

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Спеціальні розділи електроенергетики»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

за темою № 6 – Основи надійності електропостачання

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1.

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист
Волканін Є.Є.

Рецензенти:

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, к.т.н., професор Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Основні поняття теорії надійності в електроенергетиці.
2. Показники і критерії надійності.
3. Причини і характер ушкоджень основних елементів систем електропостачання.
4. Основи розрахунку надійності.
5. Визначення очікуваного збитку від перерв в електропостачанні.

Рекомендована література:

Основна література:

1. Шкрабець Ф. П. Основи електропостачання: Навч. посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2012.
2. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В. Енергозбереження: Навч.посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2005.
4. Перехідні процеси в системах електропостачання / Півняк Г.Г., Винославський В.Н., Рибалко А.Я., Несен Л.І. та ін. – Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000.
5. Васи́лега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 415 с.

Допоміжна література:

1. Сінчук О.М., Бойко С.М., Сінчук І.О., Ялова О.М. Спеціальні розділи енергетики. Нетрадиційна та відновлювана енергетика. Навчальний посібник – Кривий Ріг – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В. 2017, – 218 с.
2. Сінчук О.М., Бойко С.М., Сінчук І.О., Мельник О.Є. Нормативно-правова база енергетики Навчальний посібник – Кривий Ріг – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В. 2017, – 150 с.
3. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 204 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Сервер Верховної Ради України. – Режим доступу: www.rada.gov.ua.
2. Нормативні акти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.nau.kiev.ua.
3. Закон України "Про ринок електричної енергії" – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
4. Закон України "Про електроенергетику" – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: - <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>.

Текст лекції

1. Основні поняття теорії надійності в електроенергетиці.

Визначення надійності згідно стандарту ґрунтується на сприйнятті об'єкта як предмета цільового призначення, розглянутого в періоди проектування, виробництва, експлуатації, досліджень і іспитів на надійність, і дається через перерахування істотних ознак предмета:

“Властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, збереження і транспортування”.

Якщо ми маємо справу тільки з проектом даного об'єкта або не випробуваним ще першим екземпляром, то надійність виступає не як його властивість, а як ступінь впевненості в тім, що об'єкт визначеного нами класу виконає задані функції при визначених обставинах.

Якщо ми маємо справу із сукупністю об'єктів даного класу, то надійність визначається нами як явище, пов'язане з функціонуванням створених і проєктованих об'єктів, що полягає в невизначеності ступеня виконання заданих функцій. Останнє визначення поняття “надійність” через спосіб утворення предмета думки і попереднє визначення через найближчий рід і видову відмінність розкривають неоднозначність поняття “надійність об'єкта”, тому що під об'єктом мається на увазі і сам реально діючий об'єкт, і його проект (модель), і клас (сукупність) об'єктів визначеного виду.

Клас об'єктів може містити в собі один або кілька об'єктів, що володіють визначеними ознаками. Відповідно до теорії класифікації істотні (з погляду надійності) ознаки об'єкта є образом класу і підставою для його ідентифікації.

При прогнозуванні або розрахунку надійності об'єктів якогонебудь класу створюються математичні моделі, що відповідають визначеному образу або представленням дослідників про об'єкти цього класу. Помилкові представлення про об'єкти ведуть до перекручування образу класу і систематичних помилок розрахунку, зв'язаним не тільки з математичними моделями.

Оцінка надійності об'єктів визначеного класу за результатами іспитів і експлуатації представляється найбільш достовірною, хоча і не дуже точною, внаслідок обмеженості обсягу спостережень. Формальне об'єднання вибірок за критеріями однорідності для збільшення точності може привести до оцінки такого широкого класу, де будуть об'єднані об'єкти різного конструктивного виконання з різними умовами функціонування, не говорячи вже про розходження у функціональному призначенні.

Говорячи про надійність класу об'єктів, можна мати на увазі і надійність визначеної їхньої реальної групи (наприклад, повітряні вимикачі визначеної серії), і надійність групи об'єктів, реальних і проєктованих, з визначеною структурою (схемою з'єднань) і складом елементів, тобто

відповідаючих визначеному образу (наприклад, надійність спрощених підстанцій визначеного типу). Структура і взаємодія елементів об'єкта визначають його модель надійності, що після введення чисельних оцінок надійності елементів структури (системи) стає образом об'єкта.

