

УДК 621.311

Є.І. БАРДИК (канд. техн. наук, доц.)
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Kafedra_et@fea.kpi.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНКИ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ ПРИ ВІДМОВАХ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Розглянуто підхід до моделювання електроенергетичної системи (ЕЕС) для оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання шляхом використання методів статистичного моделювання та врахування нестаціонарності в моделях відмов одиниць електрообладнання. Використовувані генеральні функції розподілу імовірності відмов електрообладнання ЕЕС, які адаптовані до реальних умов експлуатації і враховують технічний стан на момент спостереження, історію життя і рівень відновлення після ремонту об'єкта та вплив метеорологічних умов, побудовані з використанням теорії імовірності і нечіткої логіки.

Ключові слова: електрообладнання, функція розподілу імовірності відмов, ризик, експлуатація, надійність.

Вступ. Статистичний аналіз аварійності в ЕЕС України і інших промислово розвинених країн показує, що існує стійка тенденція до підвищення кількості порушень електропостачання відповідальних енергетичних об'єктів, а іноді і значних територій, що супроводжуються негативними соціальними, економічними і екологічними наслідками[1,2,5].

Зростання інтенсивності технологічних порушень і важкості наслідків в першу чергу викликане об'єктивно існуючим старінням і вичерпанням ресурсу працездатності електрообладнання, несприятливим погіршенням кліматичних умов, більш напруженими умовами роботи персоналу та іншими причинами організаційного характеру.

У зв'язку з цим для ЕЕС важливого значення набувають питання ефективної організації експлуатації і управління надійністю електропостачання споживачів електроенергії, обґрунтування та впровадження заходів, направлених на запобігання виникненню аварій.

Традиційно для забезпечення надійної роботи ЕЕС її проектують таким чином, щоб відключення одного або рідкісніше декількох елементів в нормальному режимі при проходженні максимуму навантаження не приводило до неприпустимих перевантажень інших елементів або необхідності обмеження частини навантаження [3]. Якщо критерій N-і виконується в усіх розрахункових режимах, вважається що ЕЕС є надійною, в протилежному випадку потрібно застосування відповідних заходів для виконання встановлених нормативів.

Даний підхід є детерміністським, оскільки, не враховує імовірність появи аварійних ситуацій і тому не дає кількісної характеристики надійності ЕЕС, а характеризує надійність за ознакою відповідності нормативним вимогам.

Найбільш перспективним підходом до оцінки надійності функціонування ЕЕС є імовірнісний підхід [2,4] згідно з яким аналізуються аварійні відключення елементів ЕЕС з визначенням імовірнісних характеристик таких подій і їх наслідків. З розвитком ринкових відносин в електроенергетиці України за яких надійність розглядається як послуга, яка має кількісні характеристики, оцінка надійності імовірнісними методами є більш об'єктивною і повною.

Постановка задачі. На сьогодні ризик експлуатації електрообладнання і окремих підсистем ЕЕС є найбільш інформативним інтегральним показником надійності їх функціонування.

Кількісно ризик R визначають як добуток величини події A на міру можливості її появи q [2,5]:

$$R(t) = A(t) \times q(t).$$

Для складних ЕЕС з поняттям ризику їх функціонування пов'язують можливість відмови окремих одиниць обладнання внаслідок різних причин, розвитку аварії за деяким сценарієм, в результаті чого можливе зниження надійності електропостачання споживачів або зменшення потужності генеруючих джерел, що супроводжується значними збитками. Складність оцінки ризику $R(t)$ в основному виникає при визначенні міри можливості появи події q , в якості якої часто використовують імовірність [2].

Найбільш ефективним, як зазначалось, в даному випадку є імовірнісний підхід, який передбачає застосування аналітичних методів і методів статистичного моделювання[4,6].

Більшість аналітичних методів визначення ймовірностей відмов і відновлень елементів ЕЕС використовують математичні моделі, які ґрунтуються на марківських випадкових процесах і припускають властивості стаціонарності, ординарності і відсутності післядії у подій відмови, що характерно для елементів,

які не випрацювали свій ресурс [4,6,7]. Наявність в сучасних ЕЕС значної кількості зношеного електрообладнання потребує уточнення моделі відмов електрообладнання, що може призвести до ускладнення аналітичних методів, та недоцільності їх використання.

