

Б. В. Циганенко¹
В. В. Кирик²

ЛІНГВІСТИЧНА МОДЕЛЬ КРИТЕРІЮ ПЕРЕВЕДЕННЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НА НАПРУГУ 20 КВ

¹Національна комісія, що здійснює державне регулювання
у сферах енергетики та комунальних послуг;

²НТУ України «Київський політехнічний інститут»

Розроблено модель критерію переведення розподільної мережі на напругу 20 кВ на основі аналізу параметрів стану розподільної мережі для проведення експрес аналізу пріоритету кожної з мереж ліцензіатів з метою визначення черговості їх фінансування. За основу синтезованої моделі критерію прийнято лінгвістичне визначення пріоритету переведення розподільної мережі на напругу 20 кВ шляхом математичного відтворення нечітким логічним контролером на основі бази знань міркувань експерта, представлених лінгвістичними предикатами.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, модель критерію переведення на напругу 20 кВ, пріоритет мережі, нечітка логіка.

Вступ

Ключовим пунктом реалізації намічених Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг заходів по впровадженню в електричних мережах нового класу напруги 20 кВ, є виконання пілотних проектів, визначення ліцензіатів та черговості реалізації проектів [2]. Переведення розподільної мережі на вищий клас напруги є досить тривалим та кропітким. Насамперед, в енергосистемі необхідно визначити зони розподільних мереж для реконструкції. Для цього необхідно за технічними та економічними показниками мережі визначити пріоритет переведення на напругу 20 кВ кожної із зон. В основі визначення пріоритету необхідно використовувати певні критерії. В якості критеріїв може бути ціла низка параметрів, наприклад: інвестиції, підготовленість мережі до переведення, навантаження та тенденція його зміни, якість напруги, якість електропостачання (коефіцієнти SAIDI, SAIFI), територіальна щільність навантаження, територіальна щільність ТП (РП), наявність мережі 6 кВ, середня довжина фідерів, зношеність мережі (період роботи), режим роботи нейтралі, номінальна напруга вищого класу напруги.

Визначення пріоритету є нелінійною мультикритеріальною задачею. Установити кореляцію між наведеними параметрами та пріоритетом переведення мережі на напругу 20 кВ класичними математичними методами досить складно і практично неможливо. Закордонними вченими проводяться дослідження математичних методів та моделей оцінки стану мереж, зокрема, відомий метод мультикритеріального аналізу АНР (Analytic Hierarchy Process) [4], але він є досить складним та затратним за часом.

На сьогодні питання створення адекватної моделі критерію щодо оперативної оцінки необхідності переведення електричних мереж 6(10) кВ ліцензіатів на напругу 20 кВ залишається не вирішеним і є досить актуальним для реалізації концепції мереж напругою 20 кВ в енергосистемі України.

Мета роботи — синтез лінгвістичної моделі критерію переведення мережі на 20 кВ і процедури її реалізації, шляхом визначення числового значення пріоритету переведення розподільної мережі на напругу 20 кВ на основі нечіткого логічного аналізу множини параметрів мережі 6(10) кВ.

Синтез лінгвістичної моделі критерію доцільності переведення мережі на напругу 20 кВ полягає в виборі входних параметрів, аналізі впливу кожного з параметрів, аналізі комбінацій та кореляції їх спільного впливу і відтворенні його в правилах бази знань нечіткого логічного контролера, формуванні процедури прийняття рішення щодо пріоритету переведення мережі і коригуванню правил бази знань на основі імітаційного моделювання прийняття рішення.

Першочерговим моментом є визначення множини параметрів, які прямо або опосередковано, впливають на пріоритет переведення мережі на напругу 20 кВ, тобто вибір входних параметрів для

аналізу. Кожний з параметрів змінюється в певному діапазоні. Тому, для кожного з взятих для аналізу параметрів, необхідно визначити дійсні межі їхньої зміни, виходячи з нормативної документації, досвіду та імітаційного математичного моделювання.