У теорії надійності широко використовуються поняття елемента і системи. Об'єкт, надійність якого розглядається незалежно від надійності складових його частин, а тільки в залежності від його функціональної ролі і місця в системі або в установці, називають елементом. Сукупність взаємозалежних елементів або об'єктів, призначених для виконання визначеного кола задач, що має єдине керування функціонуванням і розвитком, називається системою. Система енергетики призначена для виробництва, перетворення, передачі і розподілу електричної енергії і називається електроенергетичною системою. Сукупність елементів або об'єктів електроенергетичної системи, що виконує визначену частину її функцій, називають електроенергетичною установкою (ЕЕУ). Установками є електростанції, підстанції, лінії електропередачі, електричні мережі і системи електропостачання районів, міст, підприємств і споживачів.

Устаткування електроенергетичних установок і систем є, з одного боку, елементом відповідної системи, а з іншого боку, виробом, тобто об'єктом, надійність якого розглядається незалежно від його ролі в системі, але відповідно до технічних умов на продукцію даного типу. Виробами є всі машини, апарати, їхні деталі й інше устаткування, що поставляється заводами-виготовлювачами.

Надійність об'єкта є комплексною властивістю і забезпечується його безвідмовністю, довговічністю, ремонтпригодністю і зберігаємостю. Надійність електроенергетичної системи визначається як її властивість здійснювати виробництво, перетворення, передачу і розподіл електроенергії з метою безперебійного електропостачання споживачів у заданій кількості при припустимих значеннях показників якості. Надійність електроенергетичної системи й установки забезпечується безвідмовністю і відновленістю її елементів, стійкістю, керованістю, живучістю і безпекою, як самої системи (установки), так і її елементів.

Визначення безвідмовності, довговічності, ремонтпригодності і зберігаємості у відповідності зі стандартами цілком застосовні до устаткування електроенергетичних установок. Для самих установок ці поняття енергетиками не застосовуються.

Відновленість – властивість елемента, системи або установки, що полягає в можливості відновлення працездатності у випадку відмовлення.

Стійкість – здатність системи переходити від одного стійкого режиму до іншого при різних збурюваннях. Властивість системи безупинно зберігати стійкість протягом деякого інтервалу називають стійковластивістю.

Керованість – властивість системи забезпечувати включення і відключення, а також зміна режиму роботи об'єктів і елементів відповідно до заданого алгоритму керування.

Живучість – властивість системи протистояти великим збурюванням режиму, не допускаючи їх ланцюжечного розвитку і масового відключення споживачів, не передбаченого алгоритмом роботи протиаварійної автоматики.

Безпека – властивість системи не створювати небезпеки для людей і навколишнього середовища у всіх можливих режимах і ситуаціях.

Властивості безвідмовності, ремонтпригодності, довговічності, зберігаємості, відновленості, стійкості, керованості, живучості і безпеки визначають надійність і окремі електроенергетичні установки енергосистеми, і самої енергосистеми в цілому.

Розглянемо основні поняття стосовно до надійності електроенергетичного устаткування й установок енергосистем.

Визначення необхідних функцій для устаткування або установки припускає точне встановлення програми дій. Устаткування й установки мають багато різних функцій, одні з яких повинні виконуватися постійно протягом визначеного періоду експлуатації, інші – епізодично, при якій-небудь зміні в режимі роботи або по команді персоналу, автоматики. Ці зміни і команди, що вимагають виконання деяких функцій, є для розглянутих установок заявками.

Постійними функціями електроенергетичного устаткування й установок є:

- підтримка нормального (без перегріву і корозії) стану контактів і струмоведучих частин;
- збереження ізоляції на припустимому рівні;
- видача або передача потужності;
- підтримка заданих параметрів режиму роботи та ін.

Заявками для електроенергетичного устаткування є:

- кожна зміна стану устаткування – для пристроїв захисту й автоматики;
- кожна команда персоналу або автоматики – для комутаційної апаратури;
- кожне включення або відключення – для виконавчих механізмів, двигунів, трансформаторів, генераторів.

Параметри, що характеризують здатність виконувати необхідні функції, задаються паспортними даними, інструкціями з експлуатації, а їхні поточні значення призначаються службою режимів, диспетчерами і черговим експлуатаційним персоналом.