Альтернативним методом оцінки імовірнісної складової ризику для систем енергетики, характерною особливістю яких є багатоелементність, складність структури та значний рівень зношеності електрообладнання, є використання методів статистичного моделювання [4,6,7]

Мета статті – розробка математичного і програмного забезпечення для оцінки ризику виникнення аварійної ситуації в ЕЕС при відмовах електрообладнання, які ґрунтуються на використанні методів статистичного моделювання та врахуванні нестационарності в моделях відмов електрообладнання.

Математична модель ЕЕС і алгоритм статистичного моделювання.

Надійність N функціонування підсистеми ЕЕС характеризується показником, в якості котрого приймаємо ризик R зниження надійності електропостачання споживачів, які входять до складу підсистеми ЕЕС, в результаті виникнення аварійних ситуацій:

$$N = f(R_1 \dots R_m),$$

де R_i – ризик зниження надійності при виникненні i -ої аварійної ситуації, $N \in [0;1]$, де $R_i \in [0;1]$.

Ризик зниження надійності підсистеми ЕЕС при всіх можливих відмовах обладнання і можливих аварійних сценаріях визначається із співвідношення:

$$R = \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^K P(S_i)P(H_j | S_i)M_j$$

де L – число можливих аварійних сценаріїв; K – число одиниць обладнання в підсистемі ЕЕС; M_j – наслідки при виникненні аварійної ситуації; $P(H_j | S_i)$ – імовірність виникнення конкретної j -ої аварійної ситуації в результаті відмови i -го елемента (збурення); $P(S_i)$ – імовірність відмови i -го елемента на інтервалі часу Δt .

На інтервалі часу Δt електрообладнання може відмовити внаслідок спрацьованого технічного стану, помилкових дій персоналу, а також внаслідок дії зовнішніх збурень, таких як вітер, ожеледиця, перенавантаження та інші.

Якщо на початок інтервалу в момент спостереження t_1 об'єкт мав конкретне значення спрацьованого ресурсу S , то імовірність відмови об'єкта $P(H_1)$ на інтервалі часу Δt внаслідок незадовільного стану S та дії зовнішнього збурення C_i конкретної інтенсивності визначається:

$$P(H_1) = 1 - (1 - P(B))(1 - P(C_1))(1 - P(C_2)) \dots (1 - P(C_k)),$$

$$P(C_i) = P(\beta_i) \cdot P(C_i / \beta_i),$$

де H_1 – подія, яка полягає у тому, що об'єкт відмовить на інтервалі часу Δt ; B – подія, яка полягає у відмові об'єкта на інтервалі часу внаслідок незадовільного технічного стану; C_i – а подія, яка полягає у відмові об'єкта з технічним станом S на інтервалі часу Δt внаслідок дії i -го зовнішнього збурення конкретної інтенсивності. Події B_i і C_i є сумісними, оскільки відмова об'єкта може виникнути при одночасній появі подій B та C_1, C_2, \dots, C_k (k – число різних зовнішніх збурень, які можуть одночасно виникнути на інтервалі часу Δt);

$P(B), P(\beta_i), P(C_i / \beta_i)$ – імовірності відмови об'єкта на інтервалі часу Δt внаслідок незадовільного ТС, появи зовнішнього збурення β_i та відмови об'єкта за умовами появи зовнішнього збурення відповідно.

Відмова електрообладнання є випадковою подією, яка розглядається в якості збурення в підсистемі ЕЕС, і виникає у випадковий момент часу $\tau, 0 < \tau \leq \Delta t$. Для визначення, яке електрообладнання \mathcal{E}_i відмовить і в який момент часу, проводиться статистичне моделювання події відмови i -ої одиниці обладнання та часу його виникнення τ_i серед множини електрообладнання M . При цьому можливі наступні підходи в залежності від наявної інформації.

Якщо функціонування електрообладнання на інтервалі часу Δt характеризується модифікованою функцією розподілу імовірності безвідмовної роботи $F(t)$, то час безвідмовної роботи кожного об'єкта визначається наступним чином [5,6]:

- через генератор випадкових чисел (ГВЧ) вибирається випадкове число R від 0 до 1;
- отримане число R піддається процедурі зворотного перетворення $F^{-1}(R)$ та визначається час відмови об'єкта τ ;
- якщо $t_1 \leq \tau \leq t_2$, приймається, що об'єкт відмовив на інтервалі часу Δt ;
- якщо $\tau < t_1$ або $\tau > t_2$, приймається що об'єкт не відмовив на інтервалі часу Δt .

Якщо в даній реалізації статистичного моделювання відбулася відмова n елементів, то вибирається елемент, який має найменший час настання відмови $\tau = \min \{ \tau_i, i = 1, n \}$. Відмова цього елемента розглядається як збурення при моделюванні режиму підсистеми ЕЕС. При цьому можливі наступні підходи в залежності від наявної інформації.

