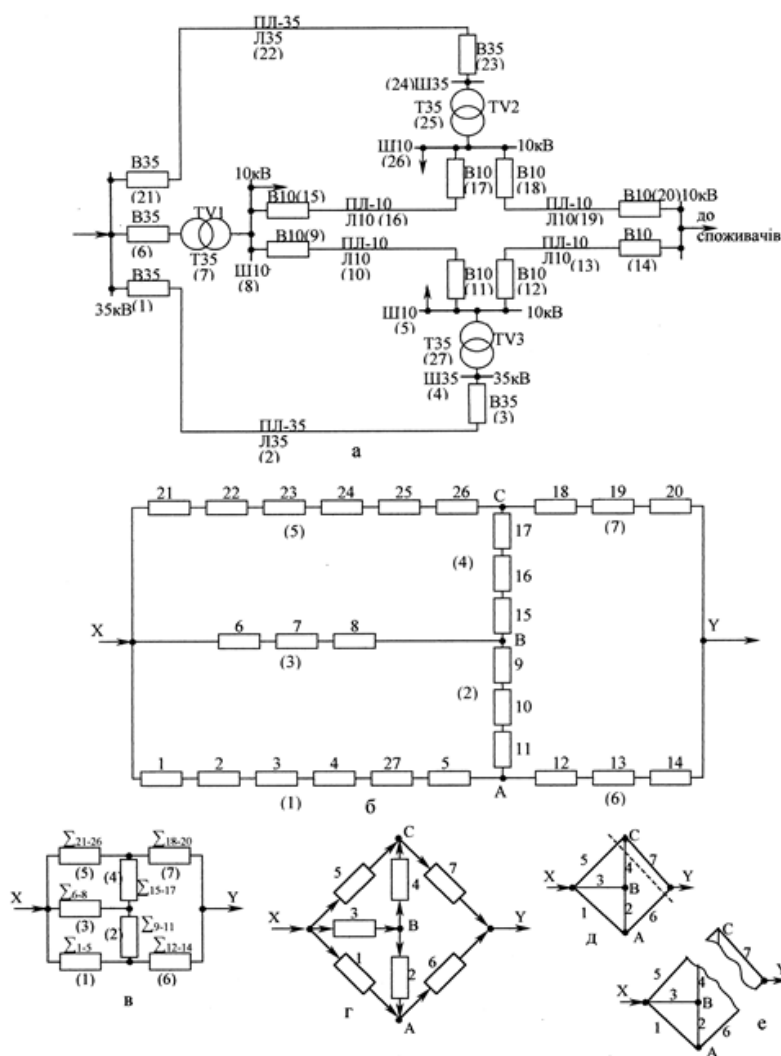


Рис. 10.1. – Приклад складного з'єднання елементів СЕП та її перетворення (еквівалентування): а – принципова схема; б, в – хід еквівалентування схеми а; г – е – визначення мінімальних перерізів

Графом називається схема, на якій позначена сукупність вузлів (**вершин** X, A, B, C, Y – рисунок 10.1, 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 10.1, а). Тобто, граф представляє собою топологічне відображення самої електричної схеми.

Застосування положень теорії графів в даному випадку полягає в наступному. Структуру представляють у вигляді замкнутого 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 10.1, 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 10.1, 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 10.1, є 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.

10.2. Приклад виконання розрахунку

Згідно наведеного вище порядку визначаємо мінімальні перерізи для графу, наведеного на рисунку 10.1, 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 10.1.

Таблиця 10.1 – Матриця зв'язків вершин графа з ребрами

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

2. До першого n -дерева відноситься вершина X . До неї безпосередньо приєднуються вершини A, B, C , які в свою чергу є послідовними n -деревми 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, 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 10.2.

3. Для кожного n_i -дерева визначаємо переріз. Тобто, згідно матриці „ребра-

вершини” (таблиця 10.1) 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 10.2. напроти відповідного n -дерева.

Таблиця 10.2 – Визначення мінімальних перерізів графа

n -дерево	Ребра	Переріз	Мінімальний переріз
X	$1\ 3\ 5$	$1\ 3\ 5$	$1\ 3\ 5$
XA	$1\ 3\ 5, 1\ 2\ 6$	$2\ 3\ 5\ 6$	$2\ 3\ 5\ 6$
XB	$1\ 3\ 5, 2\ 3\ 4$	$1\ 2\ 4\ 5$	$1\ 2\ 4\ 5$
XC	$1\ 3\ 5, 4\ 5\ 7$	$1\ 3\ 4\ 7$	$1\ 3\ 4\ 7$
XAB	$1\ 3\ 5, 1\ 2\ 6, 2\ 3\ 4$	$4\ 5\ 6$	$4\ 5\ 6$
XAC	$1\ 3\ 5, 1\ 2\ 6, 4\ 5\ 7$	$2\ 3\ 4\ 6\ 7$	-
XBC	$1\ 3\ 5, 2\ 3\ 4, 4\ 5\ 7$	$1\ 2\ 7$	$1\ 2\ 7$
$XABC$	$1\ 3\ 5, 1\ 2\ 6, 2\ 3\ 4, 4\ 5\ 7$	$6\ 7$	$6\ 7$

Ребра, які входять у сукупність n_i -дерева парне число разів, перекреслюються (таблиця 10.2, графа 2). Ребра, які залишилися, виписуються у графу 3 таблиці 10.2 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 10.2).