Безвідмовна робота електроенергетичного устаткування в залежності від його призначення може знадобитися протягом проміжку часу між плановими ремонтами, протягом визначеного періоду року, у період проходження максимуму або мінімуму навантаження. Надійна робота комутаційної апаратури, захисних розрядників, пристроїв релейного захисту й автоматики потрібно в межах заданого наробітку, вимірюваного числом спрацьовувань або циклів. При стійкому числі заявок на спрацьовування в одиницю часу припустимо наробітку вимірювати тільки в одиницях часу.

Стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної або конструкторської документації, називається працездатним станом або працездатністю.

Порушення працездатного стану є відмовленням. Відмовлення електроенергетичних установок доцільно розділити на повні і часткові. При повній втраті працездатного стану (повному відмовленні) устаткування або установку треба виводити з роботи в ремонт. При частковій втраті працездатного стану (частковому відмовленні) устаткування або установка може виконувати частину заданих функцій який-небудь обмежений час.

Відмовленням у роботі (відмовленням функціонування) називають відмовлення в момент виконання заданої функції, а дефектом – відмовлення, виявлене при налагодженні, профілактичному огляді або плановому ремонті.

Відмовлення установки у виконанні заданих функцій настає в результаті відмовлень устаткування, суміжних установок і противоаварійної автоматики. При наявності в установці резервних елементів, можливості заміни устаткування, що відмовило, ремонту без припинення роботи – надійність установки буде визначатися не тільки частотою відмовлень, але і часом відновлення працездатного стану основних і резервних елементів. Відмовлення і відновлення – от ті випадкові події, що визначають надійність будь-якої електроенергетичної установки. Поява відмовлень, дії протиаварійної автоматики і відновлення працездатності являють собою деякий випадковий процес, у ході якого установки переходять з одного стану в інше з тим або іншим сполученням працюючих елементів; з часом установка може перейти в такий стан, при якому виконання нею робочих функцій частково або цілком припиняється. Відмовлення в роботі устаткування й установок в залежності від тривалості перерви в роботі і нанесеного енергосистемі збитку вважаються аваріями або відмовленнями першого або другого ступеня.

Ступінь порушення функціонування установок енергосистем при аваріях і відмовленнях у роботі називається глибиною аварії. На електричних станціях глибина аварій характеризується зниженням розташовуваної потужності і вироблення електроенергії; на підстанціях – числом відключених споживачів і недовідпусткою енергії; на лініях електропередачі – числом відключених кіл і зниженням пропускної здатності; в електричних мережах – обсягом погашення шин споживчих і районних підстанцій; у системах електропостачання – рівнем аварійних обмежень споживачів; в енергосистемах і об'єднаннях – дефіцитом потужності й енергії і зниженням частоти.

Глибина аварійних порушень залежить від тривалості і способу відновлення функціонування установок. У деяких установках, таких, як установки власних потреб атомних станцій, навіть короточасні зниження (посадки) напруги при КЗ приводять до порушення роботи механізмів. Відключення ушкодженої ділянки кола захистом не відновлює

працездатність механізму навіть при наявності джерел живлення, що працюють у режимі постійно включеного резерву. Для більшості установок такі зниження напруги не є відмовленнями установки, і глибина порушення оцінюється тільки для споживачів, що відключаються. Функціонування установок може відновлюватися за допомогою засобів релейного захисту і протиаварійної автоматики (АПВ, АВР); шляхом оперативних переключень, виконуваних черговим персоналом, диспетчером електричної мережі або енергосистеми; проведенням аварійно-відбудовних ремонтів.

Глибина аварійних порушень електропостачання споживачів залежить також від ступеня резервування устаткування й установок. На електростанціях є резерв генераторної потужності, який забезпечується резервом енергетичних ресурсів. Цей резерв міститься в тих, що обертаються, і в зупинених турбо- і гідроагрегатах, в гарячих і холодних котлоагрегатах, в активній зоні енергетичних ядерних реакторів, у спеціальних газотурбінних установках. На підстанціях і в електромережах є явний і схований резерв пропускної здатності, зумовлений недовантаженням робочих і резервних ліній і трансформаторів, а також можливістю аварійного перевантаження елементів, що залишилися в роботі після відключення ушкоджених.

