

УДК 681.325.5

ПЕЦКОВ Р.О., аспірант (ДЕТУТ)

## Математичні моделі організації комп'ютерних систем моніторингу трансформаторів на основі нечіткої логіки

*На основі апарату нечітких множин розглянуто один з варіантів визначення функцій приналежності станів обладнання і побудовано новий алгоритм моніторингової системи трансформаторного обладнання на нечіткій логіці.*

**Ключові слова:** моніторинг, трансформаторне обладнання, нечітка логіка, функції приналежності

### Постановка проблеми

Виникнення пошкоджень трансформаторного обладнання і зменшення коефіцієнту віддачі є важливою частиною проблеми якості електричної енергії та більш загального поняття ефективного електропостачання. Протягом останніх 10–15 років у зв'язку зі стрімким розвитком нових технологій, що призвели, з одного боку, до росту електроспоживання електроприймачами, які потребують якісного постачання, а з іншого – до широкого розповсюдження електронних систем моніторингу і автоматичного керування технологічними процесами.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У зв'язку з стрімким розвитком інформаційних комп'ютерних систем, проблеми вирішення питань діагностики трансформаторного обладнання розглядаються в кожній країні кожного року. В останні декілька років питанням розвитку трансформаторного обладнання в РФ займаються к.т.н. Ю.М.Савинцев, д.т.н Ковалев В.Д. і ще багато відомих науковців в даній сфері.

Враховуючи швидкий розвиток комп'ютерних систем і використання застарілого трансформаторного обладнання, можна зробити висновок про доречність і своєчасність статті.

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Зацікавленість до теорії нечітких множин постійно посилюється, про що свідчить велике зростання публікацій в цій області за останніх декілька десятків років. Нечітка логіка дозволяє за експертними знаннями швидко розробити новітній алгоритм роботи та прототип технічного пристрою з наступним ускладненням його функціональності.

Стан будь-якого обладнання оцінюють, як працездатне або ні. Апарат нечітких множин дозволяє розширити рамки нашого уявлення до безлічі станів.

В даний час склалася думка, що для більшості додатків достатньо 3 - 7 термів на кожен змінну. Мінімальне значення числа термів цілком виправдано, а число ж 7 обумовлено ємністю короткочасної пам'яті людини, в якій, за сучасними уявленнями, може зберігатися, в середньому, до семи одиниць інформації.

Приналежність кожного точного значення до одного з термів лінгвістичної змінної визначається за допомогою функції приналежності. Її вигляд може бути абсолютно довільним. На даний час сформувався поняття про так звані стандартні функції приналежності : Z, П, Л, S – функції.

Стандартні функції приналежності легко застосовуються до вирішення більшості завдань. Однак якщо належить вирішувати специфічне завдання, можна вибрати і більш відповідну форму функції приналежності

### Формулювання цілей

- Для кожного терма взятої лінгвістичної змінної знайти числове значення або діапазон значень, що найкращим чином характеризують даний терм. Так як це значення є «прототипом» нашого терма, то для них вибирається одиничне значення функції приналежності.

- Після визначення значень з одиничною приналежністю необхідно визначити значення параметра з приналежністю «0» до даного терму. Це значення може бути вибрано, як значення з приналежністю «1» до іншого терму з числа визначених раніше.

- Після визначення екстремальних значень потрібно визначити проміжні значення. Для них вибираються П- Л- S- або Z-функції з числа стандартних функцій приналежності.

- Синтезувати нечіткий алгоритм визначення стану обладнання.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Таблиця 1

Практичне використання теорії нечітких множин припускає наявність функцій приналежності, якими описуються лінгвістичні терми "низький", "середній", "високий" і т.п.

Завдання побудови функцій приналежності поставимо так: дано дві безлічі - безліч термів  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$  (тангенс кута діелектричних втрат) і універсальної множини  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  (вміст вологості в трансформаторному маслі).