Аналіз параметрів мережі є складним і інтелектуальним процесом осмислення інформації про прийняті вхідні параметри, зіставлення її з даними, отриманими з різних джерел. Результат аналізу впливає на формування правил впливу значень параметрів і характеру їх зміни на прийняття рішення щодо рівня пріоритету. За відсутності достовірного математичного опису впливу параметра на значення пріоритету, немає змоги розрахувати його конкретне значення. В такому випадку встановлюємо лінгвістичне поле достовірності пріоритету, тобто межі нечіткої множини діапазону його зміни і можливого характеру цієї зміни.

В основі прийняття лінгвістичного логічного рішення про значення пріоритету лежить розробка нечіткого логічного контролера.

Створення нечіткого логічного контролера проводилось шляхом лінгвістичного представлення діапазонів зміни вхідних параметрів нечіткими змінними та їх математичним описом функціями належності, які в правилах відтворюють вплив параметра на вихідні лінгвістичні нечіткі змінні пріоритету, які також математично описані функціями належності. Оскільки ми задаємося мінімальним і максимальним значеннями показника пріоритету, то результатом дефазифікації є числове значення пріоритету переведення мережі на напругу 20 кВ, що знаходиться в заданих межах.

Результати дослідження

Модель критерію переведення мережі на 20 кВ на основі нечіткого логічного рішення представляється як деяка функція F від стану

$$S = \{line_6kv, time_net, length_net, load, tendency, density, SAIDI, SAIFI, population\},$$

яка ставить у відповідність кожному стану мережі деяке дійсне число пріоритету p з діапазону $[0, 10]$, через функцію належності $\mu(p)$ нечіткого логічного висновку:

$$P = F(S): P \rightarrow \{\mu(p)/p\}, \quad p \in [0, 10]. \quad (1)$$

Для аналізу стану мережі S прийнято дев'ять параметрів, які представлено відповідними лінгвістичними змінними: сумарна довжина ліній 6 кВ — $line_6kv$; період функціонування — $time_net$; середня довжина фідерів мережі — $length_net$; навантаження — $load$; тенденція зміни навантаження — $tendency$; територіальна щільність навантаження — $density_MW/km^2$; індекс середньої тривалості відключень — $SAIDI$; індекс середньої частоти відключень — $SAIFI$; населення району електропостачання — $population$.

На фізичних діапазонах лінгвістичних змінних (у відносних одиницях) розміщуємо нечіткі змінні з відповідними термами та описуємо їх функціями належності.

Лінгвістична змінна «сумарна довжина ліній 6 кВ» — $line_6kv$, представлена двома нечіткими змінними: «значна» з термом s та «не значна» — ns :

$$line_6kv = \{s, ns\}.$$

Нечіткі змінні s (типу Z) та ns (типу S) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (рис. 1):

$$\mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}, \quad (2)$$

де $a = -0,5$; $b = -0,3$; $c = 0$; $d = 1$ — для $\mu(ns)$; $a = 0$; $b = 1$; $c = 1,3$; $d = 1,5$ — для $\mu(s)$.

Лінгвістична змінна «період функціонування» — $time_net$, представлена трьома нечіткими змінними (рис. 2): «короткий» з термом k , «середній» — m та «довгий» — l :