1. Для одиниці електрообладнання відома генеральна функція розподілу імовірності відмови $F(t)$. В цьому випадку схема статистичного моделювання організовується наступним чином.

Для оцінки імовірності відмови обладнання найдоцільніше використати статистичні дані щодо функціонування обладнання даного типу, на основі яких будується функція розподілу імовірності відмови. Доцільність використання статистичних даних пояснюється тим, що вони враховують всі експлуатаційні фактори, в тому числі і вплив навколишнього середовища. Отримані в результаті обробки статистичних даних функції розподілу імовірності події базуються на генеральній сукупності подій, строго кажучи, не є імовірнісними характеристиками окремої одиниці електрообладнання.

Тому функції розподілу імовірнісних подій можна використовувати для отримання приблизної оцінки імовірності виникнення події відмови окремої одиниці електрообладнання, яка повинна уточнюватися для кожного елемента з врахуванням історії його функціонування, залишкового ресурсу до моменту спостереження, наявності дефектів і ін.

2. Для одиниці електрообладнання на основі спостережень відомі зміни діагностичних параметрів у часі. В даному випадку найбільш доцільним є використання відповідних математичних моделей прогнозування змінення технічного стану і залишкового ресурсу одиниць електрообладнання [8] з допомогою яких можливо визначити термін виходу діагностичного параметра за допустимі межі або імовірності параметричної відмови в будь-який момент часу на інтервалі часу спостереження Δt . Застосування методів параметричного прогнозування для любого напрацювання інтервалу спостереження Δt і визначення ризику відмов на прикладі силового трансформатора докладно розглянуто в [8].

Ідентифікація параметрів та адаптація до реальних умов експлуатації функцій розподілу відмов електрообладнання ЕЕС. Точність результатів визначення імовірнісної складової ризику експлуатації підсистем ЕЕС при використанні як аналітичного методу так і методу статистичного моделювання в значній мірі визначається адекватністю використовуваних інтегральних функцій розподілу імовірності відмов $F(t)$ конкретних одиниць електрообладнання ЕЕС, що аналізується. Практика експлуатації показує, що одержати ретроспективні дані по відмовам конкретної одиниці електрообладнання дуже важко внаслідок недосконалої існуючої системи моніторингу стану електрообладнання і інших причин [9]. В якості базової залежності між відмовами електрообладнання і терміном їх експлуатації як зазначалось доцільно взяти ці залежності для всієї сукупності елементів енергосистеми даного виду обладнання [9], або адаптований до реальних умов експлуатації варіант (якщо це можливо) для конкретної одиниці обладнання. Для основних одиниць силового електрообладнання ЕЕС (силові трансформатори і автотрансформатори, синхронні генератори і асинхронні двигуни), комутаційного електрообладнання, вимірювальних трансформаторів струму і напруги на основі генеральної сукупності даних по відмовам на інтервалі напрацювання від 1 до 40-50 років було визначено та перевірено у відповідності з критерієм узгодженості Пірсона χ -квадрат [11] види функцій розподілу $F(t)$ на всіх ділянках напрацювання, а також визначено параметри функцій розподілу на основі використання методів найменших квадратів та максимальної правдоподібності. Формування функцій $F(t)$ одиниць електрообладнання ЕЕС певного виду для яких відсутні ретроспективні дані по відмовам виконувалось на основі експертного оцінювання параметрів функції безвідмовної роботи з подальшою апроксимацією у вигляді функцій з нечітко заданими параметрами.

На рис. 1 представлена статистична функція розподілу відмов повітряних вимикачів з приводами напругою 110-710 кВ [10] та її аналітичні апроксимації різними законами на окремих ділянках напрацювання I-III: I – Вейбула з $F_I(t) = 1 - e^{-\alpha_I t^{\delta_I}}$; II – рівномірний закон з $F_{II}(t) = \alpha_{II} + \beta_{II} t$; III – Вейбула з $F_{III}(t) = 1 - e^{-\alpha_{III} t^{\delta_{III}}}$.

