УДК 621.3.011

М. В. КОСТЕРЄВ [1] (д-р техн. наук, проф.), **Є. І. БАРДИК** [1] (канд. техн. наук, проф.)
В. В. ЛІТВІНОВ [2] (канд. техн. наук)
[1] **Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**
[2] **Запорізька державна інженерна академія**
v.v.litvinov1985@mail.ru

НЕЧІТКО-СТАТИСТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ТА РЕЖИМНОЇ НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ПІДСИСТЕМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

В статті запропоновано новий підхід до оцінювання експлуатаційної та режимної надійності об'єктів підсистем ЕЕС на прикладі асинхронного двигуна, який поєднує у собі імовірнісні методи та засоби нечіткої логіки. Розроблено метод визначення імовірності відмови асинхронного двигуна на інтервалі часу з урахуванням його технічного стану та режиму підсистеми ЕЕС.

Ключові слова: надійність, ризик, імовірність відмови, асинхронний двигун, підсистема ЕЕС, технічний стан, імовірнісно-статистичне моделювання.

На теперішній час в електроенергетичному комплексі України існує протиріччя між управлінням режимами роботи підсистем електроенергетичної системи (ЕЕС) та реальним технічним станом (ТС) обладнання: в більшості випадків режими встановлюються без урахування фактичної працездатності обладнання, що може призвести до недостовірності оцінки надійності функціонування підсистем ЕЕС. Прийняття достовірних рішень для забезпечення надійності підсистем ЕЕС вимагає комплексного підходу, який би враховував наступне [1]:

- випадковість відмов елементів підсистеми ЕЕС;
- стохастичний характер режиму підсистеми ЕЕС;
- можливий сценарій розвитку аварійної ситуації;
- неповноту та нечіткість вхідної інформації;
- економічні, матеріальні, екологічні та ін. наслідки.

В цих об'єктивно існуючих умовах прийняття достовірних рішень щодо підвищення надійності функціонування підсистеми ЕЕС може бути досягнуто шляхом класифікації елементів підсистеми за рівнем впливу на надійність при вирішенні наступних задач [2]:

- планування технічного обслуговування і ремонтів при обмеженому фінансуванні з урахуванням приналежності електрообладнання до певних класів, що визначені за ознаками важливості для експлуатаційної надійності та безпеки;
- ведення режиму роботи обладнання підсистем з урахуванням акцентованого розподілу уваги в залежності від приналежності до певних класів за ознаками важливості для забезпечення надійності режиму.

Метою кластеризації об'єктів підсистеми ЕЕС є розбиття вибірки на групи схожих об'єктів за рівнем впливу на надійність електропостачання та виявлення слабких об'єктів. При цьому виникає задача оцінювання найбільш інформативних ознак, що характеризують експлуатаційну та режимну надійність окремих об'єктів, таких як ризик відмови об'єкту на інтервалі часу. В даній роботі запропоновано підхід до оцінювання ризику відмови об'єкта на прикладі асинхронного двигуна (АД).

Ризик відмови об'єкта у підсистемі ЕЕС включає в себе імовірність відмови об'єкта та її наслідки. За детермінованого підходу до оцінювання ризику відмови об'єкта імовірність його відмови умовно приймається рівною одиниці. При цьому в якості розрахункового обирається найбільш несприятливий сценарій розвитку аварії [3]. До переваг детермінованого підходу слід віднести відносну простоту його застосування та високий рівень завершеності рішення задач оцінювання ризику відмови об'єкта. До недоліків відносяться: неврахування ефекту імовірності відмови об'єкта та не визначення подій та умов відмови об'єкта. Як наслідок, рішення, які ґрунтуються на детермінованому підході, можуть визначити суттєво занижену або завищену величину ризику, що призведе до прийняття необґрунтованих рішень.

На відміну від детермінованого підходу, імовірнісний підхід дозволяє враховувати імовірності відмови обладнання, а також дає можливість кількісно описувати аварійну ситуацію завдяки визначенню відповідних показників наслідків аварій, що забезпечує більш глибокий підхід до оцінки надійності підсистеми ЕЕС з двигуновим навантаженням.