Глибина аварійних порушень, їх частота і тривалість в енергосистемах визначаються в більшому ступені наявністю планових і позапланових відключень устаткування, що послабляють ступінь резервування установок. Планові відключення устаткування здійснюються відповідно до графіка поточних і капітальних ремонтів, що коректується в залежності від наявності або відсутності аварій у системі напередодні наміченого відключення. Позапланові відключення і зупинки устаткування з метою усунення замічених дефектів, небезпечних режимів, плавки ожеледі і так далі – за попередньою заявкою, яка подається диспетчерові системи, і за його дозволом.

Деяку частку аварійних порушень функціонування установок енергосистем складають відключення устаткування через помилки персоналу і помилкових спрацьовувань пристроїв захисту.

Стихійні явища природи: грози, повені, землетруси, зсуви, ожеледь, міграція птахів і тварин, шторми, урагани, а також пожежі, вибухи, падіння літаків та інші викликають відмовлення функціонування великого числа елементів ЕЕС одночасно з руйнуванням споруджень і устаткування. Катастрофічні наслідки таких явищ поки не досліджуються теорією надійності, хоча їхньою імовірністю не можна зневажати.

2. Показники і критерії надійності.

Мірою надійності об'єкта є всякий алгоритм висновку судження про наявність властивості надійності або про наявність впевненості у виконанні заданих функцій у минулому, сьогоденні і майбутньому часу. На безлічі об'єктів якого-небудь класу мірою надійності будуть алгоритми висновку

суджень про більш-менш високий рівень надійності одного об'єкта в порівнянні з іншим і визначення об'єкта з оптимальним рівнем надійності. Міра надійності містить у собі показники надійності і критерії (логічні або аналітичні вираження, пов'язані з алгоритмом висновку).

Як показники надійності використовуються наступні:

- час безвідмовної роботи T_i , і час відновлення τ_i , який вимірюється в годинах або роках (год або рік);

- середній час безвідмовної роботи T та середній час відновлення τ , год або рік;

- середнє значення параметра потоку відмовлень ω і середня інтенсивність відмовлень λ , які вимірюються в роках у мінус першій ступені (рік⁻¹);

- частота аварій і відмовлень визначеного, k -го, виду $\Lambda(k)$, рік⁻¹;

- ймовірність відмовлень $Q(t)$ та ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$

у заданий проміжок часу; $Q(t) + P(t) = 1$;

- умовна ймовірність відмовлень $Q(s/i)$ при виникненні якої-небудь події (вимоги на спрацювання, наприклад);

- ймовірність застати об'єкт у будь-який момент визначеного періоду в працездатному (g, k — коефіцієнт готовності) або непрацездатному (q — коефіцієнт простою) стані;

Судити про наявність властивості конкретного об'єкта виконувати дані функції можна тільки в конкретні моменти і періоди часу в минулому.

Тимчасовою мірою надійності буде сукупність наробітків на відмовлення $\{T_i\}$. Усереднюючи оцінку наробітків по безлічі реалізації та оцінюючи розкид і тенденцію до зміни, можна говорити про ймовірності

виконання заданих функцій у найближчому майбутньому $P(T_i \geq t_p)$. Але ця ймовірність буде мірою впевненості в існуванні властивості тільки за умови стабільності обставин функціонування, стану об'єкта, однорідності спостереження, достатності обсягу спостережень, справедливості гіпотез про закон розподілу.

Для безлічі об'єктів порівняння їх за рівнем надійності можливо на основі тимчасових і частотних мір $T, \lambda, \omega, \tau, \Lambda$. Але оцінки цих показників за результатами експлуатації виходять з дуже великим інтервалом невизначеності (наприклад, для частоти відмовлень розходження в оцінці складає 2-3 порядки). Прогнозування цих показників дає досить умовні оцінки за тими же причинами, що і застосування ймовірносних мір. Умовність тимчасових, частотних та ймовірнісних мір є причиною невизначеності в оцінках показників надійності устаткування.

Говорячи про надійність класу об'єктів, не мають на увазі ні конкретний момент часу, ні конкретний об'єкт даного класу. Мова йде про ступінь впевненості в тому, що при деяких визначених умовах і об'єкт даного класу виконає або не виконає заданих функцій з відомою ймовірністю. Якщо ця ймовірність дорівнює нулю або одиниці, то міра надійності є логічною, якщо ця ймовірність знаходиться в інтервалі $\{0; 1\}$, то міра надійності буде ймовірною.

