



УДК 621.311

DIESEL-GENERATOR TECHNICAL STATE ESTIMATION IN FUZZY- INFORMATION CONDITIONS

ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Stetsiura O.S. / Стецюра О.С.*master's student / магістрант**Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Universytetska, 66, 69600**Запорізький національний університет, Запоріжжя, Університетська, 66, 69600***Bashliy S.V. / Башлій С.В.***PhD, as.prof. / к.т.н., доц.**Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Universytetska, 66, 69600**Запорізький національний університет, Запоріжжя, Університетська, 66, 69600***Litvinov V.V. / Літвінов В.В.***PhD, Technical Department Chief / к.т.н., начальник виробничо-технічного відділу
Branch "Dniprovsk HPP" of PJSC "Ukrhydroenergo", Zaporizhzhia, Winter Boulevard, 1
філія «Дніпровська ГЕС» ПрАТ «Укргідроенерго», Запоріжжя, бульвар Вінтера, 1*

Анотація. В роботі розглядається проблема комплексного оцінювання технічного стану дизель-генератора в умовах відсутності аналітичних зв'язків між діагностичними параметрами, що доступні для вимірювання без виведення обладнання в ремонт. Розроблено дворівневу модель оцінки технічного стану дизель-генератора на основі нечіткого логічного виводу Мамдані. Отримана кількісна оцінка технічного стану використовується для визначення імовірності відмови дизель-генератора та прийняття рішення про його подальшу експлуатацію.

Ключові слова: дизель-генератор, електростанція, власні потреби, нечітка модель, технічний стан, імовірність відмови.

Вступ.

На теперішній час електроенергетична система (ЕЕС) України працює у вкрай напружених умовах, оскільки до раніше наявних проблем, пов'язаних з застарілим обладнанням та обтяженими режимами роботи, додалися пошкодження обладнання електростанцій, підстанцій та мереж завданні обстрілами об'єктів української енергетики під час останніх геополітичних подій. Наслідком вказаних пошкоджень об'єктів енергетики стало значне зниження надійності ЕЕС України, дефіцит генерації та збільшення кількості аварійних ситуацій, що призводять до перерви живлення споживачів. В таких умовах особливої важливості набуває надійність роботи та живучість електростанцій, для підвищення якої потрібне підвищення живучості мережі власних потреб (ВП) електростанцій. Для уникнення посадки електростанцій «на



нуль» та покращення живучості її мережі ВП одним з ефективних заходів є резервування живлення споживачів ВП дизель-генераторами, які мають постійно знаходитись у працездатному стані. Так як більшу частину часу дизель-генератори перебувають у режимі очікування, існує можливість виникнення їх відмови через погіршення технічного стану. Враховуючи вищезазначене, постає питання визначення технічного стану дизель-генератора без виведення його у ремонт за значеннями контрольованих в процесі експлуатації параметрів.

Постановка задачі.

Кількісна оцінка технічного стану та імовірності відмови дизель-генераторів виконується в умовах неповноти вихідної інформації, яка полягає у:

- обмеженій кількості діагностичних ознак стану, які можна визначити в онлайн режимі без виведення обладнання в ремонт;
- відсутності аналітичних зв'язків між різнорідними діагностичними ознаками стану об'єкту;
- відсутність репрезентативної статистичної вибірки щодо відмов дизель-генераторів певних типів.

Існує ряд підходів до оцінювання технічного стану та імовірності відмови дизель-генераторів. Так в [1] запропоновано метод оцінювання технічного стану механічної частини дизель-генератора, але не приділено увагу його електричній частині (генератору). В роботі [2] проведено аналіз статистичних даних відмов дизельних генераторів атомних електростанцій, але не розглянуто питання врахування технічного стану дизель-генератора при оцінюванні імовірності відмови конкретної одиниці обладнання. Таким чином, задача комплексної оцінки технічного стану дизель-генератора залишається актуальним питанням, яке потребує додаткових досліджень.

Враховуючи вказані вище невизначеності доцільно запропонувати використання нечітких методів та моделей [3] для оцінки стану дизель-генератора, за допомогою яких можливо встановити причинно-наслідкові зв'язки між вимірюваними параметрами та отримати кількісну оцінку стану дизель-генератора.



Побудова нечіткої моделі оцінювання технічного стану дизель-генератора.

Для реалізації нечіткої моделі необхідно визначити алгоритм нечіткого виводу. Вибір алгоритму нечіткого виводу залежить від виду наявної вихідної інформації про об'єкт. Так, модель з нечітким виводом Сугено не передбачає наявності експертних оцінок, формування бази знань здійснюється у вигляді лінгвістичних висловлювань, що формуються за результатами статистичних спостережень [4]. Як було вказано вище, репрезентативні статистичні дані щодо технічного стану дизель-генераторів в більшості випадків відсутні, тому нечіткий вивід Сугено є малоефективним для вирішення поставленої задачі оцінки стану дизель-генератора.