Імовірнісний підхід до оцінювання ризику відмови АД у підсистемі ЕЕС на інтервалі часу значною мірою залежить від достовірності визначення імовірності відмови кожної одиниці електрообладнання, яке входить до складу енергосистеми. Для визначення ризику порушення технологічного процесу через відмову АД треба знати імовірність його відмови на інтервалі часу. В якості відмов АД розглядаються наступні події:

- вихід з ладу через пошкодження одного або декількох вузлів (відмова через погіршення ТС);
- відмова через виникнення аварійного режиму в підсистемі ЕЕС (порушення статичної або динамічної стійкості, аварійне відключення вимикача, робота пристроїв релейного захисту (РЗ), тощо).

© Костерєв М.В., Бардик Є.І., Літвінов В.В., 2013

Для оцінювання імовірності відмови об'єкта, в тому числі АД, на інтервалі часу через його пошкодження необхідно враховувати його ТС. Визначення ТС АД представляє собою складну задачу яка вирішується в умовах обмеженої кількості діагностичних параметрів, які можна вимірювати або спостерігати без виведення АД в ремонт та відсутності математичного зв'язку між ними. Виходячи з цих умов, в [1] запропоновано використання нечітких методів та моделей для оцінки стану об'єктів підсистеми ЕЕС.

Імовірність відмови двигуна на інтервалі часу з урахуванням його ТС $p(H_1 / B)$ визначається за теоремою Байєса за розробленим у [1] методом оцінювання імовірності відмови електрообладнання. Використання експертних оцінок, нечітких моделей та композиційного правила Заде для визначення імовірності відмови двигуна на інтервалі часу обумовлене відсутністю адекватних математичних моделей оцінювання стану електрообладнання, зокрема АД.

Для визначення імовірності відмови АД на інтервалі часу через погіршення його ТС $p(H_1 / B)$ необхідно знати функцію розподілу імовірності відмови конкретного двигуна з урахуванням його індивідуальних характеристик. Для формування цієї функції використовуються:

- статистична інтегральна функція розподілу імовірності відмови АД $F(t)$, побудована за статистичними даними про відмови АД даного типу [4];
- нечітка модель для оцінювання загального ТС АД S за даними про стани локальних вузлів, які можна отримати без відключення АД;
- матриці нечітких співвідношень між ТС АД S та умовними імовірностями $p(B / H_1)$ (підтвердження гіпотези «відмова на інтервалі часу» наявністю ТС S) та $p(B / H_2)$ (підтвердження гіпотези «безвідмовна робота на інтервалі часу» наявністю ТС S).

При визначенні імовірності режимної відмови АД доцільно застосувати імовірнісно-статистичне моделювання (ІСМ) [5]. При цьому імовірність відмови двигуна через виникнення аварійного режиму визначається як:

$$p(H_1 / D) = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

де D - подія яка означає виникнення аварійного режиму в підсистемі ЕЕС; N - загальна кількість реалізацій схеми ІСМ; n - кількість реалізацій схеми ІСМ у яких відбулась відмова двигуна при тому що мала місце подія D.

Отримані імовірності $p(H_1 / B)$ та $p(H_1 / D)$ є умовними імовірностями відмови АД на інтервалі часу з урахуванням його технічного стану та режиму підсистеми ЕЕС відповідно. Події B та D є незалежними та сумісними при такому їх визначенні. Таким чином, імовірність відмови АД на інтервалі часу з урахуванням його ТС та режиму підсистеми ЕЕС визначиться за теоремою складання імовірностей сумісних подій [6]:

$$p(H_1 / B, D) = p(H_1 / B) + p(H_1 / D) - p(H_1 / B) \cdot p(H_1 / D). \quad (2)$$

Формування нечіткої моделі для оцінювання ТС АД здійснюється за загальним підходом до побудови нечітких моделей електрообладнання, представленим в [1].

Основними вузлами АД, які, згідно зі статистичними даними [4, 7], найбільш часто пошкоджуються є: підшипники, ізоляція обмотки статора, стрижні обмотки ротора, вал.