4. На схемі рисунку 10.2 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 10.2, 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 10.2, б.

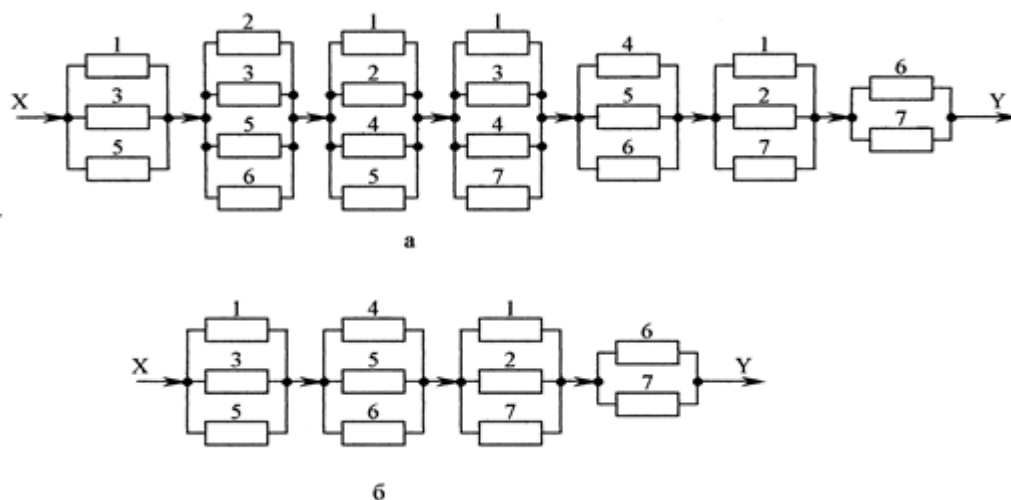


Рисунок 10.2 – Еквівалентна схема для розрахунку показників надійності системи електропостачання, яка наведена на рисунку 10.1, а: а – схема з повним набором мінімальних перерізів; б – спрощена схема

В деяких випадках доводиться розглядувати структури, в яких надані напрямки потоку енергії або іншого параметру електричної мережі. В цих випадках вибір мінімальних перерізів має свої особливості і для їх визначення роблять наступне.

При складанні матриць безпосередніх зв'язків ребер, які входять у вершину (вузол), позначаються знаком (-), а ребра, які виходять з вузлів (вершин) – знаком (+). Далі ребра, які входять у сукупність ребер - дерева парну кількість разів викреслюються, незалежно від знаку. Також викреслюються ребра, які входять у сукупність ребер - дерева із знаком (-).

Прикладом такої системи може бути структура, яка наведена на рисунку 10.3.

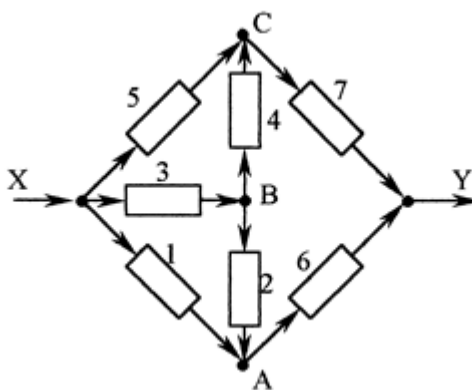


Рисунок 10.3 – Структура, в якій надані напрямки потоку енергії по ребрам графа

Використовуючи вище означене правило, отримаємо наступну матрицю зв'язків вершин графа з ребрами (таблиця 10.3).

Таблиця 10.3 – Матриця зв'язків вершин графа з орієнтованими ребрами

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

Порядок визначення мінімальних перерізів наведено в таблиці 10.4.

Таблиця 10.4 – Визначення мінімальних перерізів графа з орієнтованими ребрами

<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, -1 -2 6</i>	<i>3 5 6</i>	<i>3 5 6</i>
<i>XB</i>	<i>1 3 5, 2 -3 4</i>	<i>1 2 4 5</i>	- так як більше 3-х елементів
<i>XC</i>	<i>1 3 5, -4 -5 7</i>	<i>1 3 7</i>	<i>1 3 4</i>
<i>XAB</i>	<i>1 3 5, -1 -2 6, 2 -3 4</i>	<i>4 5 6</i>	<i>4 5 6</i>
<i>XAC</i>	<i>1 3 5, -1 -2 6, -4 -5 7</i>	<i>3 6 7</i>	- так як містить <i>XABC</i>
<i>XBC</i>	<i>1 3 5, 2 -3 4, -4 -5 7</i>	<i>1 2 7</i>	<i>1 2 7</i>
<i>XABC</i>	<i>1 3 5, -1 -2 6, 2 -3 4, -4 -5 7</i>	<i>6 7</i>	<i>6 7</i>

Загальний алгоритм розрахунку надійності складних структур полягає в наступному:

1. На підставі реальної принципової схеми системи електропостачання складається її структурна схема.
2. Визначаються вхід і вихід системи (їх може бути декілька).
3. Визначаються показники надійності кожного елементу схеми (дані підприємств, довідкові або експериментальні дані).
4. Виконується поетапне еквівалентування схеми об'єднанням послідовно і паралельно з'єднаних елементів.
5. Якщо при еквівалентуванні схеми отримано граф, то далі визначається сукупність мінімальних перерізів.
6. Визначаються показники надійності мінімальних перерізів та показники усієї схеми взагалі.