Логічна міра надійності записується у вигляді функції алгебри логіки (ФАЛ) як умова достатньої працездатності (безвідмовності) — ФП або умова відмовлення — ФВ за допомогою знаків кон'юнкції Δ або диз'юнкції ∇ . Формування масиву ФВ (або ФП) і складає зміст першого етапу розрахунку надійності системи.

Перехід від логічної міри надійності до ймовірної (впевненості у виконанні або невиконанні функцій) можливий тільки при введенні умовних оцінок ймовірностей подій або станів. Ймовірності, частотні та тимчасові міри виходять на основі логічної міри. Внаслідок цього вони умовні, а оцінки їхніх показників мають великий інтервал невизначеності.

Вихідні дані про надійність елементів системи можуть бути представлені крапковими оцінками середніх значень показників. У таких випадках результати розрахунку надійності системи також представляються у вигляді крапкових оцінок середніх значень показників. Використання статистичних оцінок середніх значень і середньоквадратических відхилень дає основу для застосування формул теорії точності при вимірі невизначеності результату за допомогою середньоквадратичної погрішності.

При прогнозуванні показників надійності нового обладнання оцінки можуть бути представлені (на експертній основі) верхньою і нижньою границею інтервалу невизначеності. Аналогічно верхня і нижня границі визначаються для довірчого інтервалу при використанні статистичних даних іспитів і експлуатації. В цих умовах невизначеність показників надійності системи оцінюється за допомогою песимістичних і оптимістичних оцінок, отриманих при підстановці відповідних граничних значень вихідних даних в отримані розрахункові формули для системи.

Наявність погрішності або інтервалу невизначеності в оцінках показників надійності і цільових функцій приводить до ситуацій, коли внаслідок малого розходження в показниках порівнюваних об'єктів (варіантів) неможливо з впевненістю визначити, який з об'єктів краще. В зону невизначеності за показниками надійності попадають найбільш надійні варіанти, в зону невизначеності за приведеними витратами — найбільш економічні.

Оцінки показників надійності елементів електроенергетичних установок і систем, а саме середнього значення параметра потоку відмовлень ω або середньої інтенсивності відмовлень λ (рік⁻¹), середнього часу відновлення τ (рік) або $T_{в\ порівн}$ (год), частоти виводу в плановий ремонт

$\lambda_{n.p}$ (рік⁻¹), середнього часу планового простою $\tau_{n.p}$ (рік), середньої тривалості планового простою протягом року $t_{n.p}$ (год/рік), умовної ймовірності відмовлення спрацьовування пристроїв захисту та автоматики $Q(r_{o.c})$), докладно розглянуті у спеціальній та довідковій літературі.

3. Причини і характер ушкоджень основних елементів систем електропостачання.

Самим ненадійним елементом систем електропостачання є лінії електропередачі (ЛЕП) через розгалуженість по території і впливи на них різних зовнішніх впливів. Так, у міських електромережах близько 85 % відключень приходяться на частку ЛЕП. У сільських мережах ця цифра досягає 90...95 %.

Повітряні лінії електропередачі.

Основними причинами ушкоджень повітряних ліній (ПЛ) є:

ушкодження ізоляції внаслідок грозових перенапруг; ожеледноморозні відкладення; навантаження від вітру; вібрація та пляска проводів; загоряння дерев'яних опор; ослаблення механічної міцності деталей опор; механічні ушкодження опор і проводів автотранспортом і механізмами та ін.

Зовнішні впливи приводять до перекриття ізоляції, руйнуванню ізоляторів, оплавленню металевих деталей, обриву проводів, ослабленню їхньої механічної міцності при вібрації і плясці в результаті розламу окремих дротів, поломці деталей, падінню стійок разом із проводами. Найбільш важкі наслідки викликають ожеледно-вітряні навантаження.