Технічний стан кожного з перерахованих вузлів можна визначити за наступними параметрами та інформативними ознаками, які можна виміряти або спостерігати без відключення двигуна:

- температура обмотки статора (ОС) – дозволяє виконати оцінку залишкового ресурсу ізоляції ОС [8];
- температура підшипників – дозволяє визначити залишковий ресурс підшипників [8, 9];
- фазні струми АД – наявність несиметрії струмів статора АД є однією з ознак несиметрії магнітного поля, що спричинена обривом стрижнів ротора або пошкодженнями ізоляції ОС [10, 11];
- шуми та вібрації під час роботи двигуна – підвищена вібрація та наявність сторонніх шумів при роботі двигуна дуже часто є наслідком неякісного центрування валу АД або дефектів підшипників та дозволяють зробити висновок про стан обертових частин АД [9].

В нечітку модель для оцінювання загального ТС АД введені такі вхідні лінгвістичні змінні:

- A = «Спрацьований ресурс ізоляції ОС» з термами A_1 = «Припрацювальний», A_2 = «Допустимий», A_3 = «Відпрацьований»;
- B = «Спрацьований ресурс підшипників» з термами B_1 = «Припрацювальний», B_2 = «Допустимий», B_3 = «Відпрацьований»;
- C = «Несиметрія фазних струмів» з термами C_1 = «Низька», C_2 = «Висока»;
- D = «Рівень шуму та вібрації» з термами D_1 = «Низький», D_2 = «Високий».

Кількісні значення спрацьованих ресурсів ізоляції ОС та підшипників АД визначаються за [8], коефіцієнту несиметрії струмів АД – за [10], рівня шуму та вібрації – за шкалою Харрінгтона. Функції приналежності нечітких термів вхідних змінних будуються на основі експертних оцінок, оброблених за методом парних порівнянь Сааті.

В якості вихідної лінгвістичної змінної нечіткої моделі прийнято величину S = «Загальний спрацьований ресурс АД» з термами VB = «Дуже великий», B = «Великий», M = «Середній», S = «Малий», VS = «Дуже малий». Функції приналежності нечітких термів вихідної змінної будуються на інтервалах стандартної шкали Харрінгтона.

База правил прийняття рішень нечіткої моделі складається з якісних правил типу «ЯКЩО-ТО» і формується експертом. Виходячи з такого способу побудови бази правил, нечіткий вивід організовується за алгоритмом Мамдані. База правил приведена в табл.1.

Для визначення умовних імовірностей $p(B/H_1)$ та $p(B/H_2)$ за даними про ТС АД S, який визначено за нечіткою моделлю, сформовано матриці нечітких співвідношень R_P та R_Q. Для побудови матриць застосовано метод Сааті з використанням повної (100-бальної) шкали відносної переваги Харрінгтона. Отримані матриці R_P та R_Q приведені в табл.2, 3.

Таблиця 1 – База правил прийняття рішень

I_2 / W	C_1			C_2		
	R_{ISO} / R_{POD}	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
D_1	B_1	VS	S	B	M	M	VB
	B_2	S	M	B	M	B	VB
	B_3	B	B	VB	VB	VB	VB
D_2	B_1	S	M	VB	B	B	VB
	B_2	M	M	VB	B	VB	VB
	B_3	VB	VB	VB	VB	VB	VB

Таблиця 2 – Матриця нечітких співвідношень R_P

R_P	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
y_{P1}	0,85	0,093	0,004	0,004	0,005
y_{P2}	0,082	0,837	0,064	0,036	0,018
y_{P3}	0,04	0,05	0,815	0,078	0,044
y_{P4}	0,022	0,014	0,105	0,802	0,109
y_{P5}	0,006	0,007	0,012	0,08	0,825

Таблиця 3 – Матриця нечітких співвідношень R_Q

R_Q	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
y_{P1}	0,005	0,004	0,004	0,116	0,835
y_{P2}	0,02	0,031	0,07	0,811	0,103
y_{P3}	0,048	0,091	0,815	0,054	0,037
y_{P4}	0,106	0,808	0,097	0,014	0,02
y_{P5}	0,82	0,076	0,014	0,005	0,005

Імовірність режимної відмови АД в підсистемі ЕЕС визначається за наступним алгоритмом.

1) Формується множина M, елементами якої є події, які означають режимну відмову розглядуваного АД (порушення статичної або динамічної стійкості, відмова вимикача АД, робота пристроїв РЗ, тощо).