Після визначення мінімальних перерізів розрахунок показників надійності елементів буде наступний.

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

$$\omega^{(m)} = \left(\omega^0 + \sum_{i=1}^m \omega_i \right) \cdot 8760^{1-m} \quad (10.1)$$

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

$$\omega_{ij} = \omega_{ij}^0 + \omega'_{ij} + \omega''_{ij} \quad (10.2)$$

Кожен з складників розраховується:

$$\omega_{ij}^0 = \omega_i \cdot \omega_j \cdot (\tau_i + \tau_j) \cdot 8760^{-1} \quad (10.3)$$

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

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

$$\omega'_{ij} = \nu_i \cdot \eta_i \cdot \omega_j \cdot 8760^{-1} \quad (10.4)$$

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

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

$$\tau^{(m)} = \left(\omega^{(m)} \right)^{-1} \left(\omega^0 \cdot \tau^0 + \sum_{r=1}^m \omega_r \tau_r \right) \quad (10.5)$$

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

$$\tau_{ij} = \frac{\omega_{ij}^0 \cdot \tau_{ij}^0 + \omega'_{ij} \cdot \tau'_{ij} + \omega''_{ij} \cdot \tau''_{ij}}{\omega_{ij}} \quad (10.6)$$

$$\tau_{ij}^0 = \frac{\tau_i \cdot \tau_j}{\tau_i + \tau_j} \quad (10.7)$$

$$\tau'_{ij} = \frac{\tau_i \cdot \eta_j}{\tau_i + \eta_j} \quad (10.8)$$

$$\tau''_{ij} = \frac{\tau_j \cdot \eta_i}{\tau_j + \eta_i} \quad (10.9)$$

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.

Розрахунок схеми заміщення трьох паралельно з'єднаних елементів.

Якщо система складається з трьох паралельно з'єднаних елементів то частота відмов складається з 4 складників:

$$\omega_X = \omega_X^0 + \omega'_X + \omega''_X + \omega'''_X \quad (10.10)$$

Кожен з складників розраховується:

$$\omega_X^0 = \omega_i \tau_i \cdot \omega_j \tau_j \cdot \omega_k \tau_k \left(\frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_j} + \frac{1}{\tau_k} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (10.11)$$

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

$$\omega'_X = v_i \eta_i \cdot \omega_j \tau_j \cdot \omega_k \tau_k \left(\frac{1}{\tau_j} + \frac{1}{\tau_k} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (10.12)$$

де $v_i \eta_i$ - відповідно частота навмисних відключень та середній час обслуговування першого елементу.

$$\omega''_X = v_j \eta_j \cdot \omega_i \tau_i \cdot \omega_k \tau_k \left(\frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_k} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (10.13)$$

де $v_j \eta_j$ - відповідно частота навмисних відключень та середній час

обслуговування другого елементу.

$$\omega_x''' = v_k \eta_k \cdot \omega_i \tau_i \cdot \omega_j \tau_j \left(\frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_j} \right) \cdot 8760^{-2} \quad (10.14)$$

де $v_k \eta_k$ - відповідно частота навмисних відключень та середній час обслуговування третього елементу.

Середній час відновлення для трьох паралельно з'єднаних елементів:

$$\tau_X = \frac{\omega_x^0 \cdot \tau_x^0 + \omega_X' \cdot \tau_X' + \omega_X'' \cdot \tau_X'' + \omega_X''' \cdot \tau_X'''}{\omega_X} \quad (10.15)$$

$$\tau_X^0 = \left(\frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_j} + \frac{1}{\tau_k} \right)^{-1} \quad (10.16)$$

$$\tau_X^I = \left(\frac{1}{\eta_i} + \frac{1}{\tau_j} + \frac{1}{\tau_k} \right)^{-1} \quad (10.17)$$

$$\tau_X^{II} = \left(\frac{1}{\eta_j} + \frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_k} \right)^{-1} \quad (10.18)$$

$$\tau_X^{III} = \left(\frac{1}{\eta_k} + \frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_j} \right)^{-1} \quad (10.19)$$

Для елементів, що одразу служать для двох паралельних елементів частоту навмисних включень та частоту обслуговування не можна прийняти рівними нулю. Тому ці показники беруться такими, що дорівнюють показникам таких елементів.

10.3 Завдання для самостійного виконання

Розрахувати показники надійності системи (рис. 10.1) за формулами, наведеними в прикладі виконання (пункт 10.2).