Модель з нечітким виводом Мамдані визначається якісною базою правил типу «ЯКІЩО-ТО», вхідні та вихідні величини представлені лінгвістичними змінними, які описуються нечіткими термами. Зв'язок між кількісним та якісним описами нечітких термів організовано за допомогою функцій приналежності (ФП). База правил формується експертом вручну, модель базується на експертних знаннях, які враховують взаємозв'язки між вхідними змінними та результатом. Якість ідентифікації моделі Мамдані є вищою, порівняно із моделлю Сугено. Нечітка модель Мамдані є більш зрозумілою та може бути застосована при обмеженості вихідної інформації та її різноманітності [3, 4]. Враховуючи наявну вихідну інформацію про дизель-генератор для моделювання технічного стану обрано нечіткий вивід Мамдані.

Конструктивно дизель-генератор складається з двох основних вузлів: дизельного двигуна та синхронного генератора. Враховуючи це, для оцінки технічного стану пропонується використати дворівневу нечітку модель, на першому рівні якої окремо здійснюються оцінки стану дизельного двигуна та стану синхронного генератора, а на другому рівні – оцінка загального технічного стану дизель-генератора.

Структурна схема нечіткої моделі дизель-генератора приведена на рисунку 1.

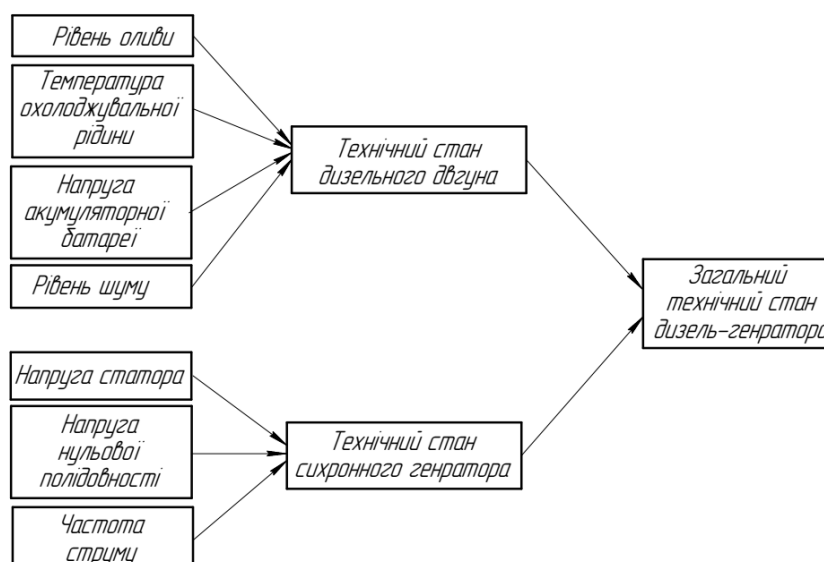


Рисунок 1 – Нечітка модель дизель-генератора

Авторська розробка

Оцінка технічного стану дизельного двигуна S_1 здійснюється за чотирма вхідними лінгвістичними змінними, що описуються наступними нечіткими термами:

1) A = «Рівень оливи»: A_1 = «Низький», A_2 = «Нормальний», A_3 = «Високий»;

2) B = «Температура охолоджувальної рідини»: B_1 = «Нормальна», B_2 = «Висока»;

3) C = «Напруга акумуляторної батареї»: C_1 = «Низька», C_2 = «Нормальна», C_3 = «Висока»;

4) D = «Рівень шуму»: D_1 = «Нормальний», D_2 = «Високий».

Технічний стан синхронного генератора S_2 оцінюється за трьома лінгвістичними змінними, що описані нечіткими термами:

1) E = «Напруга статора»: E_1 = «Низька», E_2 = «Нормальна», E_3 = «Висока»;

2) F = «Напруга нульової послідовності»: F_1 = «Допустима», F_2 = «Недопустима»;

3) G = «Частота струму»: G_1 = «Низька», G_2 = «Нормальна», G_3 = «Висока».

Дані діагностичні параметри обрані для оцінки технічного стану, так як їх кількісне значення можна отримати в процесі експлуатації дизель-генератора без виведення його у ремонт.



Вихідні величини нечітких моделей першого рівня є ідентичними та описуються трьома нечіткими термами: «Д» - добрий, «С» - середній, «П» - поганий. Отримані величини є вхідними змінними для моделі другого рівня. Вихідна величина моделі загального технічного стану дизель-генератора, що визначається на другому рівні, описується п'ятьма нечіткими термами, де «ДД» - дуже добрий, «Д» - добрий, «С» - середній, «П» - поганий, «ДП» - дуже поганий. Прийняті нечіткі терми відповідають стандартній шкалі якісних оцінок Харрінгтона [5, 6].