Значення тангенса кута діелектричних втрат (tgδ) нормується для температури 20°C, тому вимірювання слід проводити при температурах, близьких до нормованої. У цьому діапазоні температур зміна діелектричних втрат невелика. Але температурні режими експлуатації досягають навіть більше 90°C. Допустимо значення тангенса кута діелектричних втрат для трансформаторів різної потужності різна в нашому дослідженні припустимо що  $tg \delta = \{0;1\}$  і розділимо даний проміжок на терми.

Для опису станів трансформаторного обладнання використаємо 6 термів, які опишемо як ідеальний, нормальний, роботоздатний, перехідний, передкритичний, критичний.

Припустимо що температура трансформаторного масла рівна 50°C.

Отже нечітка множина  $\tilde{l}_j$ , якою описується лінгвістичний терм  $l_j$ ,  $j = \overline{1, m}$  на універсальній множині  $U$  представляється у вигляді

$$\tilde{l}_j = \left( \frac{\mu_j(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_j(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_j(u_n)}{u_n} \right) \quad (1)$$

Необхідно визначити степені приналежностей елементів множини  $U$  до елементів з множини  $L$ , тобто знайти  $\mu_j(u_i)$  для всіх  $j = \overline{1, m}$  і  $i = \overline{1, n}$ .

Розглянемо один з методів визначення функції приналежності, який заснований на статистичній обробці висновків групи експертів [3].

Для кожного експерта, в області обслуговування трансформаторного обладнання видається анкета.

Зразок таблиці, що заповнюють експерти

експерт №__	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
ідеальний	0 або 1				
нормальний					
роботоздатний					
перехідний					
передкритичний					
критичний					

Експертам також повідомляється середнє значення температури трансформаторного масла, в нашому випадку температура дорівнює 50°C, але досліджувати систему можливо і додавши температурний режим.

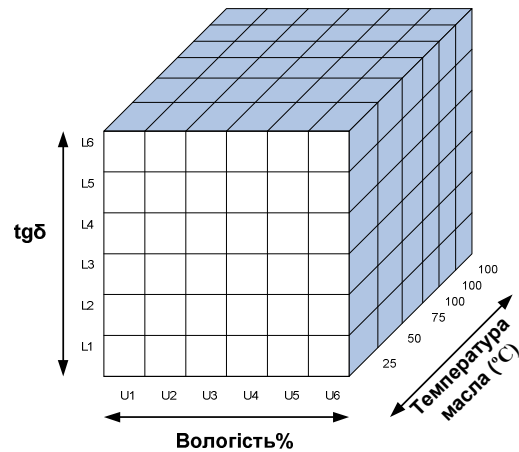


Рис. 1. Залежність кута діелектричних втрат і вологості масла від температури масла

Кожен експерт в даній таблиці висказує свою думку про наявність у елементів  $u_i (i = \overline{1, n})$

властивостей нечіткої множини  $\tilde{l}_j (j = \overline{1, m})$ .

$U_1=(0;0,002)$ ,  $U_2=(0,002;0,010)$ ,  $U_3=(0,010;0,014)$ ,  $U_4=(0,014;0,018)$ ,  $U_5=(0,018;0,025)$  і  $U_6=(0,025; \infty)$  проміжки значення вологості в маслі у відсотках.

Введемо наступні позначення:

$K$  – кількість експертів;

$b_{j,i}^k$  – висновок  $K$ -того експерта про наявність у елемента  $u_i$  властивостей нечіткої множини  $\tilde{l}_j$ ,

$k = \overline{1, K}$ ,  $j = \overline{1, m}$  і  $i = \overline{1, n}$ .

Будемо рахувати що оцінки експертів бінарні, тобто:  $b_{j,i}^k \in \{0,1\}$ , де 1(0) вказує на наявність

Таблиця 2

(відсутність) у елемента  $u_i$  властивостей нечіткої множини  $\tilde{l}_j$ .