2) Формується клас елементів підсистеми ЕЕС (вимикачі, трансформатори, ЛЕП) N з якого виділяється підклас елементів N_1, відмова яких може призвести до виникнення події з множини M.

3) Визначається множина значень загальних ТС об'єктів S_1 з підкласу N_1 за допомогою нечітких моделей оцінки ТС обладнання.

4) За інтегральними функціями розподілу імовірності відмови обладнання відповідного типу $F(t)$ визначаються імовірності відмови та безвідмовної роботи елементів з підкласу N_1 в момент часу t_1.

5) За допомогою матриць нечітких співвідношень R між ТС об'єктів $\overline{S}_i$ та умовними імовірностями їхньої відмови та безвідмовної роботи $\overline{P}_i$ за максмінною композицією визначаються умовні імовірності $p_i(B/H_1)$ та $p_i(B/H_2)$, $i = 1,...,n_1$.

6) За формулою Байєса визначається множина імовірностей відмов окремих одиниць електрообладнання на інтервалі часу Δt з урахуванням їхніх фактичних ТС.

7) Виконується уточнення інтегральних функцій розподілу імовірності відмови для кожної одиниці обладнання з підкласу N_1 на інтервалі часу Δt з урахуванням індивідуальних характеристик:

$$F_{\text{уі}}(t_2) = F_i(t_1) + p_i(\Delta t),\ i = 1,...,n_1. \quad (3)$$

8) За допомогою генератора випадкових чисел (ГВЧ) обирається елемент, який, з урахуванням власних

індивідуальних характеристик, відмовить першим на інтервалі $[t_1;t_2]$.

9) Розглядається відповідна резервна схема живлення вузла навантаження з відповідальним двигуном в залежності від того, який з елементів підкласу N_1 відмовив першим на інтервалі $[t_1;t_2]$.

10) З відомого зі статистичних даних розподілу значень напруги у вузлі приєднання розглядуваної підсистеми до ЕЕС за допомогою ГВЧ визначається значення напруги у вузлі приєднання підсистеми в момент спостереження як імовірність появи величини напруги в залежності від її тривалості:

$$p(U_i) = Random\ [0;1] \rightarrow U_i;\ \ i = 1,..., k\ . \tag{4}$$

11) Розраховуються перехідний та усталений режими підсистеми ЕЕС за визначених умов та проводиться аналіз отриманих результатів щодо виникнення події з множини M (відмова АД).

12) Пункти 8 – 11 алгоритму оцінки імовірності режимної відмови двигуна реалізуються k разів.

13) З отриманої множини K режимів вузла навантаження з відповідальним двигуном виділяється підмножина режимів K_1 у яких спостерігалась подія з множини M.

14) Визначається імовірність відмови двигуна через порушення стійкості (тобто режимна відмова $p(H_1 / D)$) як співвідношення кількості режимів k_1, за яких спостерігалась та чи інша подія з множини M до загальної кількості розрахованих режимів k:

$$p(H_1 / D) = \frac{k_1}{k}\ . \tag{5}$$

Приклад. За розробленим методом, визначити імовірність відмови на інтервалі часу $\Delta t = 3$ міс двигуна АД1 у підсистемі ЕЕС, представленій на рис.1. При періодичному огляді без відключення від мережі визначені наступні значення діагностичних ознак: кількість відпрацьованих моточасів $T = 11260$ *год*; робоча температура ізоляції ОС $\theta_{OC} = 129\ ^0C$; робоча температура ізоляції підшипників $\theta_{П} = 98\ ^0C$; фазні струми статора $I_A = 251\ A$, $I_B = 224\ A$, $I_C = 235\ A$; рівень шуму та вібрації $W = 0{,}2$ *в.о.* (за шкалою Харрінгтона).