Виходячи з наявних вхідних та вихідних нечітких термів, що описують технічний стан дизель-генератора формується база правил прийняття рішення. Дана база правил встановлює логічні зв'язки між «причинами» та «наслідками» нечітких термів моделі [7]. «Причинами» описуються вхідні лінгвістичні змінні моделі, а «наслідками» - вихідні величини. Сформована за допомогою експерта база правил оцінки технічного стану дизельного двигуна наведена в таблиці 1, синхронного генератора – в таблиці 2, загального технічного стану дизель-генератора – в таблиці 3.

Таблиця 1 – База правил технічного стану дизельного двигуна

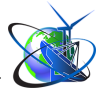
B = B₁ D = D₁		C₁	C₂	C₃	B = B₁ D = D₂		C₁	C₂	C₃
	A₁	П	С	П		A₁	П	П	П
	A₂	С	Д	С		A₂	П	Д	С
	A₃	С	С	С		A₃	П	С	П
B = B₂ D = D₂		C₁	C₂	C₃	B = B₂ D = D₁		C₁	C₂	C₃
	A₁	П	П	П		A₁	П	П	П
	A₂	П	С	П		A₂	С	Д	С
	A₃	П	С	П		A₃	П	С	П

Авторська розробка

Таблиця 2 – База правил технічного стану синхронного генератора

F = F₁		G₁	G₂	G₃	F = F₂		G₁	G₂	G₃
	E₁	П	С	П		E₁	П	П	П
	E₂	П	Д	П		E₂	П	С	П
	E₃	П	С	П		E₃	П	П	П

Авторська розробка



Таблиця 3 – База правил оцінки загального технічного стану дизель-генератора

$S_1 \setminus S_2$	Д	С	П
Д	ДД	Д	П
С	Д	С	П
П	П	П	ДП

Авторська розробка

Для формування ФП, що кількісно характеризують приналежність значень діагностичних параметрів нечітким термам проводиться опитування експертів на підставі оцінок яких визначається кількісне значення ступеню приналежності дискретного значення вхідної величини нечіткому терму:

$$\mu(x) = \frac{n_i}{m}, \quad (1)$$

де m – загальна кількість опитуваних експертів, n_i – кількість експертів, що дали позитивну відповідь.

Результати опитування $m = 8$ експертів представлено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати опитування експертів та ступені приналежності нечітких термів

Технічний стан дизельного двигуна								
Н _{ол} – «Рівень оливи»								
Н _{ол} , мм		25	30	35	40	45	50	55
К-сть відповідей	Н _{ол} = «Низький»	8	8	7	0	0	0	0
Ст. приналежності		1	1	0,875	0	0	0	0
К-сть відповідей	Н _{ол} = «Нормальний»	0	0	1	8	8	6	0
Ст. приналежності		0	0	0,125	1	1	0,75	0
К-сть відповідей	Н _{ол} = «Високий»	0	0	0	0	0	2	8
Ст. приналежності		0	0	0	0	0	0,25	1
t _{охл} - «Температура охолоджувальної рідини»								
t _{охл} , °C		60	70	80	90	100		
К-сть відповідей	t _{охл} = «Нормальна»	8	8	5	0	0		
Ст. приналежності		1	1	0,625	0	0		
К-сть відповідей	t _{охл} = «Висока»	0	0	3	8	8		
Ст. приналежності		0	0	0,375	1	1		
U _{акб} – «Напруга акумуляторної батареї»								
U _{акб} , В		24,5	25,0	25,5	26,0	26,5		
К-сть відповідей	U _{акб} = «Низька»	5	0	0	0	0		
Ст. приналежності		0,625	0	0	0	0		
К-сть відповідей	U _{акб} = «Нормальна»	3	8	5	2	0		
Ст. приналежності		0,375	1	0,625	0,25	0		
К-сть відповідей	U _{акб} = «Висока»	0	0	3	6	8		
Ст. приналежності		0	0	0,375	0,75	1		