Практичне заняття № 11. Техніко-економічне обґрунтування рівня надійності СЕП

Мета заняття: *Навчити студентів визначати основні техніко-економічні показники при обґрунтуванні рівня надійності систем електропостачання.*

Програма заняття:

- 11.1. Теоретичні відомості.
- 11.2. Приклад виконання розрахунку.
- 11.3. Завдання для самостійного виконання.

11.1. Теоретичні відомості.

Надійність є категорією економічною, і тому тільки за допомогою економічних методів можна гарантувати оптимальний рівень надійності електропостачання.

До відомих методів оцінювання варіантів СЕП з урахуванням надійності відносяться:

- порівняння кількісних показників надійності окремих елементів СЕП;
- відносне значення недодавання електроенергії споживачам в результаті відмов СЕП (або по коефіцієнту забезпеченості електроенергією споживачів);
- величина збитків, нанесених при виникненні відмов в електропостачанні;
- еквівалентна тривалість відключень як аварійних, так і навмисних.

Крім того, при розрахунках СЕП та порівнянні варіантів враховують приведені витрати на забезпечення необхідного рівня надійності.

Оцінювання надійності окремих елементів СЕП. Порівняння і вибір найкращого із варіантів окремого елементу системи електропостачання здійснюється по кількісним показникам надійності, які розглянуті в ПЗ №10, а також на підставі статистичних розрахунків. Умовами раціонального вибору того чи іншого елементу структури СЕП є:

- по частоті відмов ω :

$$\omega_g \rightarrow \min \quad (11.1)$$

- по середньому часу відновлення τ :

$$\tau_g \rightarrow \min \quad (11.2)$$

- по частоті навмисних відключень ν :

$$\nu_g \rightarrow \min \quad (11.3)$$

- по середньому часу обслуговування η :

$$\eta_{\epsilon} \rightarrow \min \quad (11.4)$$

- по середньому часу безвідмовної роботи T_{δ} :

$$T_{\delta\epsilon} \rightarrow \min \quad (11.5)$$

де $\omega_{\epsilon}, \tau_{\epsilon}, \nu_{\epsilon}, \eta_{\epsilon}, T_{\delta\epsilon}$ - відповідні показники надійності для вибраного елемента структури СЕП;

$$\omega_i - \omega_k, \tau_i - \tau_k,$$

$\nu_i - \nu_k, \eta_i - \eta_k, T_{\delta i} - T_{\delta k}$ - ті ж самі показники надійності, але для і-го, j-го, k-го елементів, з якими здійснюється порівняння.

При однакових значеннях показників надійності вибір здійснюється на підставі порівняння приведених витрат по прийнятим до розгляду варіантам.

Порівняння варіантів рішень по еквівалентній тривалості аварійних і навмисних відключень. Вибір найкращого варіанту схеми електропостачання може виконуватися на порівняння розрахованого показника надійності з нормативним. За цей показник у сільських мережах прийнята *еквівалентна тривалість відключень* $\theta_{ев}$, який розраховується за формулою:

$$\theta_{ев} = \theta_{ав} + k_{\epsilon} \theta_{нв}, \quad (11.6)$$

де $\theta_{ев}, \theta_{ав}, \theta_{нв}$ - тривалість аварійних та навмисних відключень за рік, год/рік;

k_{ϵ} - коефіцієнт, який ураховує негативну післядію навмисних відключень у порівнянні з аварійними; $k_{\epsilon} = 0,33$.

Розрахункова еквівалентна тривалість відключень $\theta_{евр}$ споживачів, в загальному випадку, визначається за виразом:

$$\theta_{евр} = \theta_{ЖМ} + \theta_{РТП} + \theta_{РМ} + \theta_{ТП} + \theta_{НМ}, \quad (11.7)$$

де $\theta_{ЖМ}, \theta_{РТП}, \theta_{РМ}, \theta_{ТП}, \theta_{НМ}$ - відповідно, еквівалентна тривалість відключення (перерви) у живлячій мережі 35 – 110 кВ, районній підстанції 35 – 110/10 – 6 кВ, розподільчій мережі, включно з відгалуженнями, на споживчих підстанціях 10/0,4 кВ, низьковольтної мережі, включно з відгалуженнями, год/рік.

Необхідний ступінь надійності буде забезпечений при виконанні умови:

$$\theta_{евр} \leq \theta_n, \quad (11.7)$$

де θ_n - нормоване значення еквівалентної тривалості відключень, год/рік.

При невиконанні умови (11.7) необхідно прийняти заходи по підвищенню надійності розробляємої системи електропостачання.