Порушення в нормальній роботі ПЛ викликано рядом чинників:

- перевищенням фактичних зовнішніх навантажень розрахункових значень;

- дефектами, що допускаються при виготовленні опор, проводів, ізоляції ПЛ (застосування низьких марок цементу і металу, порушення центрування арматури в залізобетонних виробах, неякісне просочення деревини антисептиками, неякісне з'єднання дротів при виготовленні проводу і т.д.);

- неправильним застосуванням типів проводів, опор, ізоляторів за природно-кліматичними зонами країни;

- порушенням правил монтажу і спорудження ПЛ (неправильне вивезення стійок залізобетонних опор, недостатнє поглиблення опор при установці, розкочування проводів по траверсах опор; неправильна установка стріл прогину і т.д.);

- порушеннями при прийманні лінії в експлуатацію (невиконання перевірки дефектних ізоляторів і термо-зварювальних з'єднань, невідповідність застосованих типів виробів закладених у проектах);

- недоліками експлуатації (недотримання термінів, обсягів і складу перевірок, вимірів, заміни дефектного устаткування, що течуть і капітальних ремонтів, фарбування, підтяжки та інших робіт на ПЛ);
- порушеннями сторонніми організаціями й особами (наїзди на опори, проїзди під ПЛ високогабаритних механізмів, накиди).

Кабельні лінії електропередачі.

Основною причиною ушкоджень кабельних ліній (КЛ) є порушення їхньої механічної міцності будівельними машинами і механізмами при земляних роботах. З цієї причини в міських електромережах відбувається близько 60...70 % всіх ушкоджень КЛ. Іншими причинами є старіння межфазної та поясної ізоляції, інтенсивна корозія (електрична і хімічна) покриття, перевантаження кабелю, потрапляння вологи в кабель, порушення ізоляції гризунами.

Пошкоджуваність КЛ залежить від способу прокладки КЛ (в землі, блоках, трубах, тунелях), різниці горизонтальних рівнів ділянки КЛ (при великих перепадах відбуваються стікання масла та осушення ізоляції), агресивності навколишнього середовища, величини блукаючих струмів і наявності захисту від них, інтенсивності ведення будівельних робіт у зоні прокладки КЛ, терміну експлуатації, режиму роботи.

Електричні пробої найчастіше відбуваються не на цілому кабелі, а в місцях установки сполучних муфт, на кінцевих лійках, вертикальних ділянках кабелю.

Силові трансформатори.

Цей вид устаткування ушкоджується значно рідше, ніж лінії електропередачі, однак відмовлення трансформатора веде до важких наслідків і відновлення його працездатності вимагає тривалого часу.

Основні причини ушкодження трансформаторів:

- ушкодження ізоляції обмоток трансформатора через дефекти конструкції та виготовлення, при впливі зовнішніх перенапруг в мережі, струмів короткого замикання;
- ушкодження перемикачів (в основному для трансформаторів з регулюванням напруги під навантаженням), також викликані конструктивними і технологічними дефектами;
- ушкодження введів, в основному при впливі зовнішніх перенапруг у мережі (перекриття зовнішньої або внутрішньої ізоляції, механічні ушкодження, неякісні контактні з'єднання).

Основні способи підвищення надійності експлуатації трансформаторів:

- ретельне приймання в експлуатацію з виконанням контрольних іспитів;
- періодичні огляди і перевірки в процесі експлуатації з виконанням необхідних термінів і обсягу іспитів;
- дотримання режимів роботи трансформаторів, що не допускають значного перевантаження на тривалий час;

- установка засобів зниження потужності коротких замикань і обмеження рівня перенапруг.

Комутаційні апарати.

Відмовлення комутаційних апаратів (вимикачів, роз'єднувачів, віддільників та ін.) відбуваються при відключенні коротких замикань, виконанні ними різних операцій, а також у стаціонарному стані.

Основна причина ушкоджень комутаційних апаратів – механічні ушкодження, пов'язані з недосконалістю конструкції, порушенням технології виготовлення або правил експлуатації. Електричні ушкодження комутаційних апаратів зумовлені перекриттям ізоляції при зовнішніх і внутрішніх перенапругах, пробоем внутрібакової ізоляції вимикачів та ін.

4. Основи розрахунку надійності.

В даний час найбільш широко поширені методи розрахунку надійності, що засновані на припущенні, що система складається із самостійних у змісті надійності елементів. При такому підході до розрахунку надійності потрібно знати схему з'єднання елементів.