dB - «Рівень шуму»								
dB, дБ		90	95	100	105	110		
К-сть відповідей	dB = «Нормальний»	8	8	4	0	0		
Ст. приналежності		1	1	0,5	0	0		
К-сть відповідей	dB = «Високий»	0	0	4	8	8		
Ст. приналежності		0	0	0,5	1	1		
Технічний стан синхронного генератора								
U _{сг} – «Напруга статора»								
U _{сг} , В		370	380	390	400	410	420	
К-сть відповідей	U _{сг} = «Низька»	8	2	0	0	0	0	
Ст. приналежності		1	0,25	0	0	0	0	
К-сть відповідей	U _{сг} = «Нормальна»	0	6	8	8	2	0	
Ст. приналежності		0	0,75	1	1	0,25	0	
К-сть відповідей	U _{сг} = «Висока»	0	0	0	0	6	8	
Ст. приналежності		0	0	0	0	0,75	1	
3U ₀ - «Напруга нульової послідовності»								
3U ₀ , В		0	5	10	15	20		
К-сть відповідей	3U ₀ = «Допустима»	8	8	7	0	0		
Ст. приналежності		1	1	0,875	0	0		
К-сть відповідей	3U ₀ = «Недопустима»	0	0	1	8	8		
Ст. приналежності		0	0	0,125	1	1		
f – «Частота струму»								
f, Гц		49,25	49,5	49,75	50,0	50,25	50,5	50,75
К-сть відповідей	f = «Низька»	8	8	3	0	0	0	0
Ст. приналежності		1	1	0,375	0	0	0	0
К-сть відповідей	f = «Нормальна»	0	0	5	8	5	0	0
Ст. приналежності		0	0	0,625	1	0,625	0	0
К-сть відповідей	f = «Висока»	0	0	0	0	3	8	8
Ст. приналежності		0	0	0	0	0,375	1	1

Авторська розробка

За отриманими результатами виконується побудова функцій приналежності нечітких термів вхідних величин (рис.2).

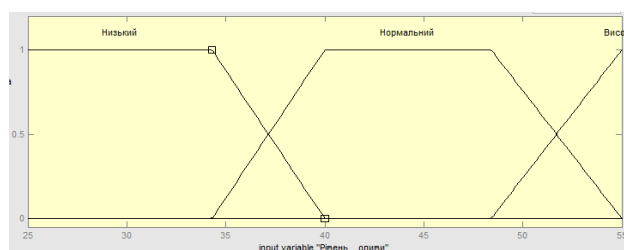


Рисунок 2 – ФП нечітких термів змінної «Рівень оливи»

Авторська розробка



Рисунок 3 – ФП нечітких термів змінної «Температура охолоджувальної рідини»

Авторська розробка

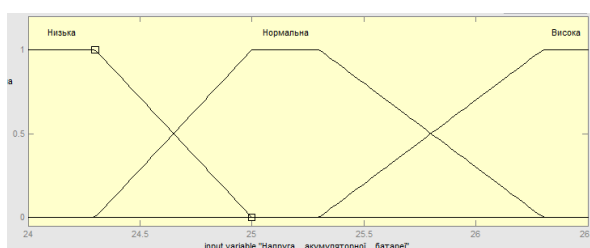


Рисунок 4 – ФП нечітких термів змінної «Напруга акумуляторної батареї»

Авторська розробка

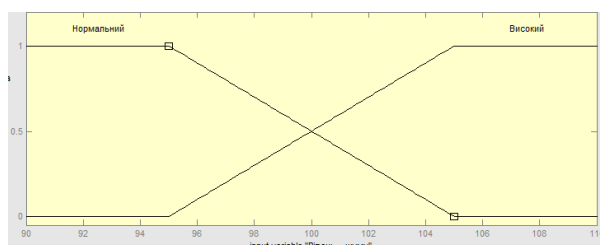


Рисунок 5 – ФП нечітких термів змінної «Рівень шуму»

Авторська розробка

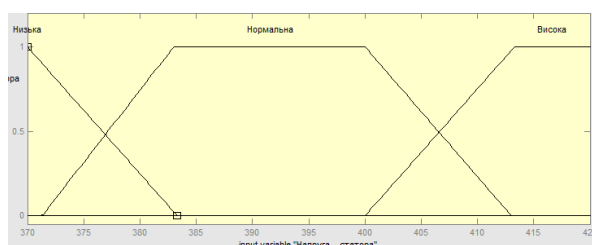


Рисунок 6 – ФП нечітких термів змінної «Напруга статора»

Авторська розробка

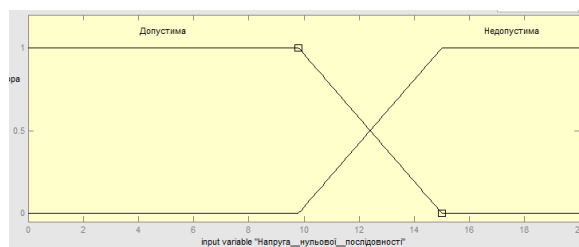


Рисунок 7 – ФП нечітких термів змінної «Напряга нульової послідовності»