11.2. Приклад виконання розрахунків

Приклад 11.1. Для прийнятої схеми первинної комутації підстанції 35/10 кВ (рисунок 5.25) розрахувати приведені витрати, показники надійності, очікуване недодавання електроенергії та величину збитку від перерв в електропостачанні. Вихідні дані: сумарна розрахункова потужність РТП_{02-35/10 кВ} $S_n = 2840,6 \text{ кВА}$; паспортні дані силового трансформатору наведені у таблиці 5.34; збиток від недодавання електроенергії при аварійних відмовах складає $y_a = 1,35 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$, при навмисних відключеннях - $y_n = 0,45 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$; амортизаційні відрахування прийняти рівними $k_a = 6,3\%$; експлуатаційні витрати $k_e = 3,0\%$. Капітальні витрати на підстанцію складають $K_{пт} = 157,3 \text{ тис. грн.}$; вартість однієї кВт·год змінних втрат електроенергії дорівнює $C_1 = 0,019 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$, постійних - $C_2 = 0,01 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$; число годин максимальних втрат $T_{\max} = 3200 \text{ год}$; кількість годин роботи трансформатору $T_r = 8760 \text{ год}$.

Рішення.

1. Визначаємо щорічні відрахування на амортизацію та експлуатацію енергообладнання підстанції:

$$I_{артп} + I_{ертп} = K_{птп} (E_n + p_a + p_e) = 157,3(0,125 + 0,063 + 0,03) = 34,3 \text{ тис.грн.}$$

2. Щорічні витрати на покриття втрат електроенергії в трансформаторі визначаємо:

- змінні:

$$\begin{aligned} I_{\Delta W_3} &= c_3 \times \Delta W_{вз} = c_3 \times \Delta P_{\kappa} \left(\frac{S_n}{S_{yn}} \right)^2 \times \tau_{\max} = \\ &= 0,019 \times 26,0 \left(\frac{2840,6}{2500} \right)^2 \times 3200 = 2,04 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

- постійні:

$$I_{\Delta W_n} = c_n \times \Delta W_{вп} = c_n \times P_x \times T_m = 0,011 \times 5,1 \times 8760 = 0,49 \text{ тис.грн.}$$

- сумарні:

$$I_{\Delta W_{\Sigma}} = I_{\Delta W_3} + I_{\Delta W_n} = 2,04 + 0,49 = 2,53 \text{ тис.грн.}$$

11.3. Завдання для самостійного виконання.

Провести техніко-економічні показники для схеми, наведеної в ПЗ №10 (рис.10.1).

Практичне заняття № 12. Визначення очікуваного недодання електроенергії споживачам від відключення елементів проекрованої РТП.

Мета заняття: *Навчити студентів визначати відмови елементів структури системи електропостачання*

Програма заняття:

- 12.1. Теоретичні відомості.
- 12.2. Приклад виконання розрахунку.
- 12.3. Завдання для самостійного виконання.

12.1. Теоретичні відомості.

Оцінювання СЕП по коефіцієнту забезпеченості споживачів електроенергією.

Відмова в електропостачанні хоча б одного споживача, який приєднаний до СЕП, призводить до невиконання системою головної задачі – постачання споживачів електроенергією в необхідній кількості. В цьому випадку виникає зниження вихідного ефекту системи, який розраховується по кількості електроенергії, що недодає споживачам в результаті відмови СЕП. Кількість недоданої енергії ΔW визначається за формулою:

$$\Delta W = W_{cn} - W_{вк}, \quad (12.1)$$

де W_{cn} - необхідна кількість електроенергії для забезпечення споживачів, кВт·год;

$W_{вк}$ - дійсна кількість електроенергії, яка відпущена споживачу, кВт·год.

Для порівняння між собою систем електропостачання, що різняться по об'єму і кількості відпущеної енергії, використовується такий показник, як **відносна величина недодання електроенергії $\rho_{\Delta W}$** (або коефіцієнт незабезпеченості електроенергією):

$$\rho_{\Delta W} = \frac{\Delta W}{W_{cn}} \quad (12.2)$$

Для цієї ж мети може використовуватися **коефіцієнт забезпеченості електроенергією $k_{зW}$** , який визначається за формулою:

$$k_{зW} = \frac{W_{вк}}{W_{cn}} = 1 - \frac{\Delta W}{W_{cn}} = 1 - \rho_{\Delta W} \quad (12.3)$$

Кількість недоданої електроенергії визначається як сума недоданої електроенергії усім споживачам, які приєднані до даної СЕП:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i, \quad (12.4)$$

де ΔW_i - кількість недоданої електроенергії і-му споживачу, кВт·год.

Очікувана кількість недоданої електроенергії і-му споживачу визначається за виразом:

$$\Delta W_i = \bar{P}_i \cdot \theta_{evi}, \quad (12.5)$$

де $\bar{P}_i$ - середня потужність і-го споживача, кВт;

θ_{evi} - еквівалентна тривалість відключення і-го споживача, год/рік.

Еквівалентна тривалість відключення (або простою) і-го споживача визначається за таким виразом:

$$\theta_{evi} = \omega_i \cdot \tau_i + k_g \cdot \nu_i \cdot \eta_i, \quad (12.6)$$

де $\omega_i, \tau_i, \nu_i, \eta_i$ - частота відмов, середній час відновлення, частота навмисних відключень, середній час обслуговування і-го елементу схеми, відповідно;

k_g - коефіцієнт, який урахує негативну післядію навмисних відключень у порівнянні з аварійними, $k_g = 0,33$.