По результатам опитування експертів, степені приналежності нечіткій множині  $\tilde{l}_j (j = \overline{1, m})$  розраховуються наступним чином:

$$\mu_j(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1, K} b_{j,i}^k \quad (2)$$

$i = \overline{1, n}$ .

Результати обробки експертних висновків представлені в таблиці 2.

Результати обробки експертних висновків

експерти (6 чол.)	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
ідеальний	6/1	1/0,16	0/0	0/0	0/0
нормальний	5/0,83	3/0,5	0/0	0/0	0/0
роботоздатний	2/0,33	4/0,66	3/0,5	0/0	0/0
перехідний	0/0	4/0,66	4/0,66	1/0,16	0/0
передкритичний	0/0	0/0	2/0,33	5/0,83	1/0,16
критичний	0/0	0/0	0/0	5/0,83	6/1

Числа перед дробовою лінією - це кількість голосів, відданих експертами за приналежність нечіткій множині відповідного елемента універсальної безлічі. Числа після дробової лінії - степінь приналежності, розрахована за формулою 2.

Побудуємо графіки по отриманим значенням.

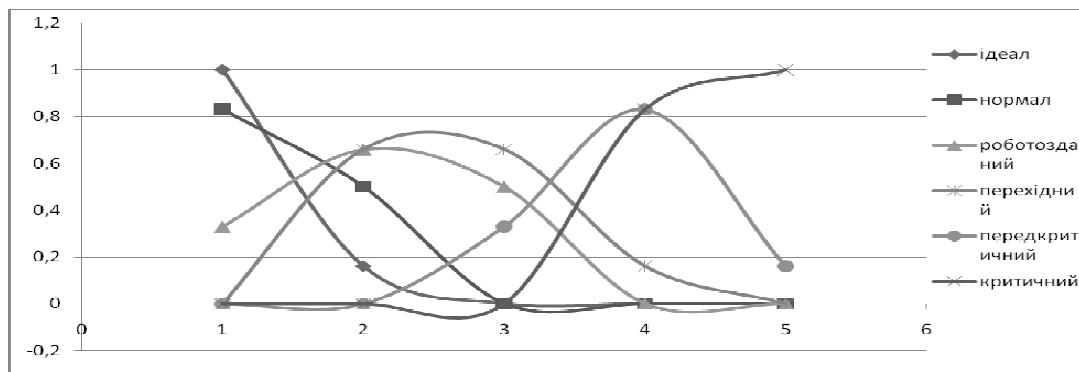


Рис. 2. Функції приналежності

З результатів обробки експертних висновків та з отриманих графіків синтезуємо нечіткий алгоритм обробки інформації.

Для зручності опису правил введемо нову змінну степені приналежності  $\mu_j(u_i) = S$ .

Отже правила формування відповіді можливо описати в наступному вигляді:

- Правило 1: if  $0 < U < 0,002$  and  $S = 1$  then Stan = «ідеальний»  
or  $0,002 < U < 0,010$  and  $S=0.16$  then Stan = «ідеальний»
- Правило 2: if  $0 < U < 0,002$  and  $S = 0.83$  then Stan = «нормальний»  
or  $0,002 < U < 0,010$  and  $S=0.5$  then Stan = «нормальний»
- Правило 3: if  $0 < U < 0,002$  and  $S = 0.33$  then Stan = «роботоздатний»  
or  $0,002 < U < 0,010$  and  $S=0.66$  then Stan = «роботоздатний»  
or  $0,010 < U < 0,014$  and  $S=0.5$  then Stan = «роботоздатний»
- Правило 4: if  $0,002 < U < 0,010$  and  $S = 0.66$  then Stan = «перехідний»  
or  $0,010 < U < 0,014$  and  $S=0.66$  then Stan = «перехідний»  
or  $0,014 < U < 0,018$  and  $S=0.16$  then Stan = «перехідний»
- Правило 5: if  $0,010 < U < 0,014$  and  $S = 0.33$  then Stan = «передкритичний»  
or  $0,014 < U < 0,018$  and  $S=0.83$  then Stan = «передкритичний»  
or  $0,018 < U < 0,025$  and  $S=0.16$  then Stan = «передкритичний»
- Правило 6: if  $0,014 < U < 0,018$  and  $S = 0.83$  then Stan = «критичний»  
or  $0,018 < U < 0,025$  and  $S=1$  then Stan = «критичний»
- Правило 7: if  $0,025 < U$  and  $S = 1$  then Stan = «ERR»