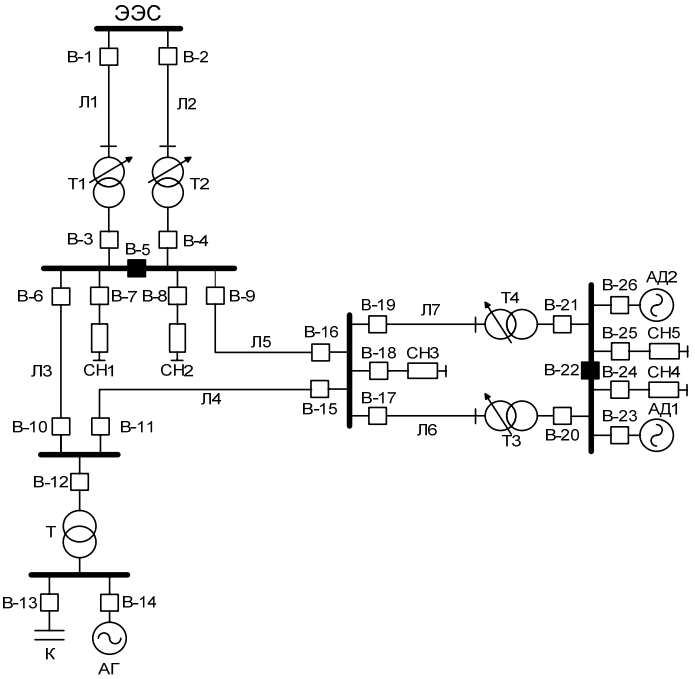

Рисунок 1 – Схема підсистеми ЕЕС

Значення спрацьованого ресурсу ізоляції ОС та підшипників визначається за $\Delta\theta$ - градусним правилом [8]:

спрацьований ресурс ізоляції ОС:

$$R_{ISO} = \frac{T}{T_0} e^{\frac{\theta_{OC} - \theta^0_{OC}}{\Delta\theta}} = \frac{11260}{20000} e^{\frac{129-130}{15{,}385}} = 0{,}528\ ; \tag{6}$$

спрацьований ресурс підшипників:

$$R_{POD} = \frac{T}{T_0} e^{\frac{\theta_{П} - \theta^0_{П}}{\Delta\theta}} = \frac{11260}{20000} e^{\frac{98-100}{15{,}385}} = 0{,}494\ . \tag{7}$$

Рівень несиметрії фазних струмів визначається за методом симетричних складових:

$$I_{2,\%} = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100 = \frac{7{,}8}{237{,}7} \cdot 100 = 3{,}28\ \%. \quad (8)$$

За побудованою нечіткою моделлю визначається загальний спрацьований ресурс двигуна АД1 (рис.2):

$$S_{АД1} = \varphi(R_{ISO\ АД1}, R_{POD\ АД1}, I_{2\ АД1}, W_{АД1}) = \varphi(0{,}528;\ 0{,}494;\ 3{,}28;\ 0{,}2) = 0{,}586. \quad (9)$$

АД1 знаходиться в експлуатації 15 міс. Зі статистичної функції $F(t)$ [4] визначаються значення $F(t_1)$ та $F(t_2)$ для обох двигунів ($t_2 = t_1 + \Delta t = t_1 + 3$):