$$time_net = \{k, m, l\}.$$

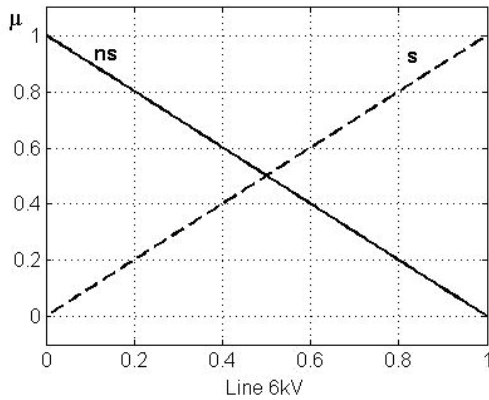


Рис. 1. Функції належності лінгвістичної змінної *line_6kv*

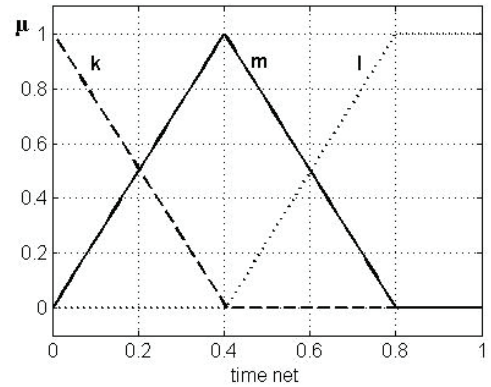


Рис. 2. Функції належності лінгвістичної змінної *time_net*

Нечіткі змінні *k* (типу *Z*) та *l* (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -0,5; b = -0,3; c = 0; d = 1$ — для $\mu(k)$ та $a = 0,4; b = 0,8; c = 1,3; d = 1,5$ — для $\mu(l)$.

Нечітка змінна *m* представлена трикутною функцією належності

$$\mu(x; a, b, c) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (3)$$

де $a = 0; b = 0,4; c = 0,8$ — для $\mu(m)$.

Лінгвістична змінна «середня довжина фідерів» – *length_net*, представлена трьома нечіткими змінними (рис. 3): «мала» з термом *sm*, «середня» — *m* та «велика» — *l*:

$$length_net = \{sm, m, l\}.$$

Нечіткі змінні *sm* (типу *Z*) та *l* (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -0,5; b = -0,3; c = 0; d = 0,5$ — для $\mu(sm)$ та $a = 0,5; b = 1; c = 1,3; d = 1,5$ — для $\mu(l)$.

Нечітка змінна *m* представлена трикутною функцією належності (3) з коефіцієнтами: $a = 0; b = 0,5; c = 1$ — для $\mu(m)$.

Лінгвістична змінна «навантаження» — *load*, представлена трьома нечіткими змінними (рис. 4): «низька» з термом *low*, «нормальна» — *n* та «висока» — *h*:

$$load = \{low, n, h\}.$$

Нечіткі змінні *low* (типу *Z*) та *h* (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -0,5; b = -0,3; c = 0; d = 0,5$ — для $\mu(low)$ та $a = 0,5; b = 1; c = 1,3; d = 1,5$ — для $\mu(h)$.

Нечітка змінна *n* представлена трикутною функцією належності (3) з коефіцієнтами: $a = 0; b = 0,5; c = 1$ — для $\mu(n)$.

Лінгвістична змінна «тенденція зміни навантаження» — *tendency*, представлена трьома нечіткими змінними (рис. 5): «негативна» з термом *n*, «нульова» — *zero* та «позитивна» — *p*:

$$tendency = \{n, zero, p\}.$$

Нечіткі змінні *n* (типу *Z*) та *p* (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -1,5; b = -1,3; c = -1; d = 0$ — для $\mu(n)$ та $a = 0; b = 1; c = 1,3; d = 1,5$ — для $\mu(p)$.

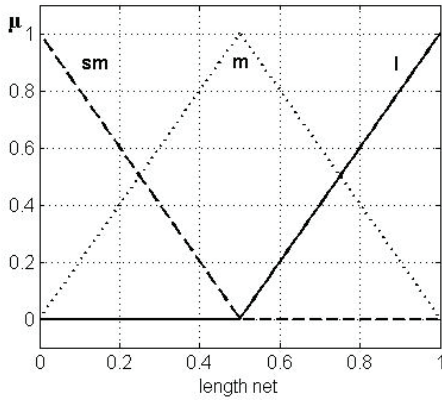


Рис. 3. Функції належності лінгвістичної змінної *length_net*

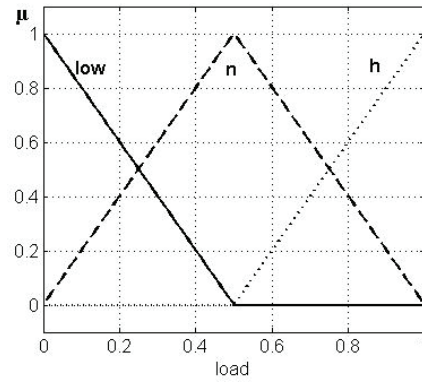


Рис. 4. Функції належності лінгвістичної змінної *load*

Нечітка змінна *zero* представлена трикутною функцією належності (3) з коефіцієнтами: $a = -0,1$; $b = 0$; $c = 0,1$ — для $\mu(zero)$.