Функції розподілу імовірності відмов для блокових і мережевих силових трансформаторів, повітряної лінії та синхронних генераторів, які одержані на основі генеральної сукупності подій наведено на рис.2

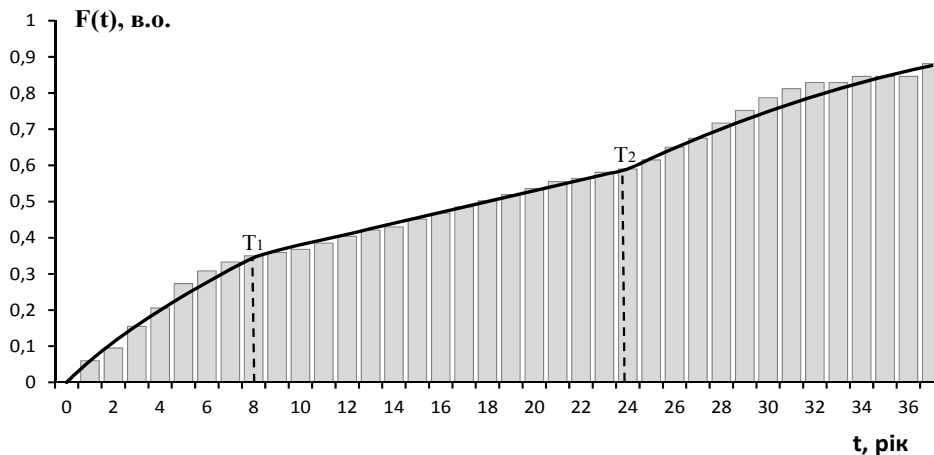
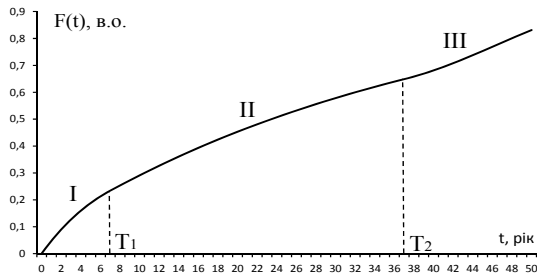


Рисунок 1 – Функція розподілу імовірності відмов повітряних вимикачів 110-750 кВ з приводами

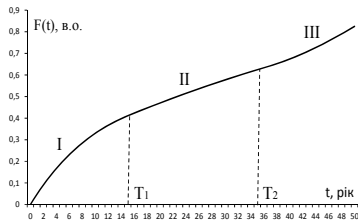


$$F_I(t) = 1 - e^{-[a_I \cdot \Delta t - b_I \cdot \frac{\Delta t^2}{2}]}; \Delta t = 0 \div T_1$$

$$F_{II}(t) = 1 - e^{-[A_{II} + a_{II} \cdot \Delta t]/100}; \Delta t = 0 \div (T_2 - T_1)$$

$$F_{III}(t) = 1 - e^{-[B_{III} + a_{III} \cdot \Delta t + b_{III} \cdot \frac{\Delta t^2}{2}]}; \Delta t = 0 \div (T_3 - T_2)$$

a)

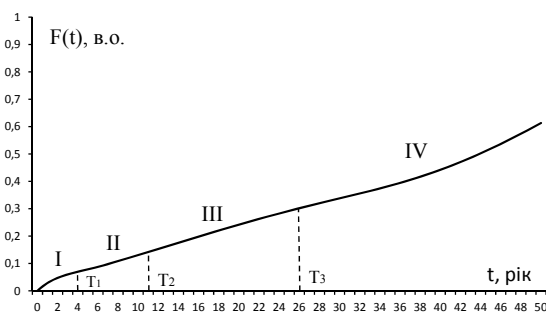


$$F_I(t) = 1 - e^{-[a_I \cdot \Delta t - b_I \cdot \frac{\Delta t^2}{2}]}; \Delta t = 0 \div T_1$$

$$F_{II}(t) = 1 - e^{-[A_{II} + a_I \cdot \Delta t + a_{II} \cdot \frac{\Delta t^2}{2}]}; \Delta t = 0 \div (T_2 - T_1)$$

$$F_{III}(t) = 1 - e^{-[B_{III} + a_{III} \cdot \Delta t + b_{III} \cdot \frac{\Delta t^2}{2} + c_{III} \cdot \frac{\Delta t^3}{3}]}; \Delta t = 0 \div (T_3 - T_2)$$

б)