Якщо прийняти моделі надійності систем електропостачання з врахуванням відновлення, то при послідовному з'єднанні працюючих елементів кола (схеми) наробіток на відмовлення складе

$$T_{сер} = 1/\omega = 1/\sum_{i=1}^n \omega_i ,$$

а параметр потоку відмовлень

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = \sum_{i=1}^n \omega_i .$$

При паралельному з'єднанні елементів схеми параметр потоку відмовлень є функцією часу роботи, хоча наробіток на відмовлення є постійною величиною. Для n елементів, що працюють паралельно, наробіток на відмовлення

$$T_{сер} = \frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{2\omega_2} + \frac{1}{3\omega_3} + \dots + \frac{1}{n\omega_n} .$$

На практиці електричні мережі часто досить складні і являють собою багаторазове сполучення послідовних, паралельних і послідовно-паралельних з'єднань окремих елементів. Аналіз надійності роботи таких мереж стає складним і тому виникає необхідність заміни складних ділянок мережі більш простими з еквівалентними характеристиками. Причому складність сучасних систем електропостачання визначається не стільки числом елементів, скільки складністю функціональних і логічних зв'язків між окремими частинами й елементами системи. Перед розрахунком

надійності системи попередньо складається логічна схема розрахунку, що може відрізнятися від принципової електричної схеми.

5. Визначення очікуваного збитку від перерв в електропостачанні.

В загальному випадку збиток виробництву залежить від тривалості перерви в електропостачанні. При цьому слід зазначити, що навіть короткочасна (до 2 хв) відсутність напруги на шинах ГЗП або ГРП при справно діючому захисті від зникнення напруги, може привести до простою технологічного устаткування протягом 1-1,5 год через велику (до 1 км) відстань між окремими розподільними пунктами і підстанціями (ступінями захисту), значного їхнього числа, а також через те, що включення розподільних пристроїв дозволено робити тільки електротехнічному персоналові з дозволу енергодиспетчера після встановлення причини відключення.

Економічність систем електропостачання оцінюється зіставленням вартісних показників можливих її варіантів. Як економічний критерій при порівнянні варіантів приймаються приведені витрати

$$Z = p_n K + I + U,$$

де p_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K – капітальні вкладення; I – витрати виробництва; U – очікуваний щорічний збиток від перерв в електропостачанні. Найчастіше збиток U представляють як математичне очікування річного збитку $M(U)$

В загальному випадку методи визначення очікуваного щорічного збитку засновані на докладному аналізі роботи конкретного підприємства або на загальній галузевій оцінці збитку за узагальнюючими показниками. Взагалі очікуваний щорічний збиток складається з прямого і додаткового збитку

$$U = U_n + U_d,$$

де U_n – прямий збиток, зумовлений збільшенням поточних витрат виробництва, браком продукції, ушкодженням устаткування і т.п.; U_d – додатковий збиток, зумовлений недовипуском продукції і додаткових витрат, пов'язаними з компенсацією цього недовипуску.

Прямий збиток складається з витрат на заробітну плату працівників, що обслуговують виробничі та інші механізми, що простоюють від перерв електропостачання, та амортизаційні відрахування.

Математичне чекання річного збитку від перерв електропостачання внаслідок втрати продуктивності через аварійні простої можна визначити з виразу:

$$M(U) = Ap(C - 0,6Cy)0,001 g/T_p,$$

де A_p – річний розрахунковий випуск продукції підприємством; C – оптова ціна одиниці продукції підприємства; C_u – собівартість одиниці продукції; T_p – річне число годин роботи підприємства.

Під річною розрахунковою продуктивністю A_p варто розуміти підприємство в цілому, коли це стосується всього виробництва або окремої технологічної установки. При цьому може бути така ситуація, що окрема установка є технологічною ланкою, зупинка якого викликає припинення роботи всього підприємства. Якщо відбувається перерва в електропостачанні якої-небудь окремої ділянки, то це не означає, що підприємство припинило цілком свою роботу.

Контрольні питання

1. Визначення надійності електроенергетичної системи та електроустаткування.
2. Аварійні порушення функціонування електроустановок.
3. Показники надійності елементів систем.
4. Причини ушкоджень ліній електропередач, трансформаторів та комутаційних апаратів.
5. Методи розрахунку надійності.
6. Методи визначення очікуваного щорічного збитку від переривів в електропостачанні.
7. Які є причини та закономірності виникнення відмов?
8. Яким чином впливають на показники експлуатації електрообладнання різні фактори і умови?