Лінгвістична змінна «територіальна щільність навантаження» — *density_MW/km2*, представлена двома нечіткими змінними (рис. 6): «низька» з термом *low* та «висока» — *high*:

$$density_MW/km2 = \{low, high\}.$$

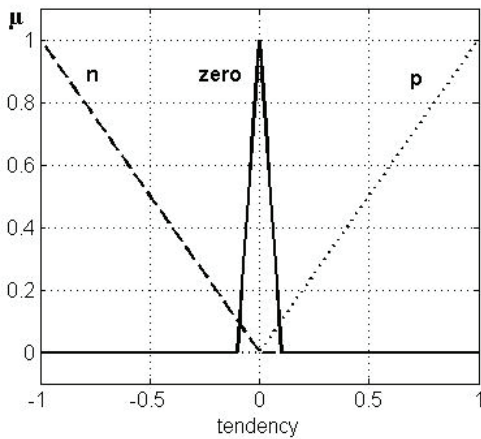


Рис. 5. Функції належності лінгвістичної змінної *tendency*

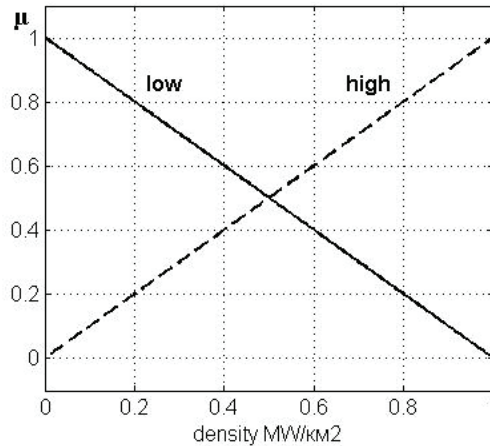


Рис. 6. Функції належності лінгвістичної змінної *density_MW/km²*

Нечіткі змінні *low* (типу *Z*) та *high* (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -0,5$; $b = -0,3$; $c = 0$; $d = 1$ — для $\mu(low)$ та $a = 0$; $b = 1$; $c = 1,3$; $d = 1,5$ — для $\mu(high)$.

Лінгвістична змінна «індекс середньої тривалості відключень» — *SAIDI*, представлена трьома нечіткими змінними (рис. 7): «нормальний» з термом *n*, «можливий» — *pos* та «критичний» — *cr*:

$$SAIDI = \{n, pos, cr\}.$$

Нечіткі змінні *n* (типу *Z*) та *cr* (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -0,5$; $b = -0,3$; $c = 0$; $d = 0,3$ — для $\mu(n)$ та $a = 0,3$; $b = 1$; $c = 1,3$; $d = 1,5$ — для $\mu(cr)$.

Нечітка змінна *pos* представлена трикутною функцією належності (3) з коефіцієнтами: $a = 0$; $b = 0,3$; $c = 1$ — для $\mu(pos)$.

Лінгвістична змінна «індекс середньої частоти відключень» — *SAIFI*, представлена двома нечіткими змінними (рис. 8): «низька» з термом *low* та «висока» — *h*: $SAIFI = \{low, h\}$.