Авторська розробка

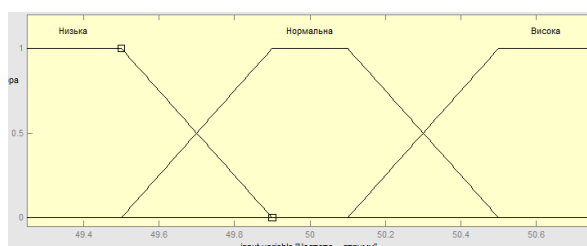


Рисунок 8 – ФП нечітких термів змінної «Частота струму»

Авторська розробка

Терми вихідних змінних визначено за інтервалами стандартної шкали Харрінгтона [6]:

- Д = «добрий» $\in [0,5; 1,0]$;
- С = «середній» $\in [0,2; 0,8]$;
- П = «поганий» $\in [0; 0,5]$,

Побудовані ФП вихідної змінної нечітких моделей першого рівня представлені на рис.9.

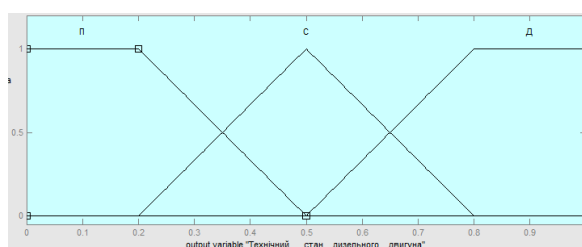


Рисунок 9 – ФП вихідних нечітких термів змінних «Технічний стан дизельного двигуна» та «Технічний стан синхронного генератора»

Авторська розробка



Отримані вихідні нечіткі змінні моделей першого рівня, є вхідними змінними для нечіткої моделі другого рівня. Терми вихідних змінних також визначено за інтервалами стандартної шкали Харрінгтона [6]:

- ДД = «Дуже добрий» $\in [0,72; 1,0]$;
- Д = «Добрий» $\in [0,5; 0,9]$;
- С = «Середній» $\in [0,28; 0,72]$;
- П = «Поганий» $\in [0,1; 0,5]$;
- ДП = «Дуже поганий» $\in [0,0; 0,28]$;

та представлені на рис.10.

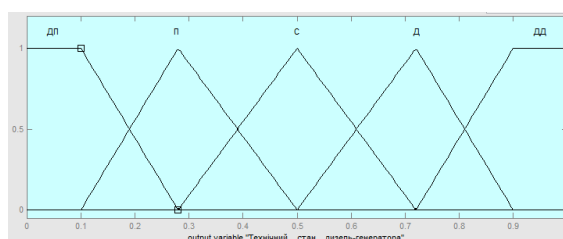


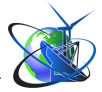
Рисунок 10 – ФП вихідних нечітких термів нечіткої моделі другого рівня

Авторська розробка

Отриманий в процесі моделювання результат є кількісною оцінкою технічного стану дизель-генератора за яким оцінюється його якісний технічний стан відповідно до інтервальної шкали Харрінгтона [6].

Отримане кількісне значення технічного стану дизель-генератора використовується для оцінки імовірності відмови конкретної одиниці обладнання на інтервалі часу, а саме для уточнення безумовної імовірності відмови дизель-генератора, що визначається за статистичною інтегральною функцією імовірності відмов дизель-генераторів.

Побудова функції розподілу імовірності відмови дизель-генератора виконується на основі статистичних даних щодо відмов дизель-генераторів протягом досліджуваного визначеного періоду. Значення функції розподілу імовірності відмови дизель-генератора $f(t)$ по роках визначається за виразом:



$$f(t_i) = \frac{n_i}{\sum n_i}, \quad (2)$$

де n_i – кількість відмов за визначений період (рік), $\sum n_i$ – сумарна кількість відмов протягом всього часу спостереження.

Інтегральна функція розподілу імовірності відмов дизель-генераторів $F(t)$ будується на підставі отриманої функції $f(t)$ за наступним виразом:

$$F(t_i) = F(t_{i-1}) + f(t_i); \quad i = 1, \dots, n; \quad (3)$$

де n – кількість років спостереження.

Апріорна (безумовна) імовірність відмови дизель-генератора на інтервалі часу $\Delta t = F(t_2) - F(t_1)$ з урахуванням працездатного стану дизель-генератора в момент часу t_1 визначається за отриманою інтегральною функцією $F(t)$ [8]:

$$p(H_1) = \frac{F(t_2) - F(t_1)}{1 - F(t_1)} \quad (4)$$

де $F(t_1)$ та $F(t_2)$ визначені з графіку $F(t)$ для моментів часу t_1 та t_2 .