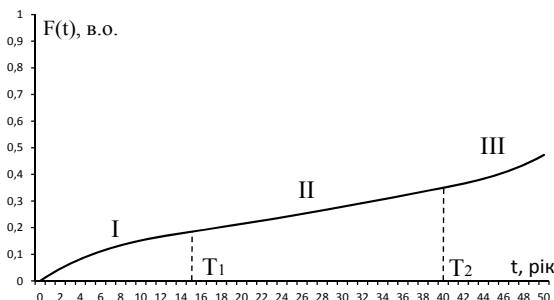
$$F_I(t) = 1 - e^{-[a_I \cdot \Delta t - b_I \cdot \frac{\Delta t^2}{2} + c_I \cdot \frac{\Delta t^3}{3}]}; \Delta t = 0 \div T_1$$

$$F_{II}(t) = 1 - e^{-[A_{II} + a_{II} \cdot \Delta t + b_{II} \cdot \frac{\Delta t^2}{2} - c_{II} \cdot \frac{\Delta t^3}{3}]}; \Delta t = 0 \div (T_2 - T_1)$$

$$F_{III}(t) = 1 - e^{-[B_{III} + a_{III} \cdot \Delta t]}; \Delta t = 0 \div (T_3 - T_2)$$

$$F_{IV}(t) = 1 - e^{-[C_{IV} + a_{IV} \cdot \Delta t - b_{IV} \cdot \frac{\Delta t^2}{2} + c_{IV} \cdot \frac{\Delta t^3}{3}]}; \Delta t = 0 \div (T_4 - T_3)$$

в)



$$F_I(t) = 1 - e^{-[a_I \cdot \Delta t - b_I \cdot \frac{\Delta t^2}{2} + c_I \cdot \frac{\Delta t^3}{3}]}; \Delta t = 0 \div T_1$$

$$F_{II}(t) = 1 - e^{-[A_{II} + a_{II} \cdot \Delta t + b_{II} \cdot \frac{\Delta t^2}{2}]}; \Delta t = 0 \div (T_2 - T_1)$$

$$F_{III}(t) = 1 - e^{-[B_{III} + a_{III} \cdot \Delta t + b_{III} \cdot \frac{\Delta t^2}{2} + c_{III} \cdot \frac{\Delta t^3}{3}]}; \Delta t = 0 \div (T_3 - T_2)$$

г)

Рисунок 2 - Функції розподілу імовірності відмови силового електрообладнання і повітряних ліній ЕЕС: а- блоковий трансформатор; б- мережвий трансформатор; в- повітряна лінія, г- синхронний генератор.

Для більш достовірного прогнозування імовірності відмови об'єкта на інтервалі часу Δt , необхідно, як зазначалось, врахувати індивідуальні характеристики конкретної одиниці обладнання шляхом модифікації функції розподілу імовірності відмови обладнання яка виконується з урахуванням наступних факторів: наявності працездатного стану в момент спостереження; врахування технічного стану електрообладнання. Метод побудови функції $F(t)$ з урахуванням ТС окремої одиниці обладнання докладно викладено в [10].

Згідно з [10] імовірність гіпотези H_1 (подія, об'єкт що відмовив на інтервалі часу Δt) за умови появи події B (умовна імовірність відмови об'єкта на інтервалі часу) Δt за умови, що в об'єкта було зафіксовано ТС S (визначається за формулою Байєса):

$$p(H_1 / B) = \frac{p(H_1) \cdot p(B / H_1)}{p(H_1) \cdot p(B / H_1) + p(H_2) \cdot p(B / H_2)}$$

Умовні імовірності $p(B / H_1)$ та $p(B / H_2)$ можуть бути визначені на основі статистичних даних про ТС об'єкта в момент відмови. В разі відсутності таких статистичних даних запропоновано використання композиційного правила Заде [5,10] з побудовою матриць нечітких причинних відносин на основі знань експерта за методом Сааті.

Врахування введених вище подій при визначенні імовірності відмови електрообладнання на інтервалі часу Δt дає можливість визначити нове значення функції розподілу імовірності $F'(t)$ в момент часу t_2 .

$$F'(t_2) = F(t_1) + p(H_1 / B),$$

де $F(t_1)$ значення функції в момент часу спостереження t_1 .

Результати оцінки ризику виникнення аварій в ЕЕС при відмовах електрообладнання. В розробленому математичному і програмному забезпеченні RISK – ЕЕС для визначення імовірнісної складової ризику по заданій моделі функціонування ЕЕС з допомогою статистичного моделювання імітується випадковий процес змінення стану електричної мережі, що визначається станом працездатності її елементів, і процес змінення навантаження на розрахунковому інтервалі часу (квартал, рік). При цьому, для кожного стану ЕЕС, пов'язаного з відмовою її елемента, перевіряється можливість нормального режиму функціонування. Для цього розраховується перехідний і післяаварійний усталений режим та визначається поточкорозподіл і інші важливі параметри.