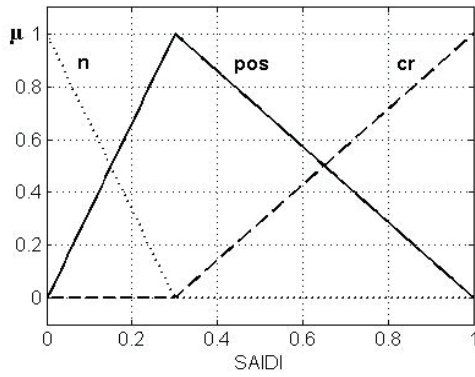


Рис. 7. Функції належності лінгвістичної змінної SAIDI

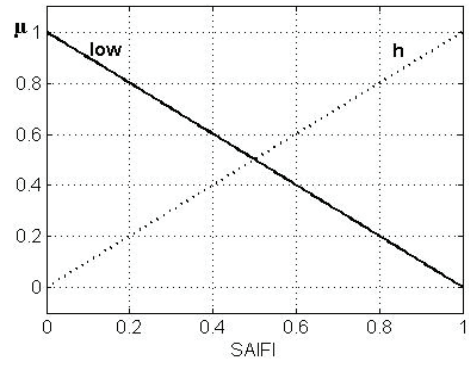


Рис. 8. Функції належності лінгвістичної змінної SAIFI

Нечіткі змінні *low* (типу *Z*) та *h* (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -0,5; b = -0,3; c = 0; d = 1$ — для $\mu(low)$ та $a = 0; b = 1; c = 1,3; d = 1,5$ — для $\mu(h)$.

Лінгвістична змінна «населення району електропостачання» — *population*, представлена двома нечіткими змінними (рис. 9): «сільське» з термом *cs* та «міське» — *urban*: $population = \{cs, urban\}$.

Нечіткі змінні *cs* (типу *Z*) та *urban* (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -0,5; b = -0,3; c = 0; d = 0,1$ — для $\mu(cs)$ та $a = 0; b = 1; c = 1,3; d = 1,5$ — для $\mu(urban)$.

Вихідна лінгвістична змінна «пріоритет переведення мережі на напругу 20 кВ» — *priority*, представлена множиною з одинадцяти нечітких числових змінних (рис. 10):

$$priority = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}.$$

Нечіткі змінні 0 (типу *Z*) та 10 (типу *S*) представлені трапецієподібними сплайн-функціями належності (2) з відповідними коефіцієнтами: $a = -0,5; b = -0,3; c = 0; d = 1$ — для $\mu(0)$ та $a = 9; b = 10; c = 13; d = 15$ — для $\mu(10)$.

Нечіткі змінні з 1 по 9 представлені трикутними функціями належності (3) з коефіцієнтами:

- $a = 0; b = 1; c = 2$ — для $\mu(1)$;
- $a = 1; b = 2; c = 3$ — для $\mu(2)$;
- $a = 2; b = 3; c = 4$ — для $\mu(3)$;
- $a = 3; b = 4; c = 5$ — для $\mu(4)$;
- $a = 4; b = 5; c = 6$ — для $\mu(5)$;
- $a = 5; b = 6; c = 7$ — для $\mu(6)$;
- $a = 6; b = 7; c = 8$ — для $\mu(7)$;
- $a = 7; b = 8; c = 9$ — для $\mu(8)$;
- $a = 8; b = 9; c = 10$ — для $\mu(9)$.

Після визначення та опису лінгвістичних змінних формуються правила функціонування нечіткого логічного контролера. Для зручності представлення правил всі функції належності *mf* лінгвістичних змінних нумеруються зліва на право в межах діапазона кожної змінної, починаючи з одиниці.

В таблиці подана початкова база знань НЛК з тридцяти правил формату:

ЯКЩО «умова з вхідних змінних», ТОДІ «рішення — вихідна змінна», (Вага).