При співпаданні лінгвістичних термів алгоритм влаштований так, що обирає перше значення з визначених.

При перевищенні значень понад норму, або помилка в системі, Stan = «ERR».

В даному випадку розглядається конкретний приклад з вказаним числом експертів і числом лінгвістичних термів тому степені приналежності вказуються конкретним значенням.

Число експертів та число термів під час обрахунків змінювати не дозволяється, дані зміни

ведуть до неправильних висновки, або помилки ПО.

Як ми бачимо, даний алгоритм представляє собою нечіткий, покроково описаний варіант реалізації моніторингової системи тягового трансформаторного обладнання.

Запропонована система моніторингу є гнучкою та досить зручною, вона дозволяє вносити корективи, а для більш точного висновку є можливість додавати нові висновки експертів, та нові показники, що впливають на стан обладнання.

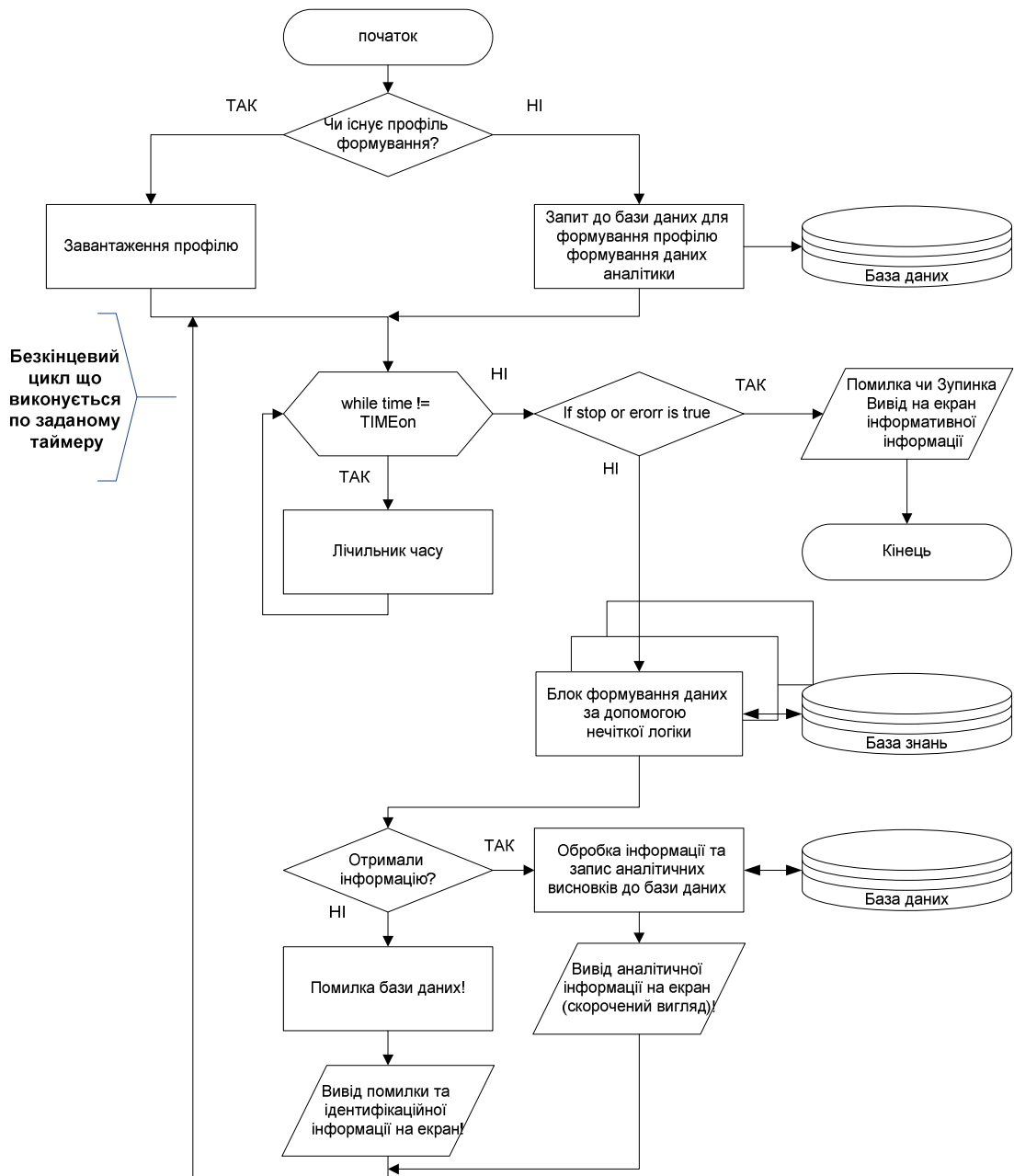


Рис. 3. Алгоритм роботи моніторингової системи

**Висновки з даного дослідження і перспективи**

Для кожного терма взятої лінгвістичної змінної знайдено числове значення або діапазон значень, що найкращим чином характеризують даний терм. Після визначення значень з одиничною приналежністю визначили значення параметра з приналежністю «0» до даного терму. Це значення може бути вибрано, як значення з приналежністю «1» до іншого терму з числа визначених раніше. Синтезувавши нечіткий алгоритм визначення стану обладнання отримали систему моніторингу трансформаторного обладнання, що виконує аналіз зчитаної інформації та визначає його функціональний стан.

Система влаштована таким чином, що інформація від кожного трансформатору, яка зчитується, записується в базу даних. Задача по аналізу обробки та оцінки стану обладнання працює в онлайн режимі кожного разу, як тільки записуються нові дані в таблиці. Пакет інформації надходить в програмний модуль порівнянь, з якого ми отримуємо результуючі дані.