Апріорна (безумовна) імовірність безвідмовної роботи дизель-генератора на інтервалі часу Δt визначається як [8]:

$$p(H_2) = 1 - p(H_1) \quad (5)$$

Для визначення умовної імовірності підтвердження технічного стану S при відмові обладнання на інтервалі часу $p(B/H_1)$ виконується максимізація композиція матриці причинних відносин X та вектору станів Y_p . Для цього, за методом Сааті [9] будуються матриці причинних відносин R_P та R_Q . Розв'язок на інтервалі приналежності визначається за формулою:

$$Y_{P0} = \frac{\sum_{i=1}^{10} P_{Pi} \cdot Y_P}{\sum_{i=1}^{10} P_{Pi}} \quad (6)$$

Тоді, величина умовної імовірності $p(B/H_1)$:

$$p(B/H_1) = Y_{Pi \min} + Y_{P0} \cdot (Y_{Pi \max} - Y_{Pi \min}) \quad (7)$$

Аналогічно визначається умовна імовірність підтвердження технічного стану S при безвідмовній роботі обладнання на інтервалі часу $p(B/H_2)$ за виразами (6) та (7). З урахуванням загального технічного стану дизель-генератора імовірність його відмови на інтервалі часу Δt становить [8]:

$$p(H_1/B) = \frac{p(H_1) \cdot p(B/H_1)}{p(H_1) \cdot p(B/H_1) + p(H_2) \cdot p(B/H_2)} \quad (8)$$



За отриманим результатом можна зробити висновок про надійність роботи дизель генератора та його спроможність підвищити живучість мережі ВП електростанцій з урахуванням його фактичного технічного стану.

Приклад.

Необхідно визначити технічний стан та імовірність відмови дизель-генератора, що підключений до мережі вузла ВП гідроелектростанції (ГЕС) та виконує функцію резервування живлення обладнання агрегатних власних потреб. Для цього значення вимірних параметрів в процесі експлуатації дизель-генератора задаються в моделі, що реалізована у середовищі Matlab Simulink. Реалізацію моделі представлено на рисунку 11.

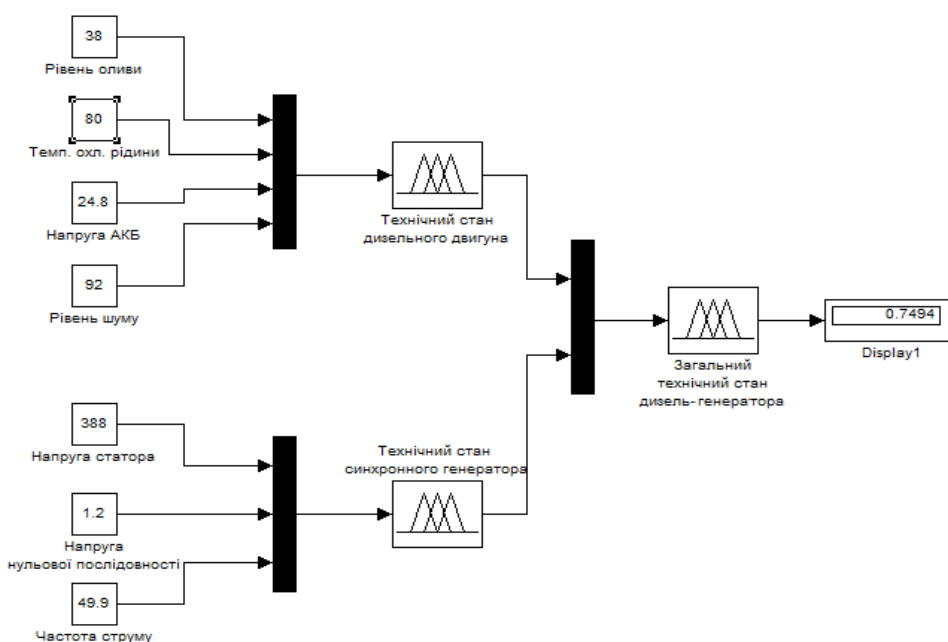
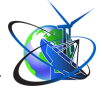


Рисунок 11 – Нечітка модель оцінки технічного стану дизель-генератора в середовищі Matlab

Авторська розробка

Вихідні параметри та результат моделювання технічного стану дизель-генератора представлені у таблиці 5.

Отримана при моделюванні оцінка технічного стану дизель-генератора за інтервальною шкалою Харрінгтона відповідає значенню «Добрий».