Модель навантаження може бути детермінованою, яка відповідає типовим графікам споживання або ймовірнісною, що враховує випадковий характер змінення електроспоживання. Навантаження джерел генерації може визначатись в результаті розподілу навантажень між джерелами, в залежності від характеру взаємовідносин в електроенергетиці, або після оптимізації загальносистемних витрат на паливо на електростанціях, чи за результатами торгів на ринку електроенергії. Вихідними даними для моделювання процесу зміни станів ЕЕС є імовірності працездатного і непрацездатного станів елементів.

Для визначення кількісних показників ризику відмов окремих елементів та порушення нормального режиму ЕЕС розглядалась тестова схема підсистеми ЕЕС IEEE (рис. 3).

Для розглядаємої схеми для визначення імовірнісних складових ризику відмови окремих елементів (високовольтних вимикачів, силових трансформаторів і ліній електропередачі) було розраховано 200 режимів з використанням алгоритму імовірнісно-статистичного моделювання. В табл. 1 наведено результати розрахунку ризику відмови вимикачів (В1 ... В48), ліній (L1, ...L15) і трансформаторів (Т1, Т2, Т3) на інтервалі часу $\Delta t = 3$ місяці як в результаті виникнення аварій за різних причин, так і в результаті перенавантажень (для ліній електропередачі) при відмовах електрообладнання.

Таблиця 1-Результати розрахунку кількісних показників ризику відмов.

№ п/п	Елементи схеми, що відмовляли при статистичному моделюванню	Кількість відмов в результаті аварії	Кількість відмов в наслідок перевантаження	Загальна кількість відмов елементів	Імовірнісна складова ризику відмов в наслідок аварії	Імовірність відмови в наслідок перевантаження	Імовірність відмов елемента на інтервалі часу
1	L 15	15	6	21	0,075	0,03	0,105
2	L 14	9	4	13	0,045	0,02	0,065
...
4	В31	6	-	6	0,03	-	0,03
5	В2	8	-	8	0,04	-	0,04

Висновки. 1. Запропонована математична модель ЕЕС і алгоритм статистичного моделювання для оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання з урахуванням нестационарності в моделях відмов електрообладнання.

2. Отримано моделі функцій розподілу імовірності відмов силових і комутаційних елементів ЕЕС, що ґрунтуються на генеральній сукупності подій та запропоновано метод оцінки імовірності їх відмов на заданому інтервалі часу з урахуванням індивідуальних характеристик обладнання. Для тестової схеми ЕЕС виконано розрахунки кількісних показників ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання.