Кількість електроенергії, яка була би відпущена споживачу при відсутності відмов, визначається як:

$$W_{cn} = \sum_{i=1}^n W_{cni} = \sum_{i=1}^n P_{pi} \cdot T_{maxi}, \quad (12.7)$$

де W_{cni} - необхідна кількість електроенергії для забезпечення і-го споживача, кВт·год;

P_{pi} - розрахункове навантаження і-го споживача, кВт;

T_{maxi} - число годин використання максимуму навантаження, год.

Взагалі оцінювання надійності СЕП по коефіцієнту забезпеченості електроенергією виконується в наступній послідовності:

- 1) визначається надійність і-х елементів або структур системи електропостачання за правилами, наведеними в попередніх практичних роботах;
- 2) розраховується значення очікуваного недодання електроенергії і-му споживачу ΔW_i , а також необхідна кількість електроенергії W_{cni} ;
- 3) визначаються величини сумарного недодання і необхідної кількості електроенергії для споживачів СЕП (ΔW , W_{cn});
- 4) визначається відносна величина недодання або коефіцієнт забезпеченості електроенергією для СЕП, які порівнюються;
- 5) вибирається найкращий варіант по умові:

$$\rho_{\Delta Wg} < \rho_{\Delta Wi}; k_{zWg} > k_{zWi}, \quad (12.8)$$

де $\rho_{\Delta Wg}, \rho_{\Delta Wi}$ - відносна величина недодання електроенергії вибраного і

порівнювального варіантів відповідно;

$k_{зW_6}, k_{зWi}$ - коефіцієнти забезпеченості електроенергією вибраного та порівнювального варіантів відповідно.

Або:

$$Z_{нв} = E_n K_6 + I_6 + Y_n \cdot \Delta W_6 \rightarrow \min, \quad (12.9)$$

де $Z_{нв}$ - приведені витрати вибраного варіанту, грн;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності;

K_6 - капіталовкладення у вибраний варіант, грн;

I_6 - щорічні витрати виробництва, грн;

Y_n - питомі нормативні витрати на надійність;

ΔW_6 - недодання електроенергії вибраного варіанту, кВт·год.

12.2. Приклад виконання розрахунків

Приклад 12.1 Визначити приведені витрати на забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання

6) Приведені витрати будуть складати:

$$Z_n = I_{артн} + I_{ертн} + I_{\Delta W \Sigma} + Y_{\Sigma} \quad (12.10)$$

$$Z_n = 34,3 + 2,53 + 3,19 = 40,02 \text{ тис.грн}$$

7. Середній час безвідмовної роботи T_c визначаємо за виразом:

$$T_c = \omega_{111}^{-1}; T_c = \frac{1}{0,087} = 11,5 \text{ років}$$

8. Імовірність відмови РТП₀₂ $F_c(t)$ на протязі року буде складати:

$$F_c(t) = 1 - \exp(-\omega_{111}) \quad (12.11)$$

$$F_c(t) = 1 - \exp(-0,087) = 0,083$$

12.3. Завдання для самостійного виконання

Провести оцінювання СЕП, що наведена в ПЗ №10 (рис. 10.1) по коефіцієнту забезпеченості споживачів електроенергією.

Практичне заняття № 13. Визначення надійності СЕП по величині збитку від відмов в електропостачанні

Мета заняття: *Навчити студентів визначати збитки від відмови елементів структури системи електропостачання*

Програма заняття:

- 13.1. Теоретичні відомості.
- 13.2. Приклад виконання розрахунку.
- 13.3. Завдання для самостійного виконання.

13.1. Теоретичні відомості.

Оцінювання надійності СЕП по величині збитку від відмов в електропостачанні. При порівнянні варіантів післядії від порушення електропостачання використовують щорічні витрати, які пов'язані зі збитками в результаті відмови системи електропостачання Y . Величину цих збитків є однією із складових приведених витрат Z_{ni} :

$$Z_{ni} = E_n K_i + I_i + Y_i, \quad (13.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

K_i - капітальні вкладення по i -му варіанту, грн;

I_i - щорічні витрати виробництва i -го варіанту, грн;

Y_i - збитки виробництва продукції, пов'язані з відмовою системи електропостачання i -го варіанту, грн.

Загальні капітальні вкладення K_Σ для варіантів СЕП розраховуються за формулою:

$$K_\Sigma = \sum_{i=1}^n K_{li} + \sum_{i=1}^n K_{TPI} + \sum_{i=1}^n K_{cpi} + \sum_{i=1}^n K_{chi} + \sum_{i=1}^n K_{di}, \quad (13.2)$$

де K_{li} - капіталовкладення на будівництво лінії i -того класу напруги, грн;

K_{TPI} - капіталовкладення на будівництво i -го виду підстанцій (живлячих РТП-110/35/10 кВ, споживчих ТП-6 – 10/0,4 кВ), грн;

K_{cpi} - капіталовкладення на побудову чарунок секціонування і резервування, грн;

K_{chi} - капіталовкладення на будівництво чарунок розподільчих пристроїв i -го виду, грн;

K_{di} - додаткові капіталовкладення на непередбачені заміну, модернізацію або реконструкцію окремих елементів чи частини структури СЕП, грн.