**Таблиця 5 – Моделювання технічного стану дизель-генератора**

Параметри моделювання	Значення
Рівень оливи, H_{OL} , мм	38
Температура охолоджувальної рідини, t_{OHL} , °C	80
Напруга акумуляторної батареї, U_{AKB} , В	24,8
Рівень шуму, dB , дБ	92
Напруга статора, U_{CG} , В	388
Напруга нульової послідовності, $3U_0$, В	1,2
Частота струму, f , Гц	49,9
Технічний стан дизель-генератора, S , в. о.	0,7494

Авторська розробка

Побудова функції імовірності розподілу відмови виконується за даними статистичних спостережень щодо відмов дизель генераторів протягом 12 років [2]. За виразом (2) визначається значення функції $f(t)$. Результати представлені у таблиці 6.

Таблиця 6 – Значення функції розподілу імовірності відмов по роках

Рік	Кількість відмов	Значення функції $f(t)$	Значення інтегральної функції $F(t)$
0	0	0	0
1	9	0,106	0,106
2	13	0,153	0,259
3	2	0,024	0,282
4	7	0,082	0,365
5	14	0,165	0,530
6	2	0,024	0,553
7	7	0,082	0,635
8	2	0,024	0,659
9	4	0,047	0,706
10	8	0,094	0,800
11	8	0,094	0,894
12	9	0,106	1,000

Авторська розробка

За отриманими статистичними даними будується інтегральна функція розподілу імовірності відмови $F(t)$ дизель генераторів (рис.12).

Апріорна імовірність відмови дизель-генератора на інтервалі часу $\Delta t = 1$ рік, враховуючи працездатний стан дизель-генератора в момент часу t_1 визначається за (4):

$$p(H_1) = \frac{0,653 - 0,635}{1 - 0,635} = 0,049$$

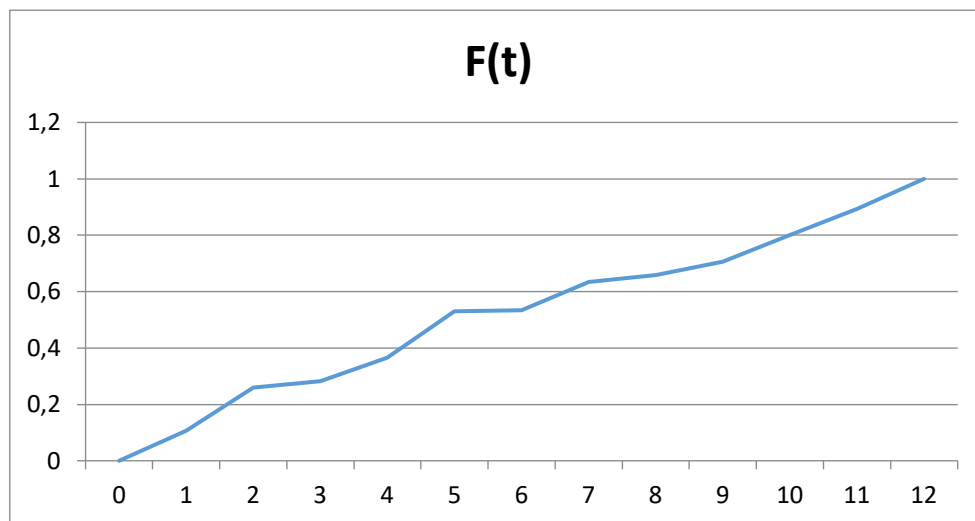


Рисунок 12 – Інтегральна функція розподілу імовірності відмови $F(t)$ дизель генераторів

Авторська розробка

Апріорна імовірність безвідмовної роботи дизель-генератора на інтервалі часу $\Delta t = 1$ рік за (5):

$$p(H_2) = 1 - 0,049 = 0,951$$

Матриця причинних відносини R_P [5, 8]:

$$R_P = R_P \circ S = \begin{bmatrix} 0,835 & 0,138 & 0,005 & 0,004 & 0,005 \\ 0,103 & 0,778 & 0,093 & 0,040 & 0,019 \\ 0,037 & 0,062 & 0,734 & 0,112 & 0,050 \\ 0,018 & 0,015 & 0,156 & 0,755 & 0,133 \\ 0,006 & 0,007 & 0,013 & 0,089 & 0,793 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,836 \\ 0,164 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,005 \\ 0,040 \\ 0,112 \\ 0,755 \\ 0,164 \end{bmatrix}$$

Визначення на інтервалі приналежності за (6):

$$Y_{P0} = \frac{0,1 \cdot 0,005 + 0,28 \cdot 0,040 + 0,5 \cdot 0,112 + 0,72 \cdot 0,755 + 0,9 \cdot 0,164}{2,5} = 0,304$$