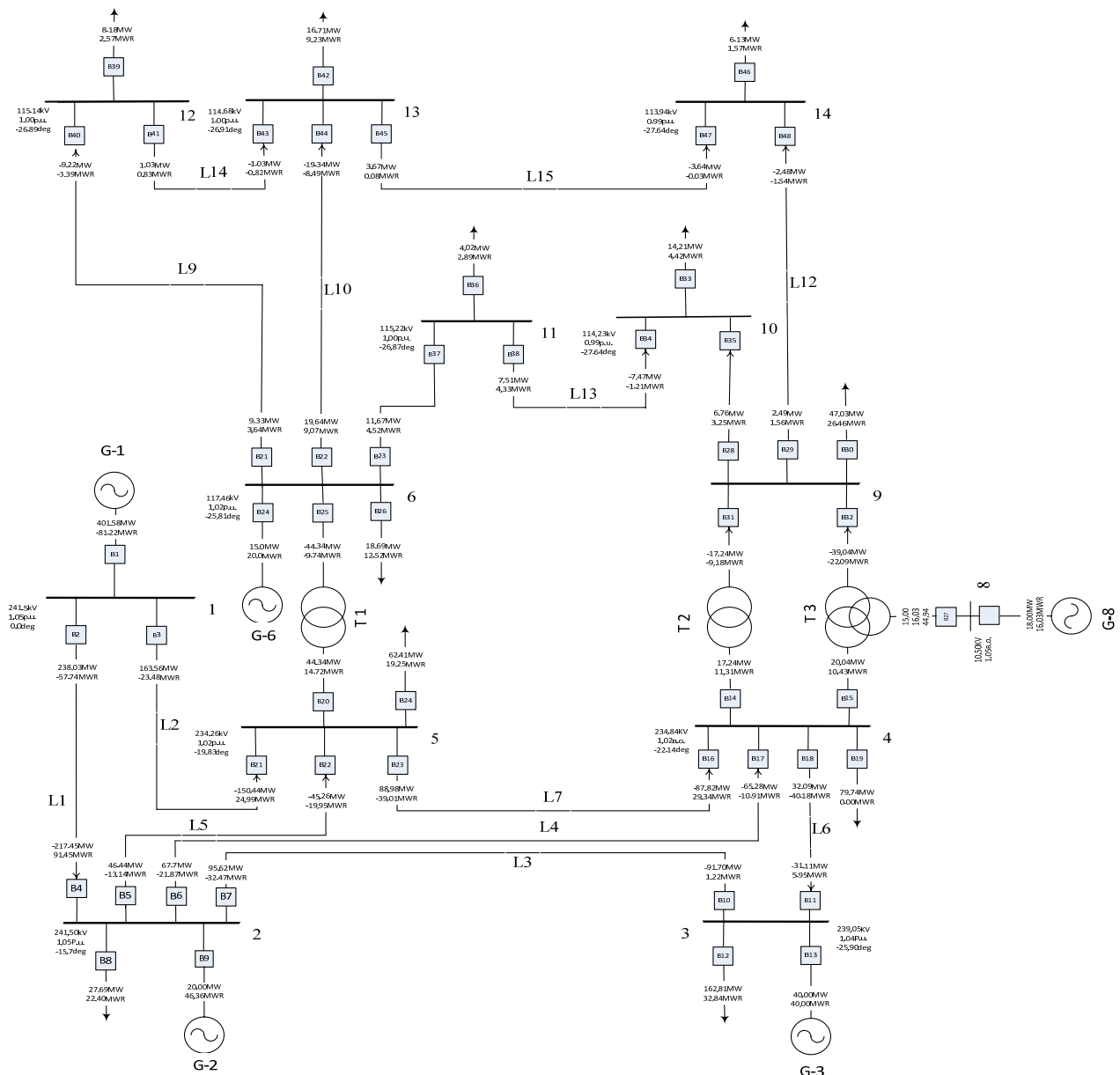


Рисунок 3- Тестова схема підсистеми EEC IEEE

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ситников В.Ф. Вероятностно-статистический подход к оценке ресурсов электросетевого оборудования в процессе эксплуатации / В.Ф. Ситников, В.А. Скопинцев // Электричество. – 2007. - №11. – С. 9-15.
2. Ciapessoni E. A probabilistic approach for operational risk assessment of power systems / E. Ciapessoni, D. Cirio, E. Gagleoti. – CIGRE, 2008. – P. 4 – 114.
3. Ковалев Г.Ф. Области использования и приемы применимости критерия М-І при формировании структуры и выбора параметров элементов ЭЭС.-ЖЭМ СОРАН-№6 / Г.Ф. Ковалев, Л.М. Лебедева. - Иркутск,1999. - 68 с.
4. Task on Probabilistic Aspects of Reliability Criteria of the IEEE PES Reliability, Risk and Probability Applications Subcommittee (J. McCalley's chair) "Probabilistic Security Assessment for Power System Operations." - IEEE Power Engineering Society General Meeting. – 6-10 June, 2004.
5. Костерев М.В. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем: монографія / М.В. Костерев, Є.І. Бардик. - К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 148 с.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

7. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах. – Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
8. Бардик Є.І. Параметричне прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання енергосистем на основі нечіткого регресійного аналізу / Є.І. Бардик // Матеріали II Міжнародної конференції ["Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС"]. - Мукачево, 2011. - С. 165-171.
9. Абдурахманов А.М. Влияние продолжительности эксплуатации на отказы выключателей в высоковольтных электрических сетях / А.М. Абдурахманов, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов // Электрические станции. – 2007. - №7. – С. 59-63.
10. Бардик Є.І. Оцінка імовірності відмови електрообладнання при керуванні режимами електричної системи / Є.І. Бардик, М.В. Костерев, В.В. Литвинов // Збірник праць V міжнародної науково-технічної конференції ["Керування режимами роботи об'єктів електричних та електромеханічних систем - 2011"]. - Святогорськ, 2011.
11. Бардик Є.І. Ідентифікація параметрів функцій розподілу імовірності відмов електрообладнання для оцінки експлуатаційного ризику електроенергетичних систем(ЕЕС) / Є.І. Бардик, О.С. Спотар // Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції ["Відновлювальна енергетика XXI століття"]. - Миколаївка, 2012. - С. 102-105.