Загальні щорічні витрати по варіантам I_Σ визначаються за виразом:

$$I_\Sigma = I_{ai} + I_{eki} + I_{\Delta Wi}, \quad (13.3)$$

де I_{ai} , I_{eki} , $I_{\Delta Wi}$ - амортизаційні витрати, витрати на експлуатацію, витрати

на покриття втрат електроенергії в і-му варіанті, відповідно, грн.

Складові загальних капіталовкладень та щорічних витрат можна визначити за формулами, які наведені [3.2, 3.4] та інших джерелах.

13.2. Приклад виконання розрахунку.

Приклад 10.1 Визначити очікуване недодавання електроенергії ΔW споживачам від відключення елементів проектованої РТП:

Рішення:

- від аварійних відключень:

$$\Delta W_{ав} = \bar{P} \cdot \theta_{ертнаав} = \bar{S} \cdot \cos \varphi \frac{T_{max}}{T_m} \cdot \theta_{ертнаав} = \bar{S} \cdot \cos \varphi \frac{T_{max}}{T_m} \cdot \omega_{111} \cdot \tau_{111} \quad (13.3)$$

$$\Delta W_{ав} = 2840,6 \cdot 0,89 \frac{3200}{8760} \cdot 0,947 = 874,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

- від навмисних відключень:

$$\Delta W_{нев} = \bar{P} \cdot \theta_{ертннев} = \bar{S} \cdot \cos \varphi \frac{T_{max}}{T_m} \cdot \nu_{111} \cdot \eta_{111} \quad (13.4)$$

$$\Delta W_{нев} = 2840,6 \cdot 0,89 \frac{3200}{8760} \cdot 4,84 = 4469,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

- сумарне значення:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{ав} + \Delta W_{нев} \quad (13.5)$$

$$\Delta W_{\Sigma} = 874,6 + 4469,8 = 5344,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

13.3 Завдання для самостійного виконання

Провести визначення надійності СЕП, що наведена в ПЗ №10 (рис. 10.1) по величині збитку від відмов в електропостачанні.

Практичне заняття № 14. Оцінювання надійності систем електропостачання по величині збитку від перерв в електропостачанні

Мета заняття: *Навчити студентів визначати збитки від перерв елементів структури системи електропостачання*

Програма заняття:

- 14.1. Теоретичні відомості.
- 14.2. Приклад виконання розрахунку.
- 14.3. Завдання для самостійного виконання.

14.1 Теоретичні положення

Сумарний збиток Y_{Σ} від перерв електропостачання в загальному вигляді визначають за виразом:

$$Y_{\Sigma} = Y_{осн.i} + Y_{дод.i} + Y_{сист.i}; \quad (14.1)$$

де $Y_{осн.i}$ - основні збитки, які викликані недовикористанням основних фондів підприємства (простої обладнання та робочої сили), а також зниженням продуктивності сільськогосподарських тварин і-го варіанту, грн;

$Y_{дод.i}$ - додаткові збитки, які обумовлені зіпсуванням сировини, безповоротною втратою готової продукції, а також загибеллю тварин або зниженням їхньої продуктивності в майбутньому і-го варіанту, грн;

$Y_{сист.i}$ - системні збитки, які обумовлені недовикористанням обладнання та персоналу електричних підстанцій та мереж у системі для і-го варіанту, грн.

14.2. Приклад виконання розрахунку.

Приклад 14.1 Визначити збиток від перерв в електропостачанні. Вихідні данні взяти у попередньому прикладі.

Рішення:

Збиток від недодавання електроенергії споживачам:

- від аварійних відключень:

$$Y_{ав} = y_a \Delta W_{ав} \quad (14.2)$$

$$Y_{ав} = 1,35 \cdot 874,6 = 1180,7 \text{ грн / рік}$$

- від навмисних відключень:

$$Y_{nv} = y_n \Delta W_{nv} \quad (14.3)$$

$$Y_{av} = 0,45 \cdot 4469,8 = 2011,4 \text{ грн / рік}$$

- сумарний:

$$Y_{\Sigma} = Y_{av} + Y_{nv} \quad (14.4)$$

$$Y_{\Sigma} = 1180,7 + 2011,4 = 3192,1 \text{ грн / рік}$$

14.3. Завдання для самостійного виконання.

Провести оцінювання надійності систем електропостачання по величині збитку від перерв в електропостачанні для схеми, що наведена в ПЗ №10 (рис. 10.1).

Практичне заняття № 15. Вибір найкращих форм організації технічного обслуговування

Мета заняття: *Надати студентам відомості про шляхи і засоби забезпечення надійності систем електропостачання*

Програма заняття:

- 15.1. Раціональна організація експлуатації
- 15.2. Визначення оптимальної кількості та тривалості планових відключень.
- 15.3. Завдання для самостійного виконання.