Запропонований метод знаходження функцій приналежності буде корисний для отримання вихідних даних роботи з узагальненими, не чіткими випадками, аналітичними моделями при прогнозуванні стану обладнання.

**Література**

1. Савинцев Ю.М. Анализ состояния производства в РФ силовых масляных трансформаторов I-III габаритов// Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. - 2012. - №1. - С. 43-53.
2. Канарейкин А. «Умные» трансформаторы для «умной» энергетики// Энергетика и промышленность России. - 2012. - № 08 (196).
3. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. Рига: Зинатне. 1990. 184 С.
4. Zimmerman H.-J. Fuzzy Set Theory and its Applications. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1996. 315p.

**Пецов Р.О. Математические модели организации компьютерных систем мониторинга трансформаторов на основе нечеткой логики.** На основе аппарата нечетких множеств рассмотрен один из вариантов определения функций принадлежности состояний оборудования и построен новый алгоритм мониторинговой системы трансформаторного оборудования на нечеткой логике.

**Ключевые слова:** мониторинг, трансформаторное оборудование, нечеткая логика, функции принадлежности.

**Petkov R.O. Mathematical models of computer system organization for transformer monitoring based on fuzzy logic.** One of the variants to determine membership function of the equipment conditions has been considered on the basis of fuzzy-set apparatus. A new algorithm of transformer equipment monitoring system on fuzzy logic has been elaborated.

**Key words:** monitoring, transformer equipment, fuzzy logic, membership functions.

Рецензент д.т.н., профессор Тимченко Л.І. (ДЕТУТ)

*Поступила 13.02.2014г.*