REFERENCES

1. V.F.Sitnikov, V.A.Scopincev Probabilistic statistical approach to resource assessment of power supply equipment in operation. //Energy -2007.--№11.- p.9-15.
2. E. Ciapessoni, D. Cirio, E.A. Gagleoti probabilistic approach for operational risk assessment of power systems. - CIGRE,2008.- Report p4-114.
3. Area of use and the limits of applicability of the criterion N-i in the structure formation and selection of major parameters of EPS/ G.F. Kovalev, L.M. Lebedeva-№6-Irkutsk, 1999.-68p.
4. Task on Probabilistic Aspects of Reability Criteria of the IEEE PES Reliability, Risk and Probability Applications Subcommittee (J. McCalley's chair) "Probabilistic Security Assessment for Power System Operations".- IEEE Power Engineering Society General Meeting.-6-10 June, 2004.
5. E.I. Bardik, M.V. Kosterev Questions of construction technical evaluation of objects of fuzzy models of electrical systems.-K.: NTUU KPI ,2011.-148p. (monograph re doneandsupplemented).
6. E.C. Ventcel Operations research. -M.: Soviet radio,1972.-552p.
7. Endreni J. Power systems reliability computation modeling.- Energoatomizdat, 1983. 336
8. E.I. Bardik. Parametric prediction of the residual resource of electrical power systems based on fuzzy regression analysis //Materials from the IInd International conference "Intelligent energy systems-IES", с. Mukachevo, 2011, p.165-171.
9. A.M. Abdurahmanov, M. Misrihanov, A.V. Shuntov Effect of operation refusals switches in high-voltage electrical networks.//Power plants .-2007.-№7.-p.59-63.
10. E.I. Bardik, M.V. Kosterev, V.V. Litvinov Evaluation of probability of failure of electrical equipment in driving modes of electrical system.Collection of works of the V-th International scientific conference"Managing objects modes of electrical and electromechanical systems-2011", с. Svyatogorsk.-p.55-61.
11. E.I. Bardik, O.S. Spotar. Identification of failure probability function parameters of power equipment for power systems maintenance risk assessment. // Conference proceedings of XIII Scientific and Practical Conference 'Renewable energy of XXI century' – Autonomous Republic of Crimea, Mykolaivka., 2012. p. 102-105.

Надійшла до редакції 27.03.2013

Рецензент: В.Ф. Сивокобиленко

Е.И. БАРДИК

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Моделирование ЭЭС для оценки риска возникновения аварий при отказах электрооборудования.

Рассмотрен подход к моделированию электроэнергетической системы (ЭЭС) для оценки риска возникновения аварий при отказах электрооборудования путем использования методов статистического моделирования и учета нестационарности в моделях отказов единиц электрооборудования. Используются генеральные функции распределения вероятности отказов электрооборудования ЭЭС, которые адаптированы к реальным условиям эксплуатации и учитывают техническое состояние на момент наблюдения, историю жизни и уровень возобновления после ремонта объекта и влияние метеорологических условий, построены с использованием теории вероятности и нечеткой логики.

Ключевые слова: электрооборудование, функция распределения вероятности отказов, риск, эксплуатация, надежность.

E.BARDIK

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Modeling of Electric Power System for Risk Assessment of Accidents Occurrence During the Failure of Electrical Equipment. Proceeding from the analysis of accidents in electric power systems of Ukraine and other industrialized countries we discovered that there is a steady increase in the number of power supply facilities caused by objectively existing ageing and depletion of the electrical equipment resource efficiency, weather conditions worsening and more strenuous conditions for staff. The necessity of improving the operation and power systems supply reliability management is established. Existing approaches and methods to ensure the reliability of electric power systems are analyzed in the article. It is found that the use of deterministic approaches, in particular $N-i$ criterion, to assess the reliability of electric power systems, are not effective because they do not give a quantitative description of a system.

The approach to assessing the reliability of electric power systems based on the use of risk reduction as an indicator of the reliability of electricity consumers is considered in the paper. Mathematical model and algorithm of statistical modeling to determine the risk of accidents in electric power systems are proposed. Mathematical models of failures that take into account the technical condition of the equipment at the time of observation, the quality of recovery after repair, life history and meteorological conditions are developed with the use of methods of probability theory and fuzzy logic to predict the probability of failure of the power equipment and switching equipment of power systems. On the test circuit of IEEE Power supply subsystem, which contains 14 nodes and 20 branches, we held a simulation of emergency operation, which resulted in the identified risk of failure of individual elements of subsystem.

Keywords: *electrical equipment, distribution function of the failure probability, risk, operations, reliability.*