15.1 Раціональна організація експлуатації

Раціональна організація експлуатації електроустановок – ефективний спосіб підвищення надійності систем електропостачання. Організація експлуатації включає рішення багатьох складних задач:

- організацію системи збирання та обробки інформації про показники надійності електропостачання елементів систем (річна кількість перерв, їхня тривалість та інше);
- визначення розмірів збитків від перерв у електропостачанні споживачів;
- суворе дотримання обслуговуючим персоналом „Правил технічної експлуатації”;
- вибір найкращих форм організації технічного обслуговування, поточного та капітального ремонтів, оперативного обслуговування;
- вибір оптимального варіанту розміщення обслуговуючого персоналу та машин при експлуатації мереж;

15.2 Визначення оптимальної кількості та тривалості планових відключень

Визначення оптимальної кількості та тривалості планових відключень θ_{nv} , що знижує кількість та тривалість аварійних відключень θ_{av} . Кореляційна залежність між цим показниками відображається таким емпіричним виразом:

$$\theta_{av} = 30400 / \theta_{nv} - 48,5 \quad (15.1)$$

Цей вираз справедливий при зміні θ_{nv} в межах від 9 до 500 годин;

- визначення оптимальної забезпеченості системи організації експлуатації

ремонтно-виробничими базами (РВБ).

Кореляційна залежність між питомими витратами на РВБ $z_{РВБ}$ та рівнем надійності мереж описується виразом:

$$z_{РВБ} = (E_n + p_a) K_{РВБ} / V, \quad (15.2)$$

де V - об'єм обслуговування мереж, ум. од;

- визначення оптимальної оздобленості підприємств електричних мереж машинами та механізмами, що виражається комплексним показником η :

$$\eta = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i k_{ei} \cdot k_i \cdot \theta_{evi}}{\sum_{i=1}^n P_i k_{ei} \cdot k_i \cdot (1 - \theta_{cn})}, \quad (15.3)$$

де P_i - встановлена потужність i -го споживача, кВт;

k_{ei} - коефіцієнт використання встановленої потужності i -го споживача;

k_i - категорія i -го споживача;

θ_{evi} - еквівалентна тривалість відключень i -го споживача, год;

θ_{cn} - тривалість простою споживача за рік із-за відключення обладнання, яке не належить даній мережі, год.

- якісна підготовка інженерно-технічних працівників (ІТП) та робочих;
- забезпеченості оперативно-виїзних бригад радіозв'язком та приборами пошуку пошкоджень та інше.

15.3 Завдання для самостійного виконання.

Провести визначення оптимальної кількості та тривалості планових відключень для схеми, що наведена в ПЗ №10 (рис. 10.1).

НАВЧАЛЬНІ РЕСУРСИ (ЛІТЕРАТУРА)

1. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.
2. Ермолаєв С. А., Яковлєв В.Ф., Козирський В.В., Куценко Ю.М., Мунтян В.О., Радько І.П. Проектування систем електропостачання в АПК (підручник) Міністерство аграрної політики України. – Київ.: ЦТІ «Енергетики та електрифікації», 2009.- 544с.
3. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
4. Яковлєв В. Ф., Савойський О. Ю. 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
5. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни «Проектування систем енергозабезпечення АПК» ОС «Магістр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» В.Ф. Яковлєв, О.В. Рясна, Суми, 2020 р. – 28 с
6. Рожков П.П. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність електричних мереж» для магістрів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітні програми «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Електротехнічні системи електроспоживання (освітньо-наукова)») / П.П. Рожков, С.Е. Рожкова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 85 с.
7. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни “Надійність електричних мереж” (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання спец. 7.090603 - “Електротехнічні системи електроспоживання”, спец. 8.090603 - “Електротехнічні системи електроспоживання”, спец. 7.050701 - “Електротехніка та електротехнології” та спец. 8.050701 - “Електротехніка та електротехнології”) Укл.: Рожков П.П., Рожкова С.Е – Харків: ХНАМГ, 2008. – 40 с.
8. Яковлєв В.Ф., Мунтян В.О., Куценко Ю.М., Кондратенко О.Г. Проектування систем електропостачання в АПК. Принципи побудови СЕП (навчальний посібник). Мелітополь: Видавництво: «Люкс», 2007.-178с.
9. Яковлєв В.Ф., Мунтян В.О., Куценко Ю.М., Коваль Д.М., Ільїн Д.В. Проектування систем електропостачання в АПК. Електрична частина підстанцій (навчальний Мелітополь: Видавництво «Люкс», 2007. 177 с.
10. Технологія наукових досліджень електроенергетичних систем в аграрному виробництві: Навчальний посібник / Г.Б. Іноземцев, В.В. Козирський. За ред. Г.Б. Іноземцеві. – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011– 198 с.

ДЛЯ НОТАТОК

[illegible]

Яковлєв Валерій Федорович

Савойський Олександр Юрійович

Вольвач Тетяна Сергіївна

Надійність систем електропостачання

Методичні вказівки до виконання практичних занять

для здобувачів вищої освіти 1м курсу спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
другого рівня вищої освіти
ступеня вищої освіти «Магістр»

Суми, Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кондратьєва 160.

Підписано до друку: _____ 2023 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж _____ примірників

Замовлення

Ум. друк. арк. 2,9