$$F(t_1) = F(15) = 0{,}48,\ F(t_2) = F(18) = 0{,}563. \quad (10)$$

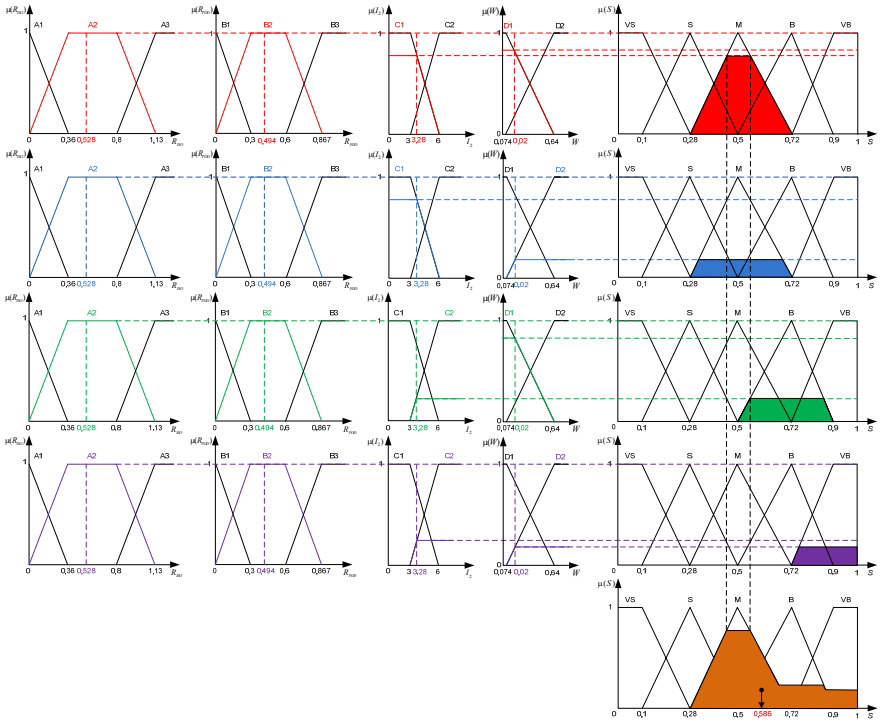

Рисунок 2 – Оцінка ТС АД1 за алгоритмом Мамдані

Двигун на момент часу t_1 знаходився у працездатному стані, таким чином імовірності $p(H_1)$ та $p(H_2)$ визначаються за [1]:

$$p(H_1) = \frac{F(t_2) - F(t_1)}{1 - F(t_1)} = \frac{0{,}563 - 0{,}48}{1 - 0{,}48} = 0{,}16;\ p(H_2) = 1 - p(H_1) = 1 - 0{,}16 = 0{,}84. \quad (11)$$

Умовні імовірності $p(B/H_1)$ та $p(B/H_2)$ визначаються на інтервалах шкали Харрінгтона з використанням композиційного правила Заде:

$$p(B/H_1) = 0{,}543;\ p(B/H_2) = 0{,}406. \quad (12)$$

За формулою Байєса визначаються імовірності відмови двигунів АД1 на інтервалі часу $\Delta t = 3$ міс:

$$p(H_1/B) = \frac{p(H_1) \cdot p(B/H_1)}{p(H_1) \cdot p(B/H_1) + p(H_2) \cdot p(B/H_2)} = \frac{0{,}16 \cdot 0{,}543}{0{,}16 \cdot 0{,}543 + 0{,}84 \cdot 0{,}406} = 0{,}203. \quad (13)$$

Для визначення імовірності режимної відмови двигуна АД1 $p(H_1/D)$ за запропонованим вище алгоритмом, виконано 250 реалізацій схеми ІСМ підсистеми ЕЕС двигуном АД1. Підклас елементів N_1, відмова яких може привести до режимної відмови двигунів склали:

- вимикачі *В1-В4, В6, В9-В11, В15, В16, В17, В19, В20, В21, В23, В26*;
- трансформатори *Т1-Т4*;
- лінії *Л1-Л7*.

При відмові цих елементів можливі наступні сценарії розвитку аварії у підсистемі, за яких порушується робота АД1 (події з множини M):

- порушення статичної стійкості АД1;
- порушення динамічної стійкості АД1;

- відключення АД1 від мережі (при відмові В23).

За результатами ІСМ виявлено 13 режимів у яких спостерігалась відмова АД1. Таким чином імовірність режимної відмови двигуна на інтервалі часу $\Delta t = 3$ міс складає:

$$p(H_1 / D) = \frac{13}{250} = 0{,}052 . \quad (14)$$

Імовірність відмови двигуна АД1 на інтервалі часу $\Delta t = 3$ міс з урахуванням ТС та режиму підсистеми визначається за формулою складання імовірностей незалежних подій:

$$p(H_1 / B, D) = p(H_1 / B) + p(H_1 / D) - p(H_1 / B) \cdot p(H_1 / D) = \\ = 0{,}203 + 0{,}052 - 0{,}203 \cdot 0{,}052 = 0{,}244. \quad (15)$$

За отриманими результатами можна зробити наступні **висновки:**

1) розроблено нечітко-статистичний підхід до оцінювання експлуатаційної та режимної надійності електрообладнання, який реалізовано на прикладі АД. Визначення імовірності відмови АД на інтервалі часу виконується з урахуванням його ТС та режиму підсистеми ЕЕС, який дозволяє визначити імовірності відмови АД в умовах багатьох невизначеностей, таких як випадковість відмов обладнання, стохастичний характер режиму підсистеми ЕЕС, сценарій розвитку аварії та її наслідки, обмеженість вхідної інформації, тощо;