Величина умовної імовірності відмови $p(B/H_1)$ за (7):

$$p(B/H_1) = 0,2 + 0,304 \cdot (0,36 - 0,2) = 0,248$$

Матриця причинних відносин R_Q [5, 8]:

$$R_Q = R_Q \circ S = \begin{bmatrix} 0,005 & 0,004 & 0,005 & 0,138 & 0,792 \\ 0,020 & 0,041 & 0,100 & 0,774 & 0,139 \\ 0,048 & 0,128 & 0,739 & 0,065 & 0,042 \\ 0,161 & 0,743 & 0,138 & 0,017 & 0,022 \\ 0,766 & 0,084 & 0,018 & 0,006 & 0,006 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,836 \\ 0,163 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,163 \\ 0,774 \\ 0,065 \\ 0,022 \\ 0,006 \end{bmatrix}$$

Визначення на інтервалі приналежності за (6):

$$Y_{Q0} = \frac{0,1 \cdot 0,163 + 0,28 \cdot 0,774 + 0,5 \cdot 0,065 + 0,72 \cdot 0,022 + 0,9 \cdot 0,006}{2,5} = 0,115$$



Величина умовної імовірності $p(B/H_2)$ за (7):

$$p(B/H_2) = 0,64 + 0,115 \cdot (0,8 - 0,64) = 0,658$$

Імовірність відмови дизель-генератора з урахуванням його технічного стану S на інтервалі часу $\Delta t = 1$ рік становить за (8):

$$p(H_1/B) = \frac{0,049 \cdot 0,248}{0,049 \cdot 0,248 + 0,951 \cdot 0,658} = 0,019$$

Кількісне значення імовірності відмови дизель-генератора на інтервалі часу $\Delta t = 1$ рік за шкалою Харрінгтона відповідає діапазону «Дуже низька», що підтверджує отриману за нечіткою моделлю оцінку технічного стану «Добрий» розглядуваного дизель-генератора. Отриманий результат свідчить що розглядуваний дизель генератор є надійним елементом, який при аварійній ситуації спроможний підвищити живучість мережі ВП ГЕС, та не потребує виведення у ремонт.

Висновки.

Розроблена нечітка модель оцінки технічного стану дизель-генератора дозволяє отримати кількісне значення його технічного стану за обмеженою кількістю вимірюваних он-лайн параметрів без виведення його в ремонт. За отриманою кількісною оцінкою технічного стану визначено імовірність відмови дизель-генератора, яка дозволяє прийняти рішення щодо доцільності його подальшої експлуатації, ремонту або заміни для забезпечення живучості мережі власних потреб електростанції при зовнішніх аварійних збуреннях.

Запропонований імовірнісно-нечіткий підхід до оцінки технічного-стану дизель-генератора в подальшому можливо використати для імовірнісно-статистичного моделювання аварійних ситуацій в мережі ВП електростанцій для кількісної оцінки її живучості та ефективності заходів її підвищення.

Література:

1. Кононов Б. Т. Вибір показника для оцінювання технічного стану дизель-генератора / Б. Т. Кононов, О. І. Бондаренко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 3(52). –



C. 113-117.

2. Alzbutas R. Diesel generators reliability data analysis and testing interval optimization / R. Alzbutas // Energetika. – 2003. – Vol. 4. – P. 27-33.

3. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.

4. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка / А. В. Матвійчук. – К.: КНЕУ, 2011. – 439 с.

5. Літвінов В. В. Визначення слабких елементів мережі власних потреб ГЕС в умовах багатокритеріального вибору / В. В. Літвінов, І. Г. Котелевська // Гідроенергетика України. – 2017. – № 1-2. – С. 48-55.

6. Ременников В. Б. Управленческие решения / В. Б. Ременников. Минск: Юнити, 2005. – 144 с.

7. Ракитянська Г. Б. Побудова класифікаційної нечіткої бази знань на основі трендових правил і оберненого виведення / Г. Б. Ракитянська // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. - №1/3 (73). – С. 25-32.

8. Костерев М. В. Оцінка імовірності відмови електрообладнання при керуванні режимами електричної системи / М. В. Костерев, Є. І. Бардик, В. В. Літвінов // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер.: «Електротехніка і енергетика». – Вип. 11 (186). – Донецьк, 2011. – С. 199–204.

9. Saaty T. L. Eigenvector and logarithmic least squares / T. L. Saaty // Eur. J. Oper. Res. – 1990. – 48, N1. – P. 156-160.

Abstract. The article considers the problem of diesel-generator technical state complex estimation in the condition of analytical relation absence between the diagnostic parameters, which possible for measure without removing the equipment to repair. Two-level fuzzy model for diesel-generator technical state estimation based on the Mumdany type model was developed. Obtained quantity technical state estimation uses for the diesel-generator fault probability definition and making the solution about its next exploitation.

Keywords: diesel-generator, power plant, auxiliaries, fuzzy-model, technical state, fault probability.

Статтю надіслано: 10.10.2025 р.

© Стецюра О. С., Башлій С. В., Літвінов В. В.