2) в умовах відсутності адекватного математичного опису процесів, що відбуваються у АД, для оцінки його ТС розроблено нечітку модель, яка дозволяє виконати експрес-оцінку стану двигуна з використанням його параметрів та характеристик, які можна отримати без відключення двигуна від мережі;

3) для отримання більш повної оцінки імовірності режимної відмови АД на інтервалі часу доцільно розширити множину сценаріїв розвитку аварії за яких відбувається відмова АД. Розширення цієї множини можна досягти врахуванням відключень АД через відмови кабелю, дії пристроїв РЗ та перевантажень при дефектах у механічній частині об'єкту;

4) подальший розвиток даної роботи полягає в узагальненні розробленого підходу до оцінювання режимної надійності об'єктів підсистем ЕЕС, розробленні методів кластеризації об'єктів підсистеми ЕЕС за рівнем впливу на надійність електропостачання та у розробленні методів виявлення слабких об'єктів підсистеми ЕЕС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Літвінов В.В. Оцінка ризику порушення стійкості двигунового навантаження при відмовах електрообладнання в підсистемі ЕЕС: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: спец.: 05.14.02 – електричні станції, мережі та системи / В.В. Літвінов. – К, 2012. – 20 с.

2. Костерєв М.В. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем / М.В. Костерєв, Є.І. Бардик. - К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 131 с.

3. Демкин И.В. Управление инновационным риском на основе имитационного моделирования / И.В. Демкин // Проблемы анализа риска. – 2005. - Т. 2, № 3. — С. 249–300.

4. Власов А.Б. Статистический анализ повреждений электрооборудования портальных кранов / А.Б. Власов, Е.А. Мухин // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – №1. – С. 23–27.

5. 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.

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

7. Thorsen O. A survey of faults on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminal, and oil refineries / O. Thorsen, M. Dalva // IEEE Transactions on Industry Applications. – Sept./Oct. 1995. – Vol. 31, №5. – P. 1186–1196.

8. Назарычев А.Н. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / А.Н. Назарычев, Д.А. Андреев. - Иваново: ИГЭУ, 2005. – 224 с.

9. Типовая инструкция по эксплуатации электродвигателей в установках собственных нужд электростанций: СО 34.45.509–2005. - М., 2005. – 55 с.

10. Полковниченко Д.В. Послеремонтная оценка технического состояния короткозамкнутых асинхронных электродвигателей / Д.В. Полковниченко // Электротехника и электромеханика. – 2005. – № 1. – С. 59–62.

11. Васьковський Ю.М. Несиметричні режими роботи короткозамкнених асинхронних двигунів власних потреб гідроелектростанцій / Ю.М. Васьковський, Ю.А. Гайденко // Гідроенергетика України. – 2006. – № 4. – С. 31–36.

REFERENCES

1. Litvinov V.V. *Otsinka ryzyku porushennya stijkosti dvygunovogo navantazennya pry vidmovah oblanannya v pidsystemi EES* [Risk assessment of motor-load stability loosing due to electrical equipment refusal in EPS subsystem]. Kyiv: NTUU "KPI", 2012. 20 p.

2. Kosterev M.V., Bardyk Ye.I. *Pytannya pobudovy nechitkyh modelej otsinky tehnichnogo stanu ob'ektiv elektrichnyh system* [Questions of fuzzy-models for electrical systems objects technical stuff estimation building]. Kyiv: NTUU "KPI", 2010. 131 p.

3. Demkin I.V. Management of innovative risk on the basis of simulation modeling. *Problemy analiza riska*. 2005; №3; Vol.2: 249-300.

4. Vlasov A.B., Muhin E.A. Statistical analysis of portal cranes electrical equipment faults. *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tehnika i tehnologiya*. 2011; №1: 23-27.

5. Sitnikov V.F., Scopintsev V.A. Probabilistic-statistical approach to the appreciation of electrical grids equipment resources at the exploitation. *Elektrichestvo*. 2007; №11: 9-15.

6. Kosterev M.V., Bardyk Ye.I., Litvinov V.V. Appreciation of electrical equipment fault probability in controlling of electrical system regimes. *Naukovi pratsi DonNTU. Ser.: Elektrotehnika i energetika.* 2011; №11 (186): 199-204.

7. Thorsen O. Dalva M. A survey of faults on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminal, and oil refineries. *IEEE Transactions on Industry Applications.* Vol. 31. Sept./Oct. 1995. №5. 1186-1196.

8. Nazarychev A.N. Andreev D.A. *Metody i matematicheskie modeli kompleksnoj otsenki tehnicheskogo sostoyaniya elekrooborudovaniya* [Methods and mathematical models of complex estimation of electrical equipment technical stuff]. Ivanovo: IGEU, 2005. 224 p.

9. SO 34.45.509–2005. *Tipovaya instruktsiya po ekspluatatsii elektrodvigatelej v ustanovkah sobstvennyh nuzd elektrostantsij*. Moskva, 2005. 55 p.

10. Polkovnichenko D.V. Afterrepearing appreciation of technical stuff squirrel cage induction motors. *Elektrotehnika i electromehanika*. 2005; №1: 59-62.

11. Vaskovskiy Yu.N., Gajdenko Yu.A. Non-symmetrical regimes of squirrel cage induction motors at hydro power plants auxiliaries. *Gidroenergetika Ukrainy*. 2006; №4: 31-36.

Надійшла до редакції 17.03.2013 *Рецензент: О.П. Ковальов*

Н. В. КОСТЕРЕВ [1], Е. И. БАРДИК [1], В. В. ЛИТВИНОВ [2]
[1] Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
[2] Запорожская государственная инженерная академия

Нечетко-статистический подход к оцениванию эксплуатационной и режимной надежности объектов подсистем электроэнергетической системы. В статье предложен новый поход к оцениванию эксплуатационной и режимной надежности объектов подсистем ЭЭС на примере асинхронного двигателя, который объединяет в себе вероятностные методы и средства нечеткой логики. Разработан метод определения вероятности отказа асинхронного двигателя на интервале времени с учетом его технического состояния и режима подсистемы ЭЭС.
Ключевые слова: надежность, риск, вероятность отказа, асинхронный двигатель, подсистема ЭЭС, техническое состояние, вероятностно-статистическое моделирование.

N. KOSTEREV [1], Y. BARDYK [1], V. LITVINOV [2]
[1] National technical university of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute"
[2] Zaporizhzhia State Engineering Academy

Fuzzy-Statistical Approach to the Exploitation and Regime Reliability Estimation of EPS Subsystem Objects. At present time in power system complex of Ukraine there is a contradiction between electrical power system (EPS) regimes and real technical conditions of equipment: in most cases regimes are installed without accounting the teal stuff of equipment. This can lead to the falsity estimation of EPS reliability. In these objective conditions, the adoption of reliable solutions for the increasing the reliability of EPS operates can be achieved by the clustering of EPS subsystem by the influence level on the reliability. In this paper we proposed the new approach to the risk estimation of object failure. As example of object induction motor is used. Risk of object fault in EPS subsystem includes fault probability and fault consequence. For the object fault probability estimation it is necessary to take into consideration its real technical stuff. Induction motor fault probability at the time interval with the account of its technical condition $p(H_1 / B)$ is determined by Bayes theorem according to the developed method of electrical equipment fault probability estimation. For the regime fault probability estimation of induction motor $p(H_1 / D)$ it is expedient to use probabilistic-statistical methods and models. Obtained probabilities $p(H_1 / B)$ and $p(H_1 / D)$ are the conditional probabilities of induction motor fault at the time interval with the account of its technical stuff and EPS subsystem regime respectively. Events B and D are independent and compatible under this definition. So, induction motor fault probability at the time interval with the account of its technical stuff and EPS subsystem regime is determined according to the probabilities addition theorem. According to the developed method we determined the induction motor AD1 fault probability at the time interval 3 months in EPS subsystem scheme.
Key words: reliability, risk, fault probability, induction motor, EPS subsystem, technical stuff, probabilistic-statistical modeling.