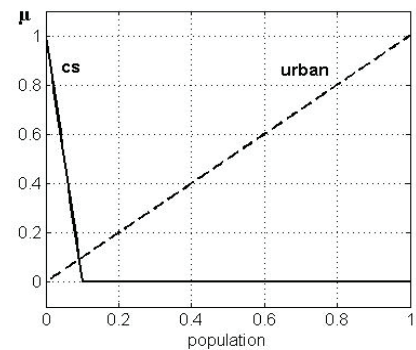


Рис. 9. Функції належності лінгвістичної змінної population

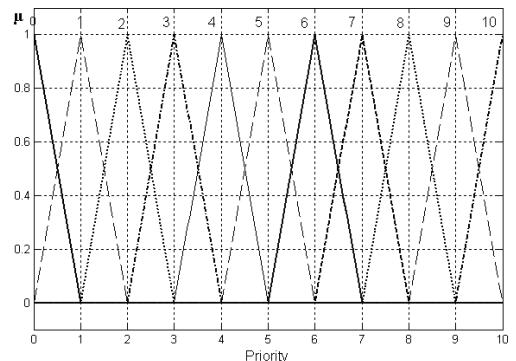


Рис. 10. Функції належності вихідної лінгвістичної змінної priority

База знань НЛК

| № | Вхідні змінні | | | | | | | | | | Вихідна змінна | Вага правила |
|----|-----------------|-----------------|-------------------|-------------|-----------------|-----------------------|--------------|--------------|-------------------|-----------------|----------------|--------------|
| | <i>line_6kv</i> | <i>time_net</i> | <i>length_net</i> | <i>load</i> | <i>tendency</i> | <i>density MW/km2</i> | <i>SAIDI</i> | <i>SAIFI</i> | <i>population</i> | <i>priority</i> | | |
| | № mf | № mf | № mf | № mf | № mf | № mf | № mf | № mf | № mf | № mf | | |
| 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 1 | |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | |
| 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | |
| 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 1 | |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | |
| 7 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | |
| 8 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 | 1 | |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 6 | 1 | |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 6 | 1 | |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 1 | |
| 24 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 0 | 11 | 1 | |
| 25 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | 1 | |
| 26 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 9 | 1 | |
| 27 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 8 | 1 | |
| 28 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 1 | |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 0 | 10 | 1 | |
| 30 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9 | 1 | |

Вхідні змінні в умовах правил об'єднані через логічний оператор «І» (AND).

Структурну схему нечіткого логічного контролера з описаними лінгвістичними змінними показано на рис. 11.

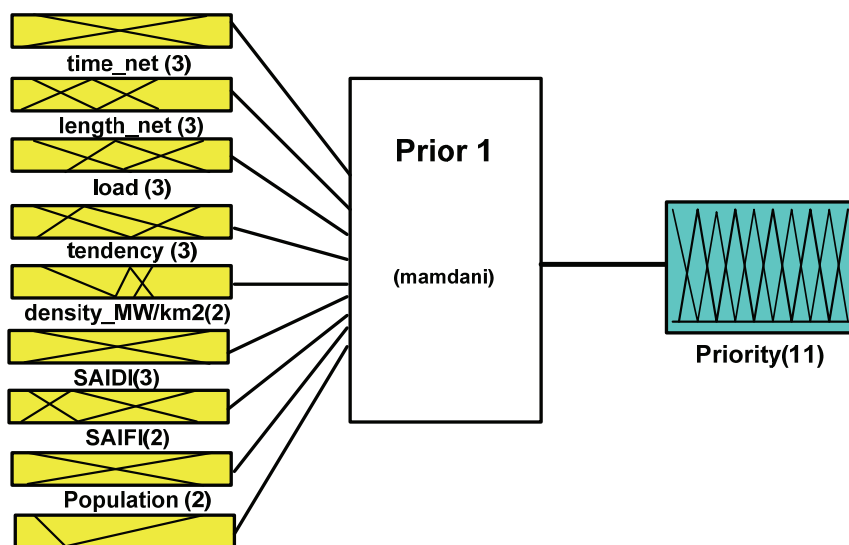


Рис. 11. Структурну схему нечіткого логічного контролера

Нечіткий логічний висновок може бути реалізований неоднозначним чином, оскільки містить у собі окремі параметри, які повинні бути фіксовані. Тим самим вибір конкретних варіантів параме-

трів кожного з етапів визначає деякий алгоритм, який у повному обсязі реалізує нечіткий висновок у системах нечітких правил.

Формування логічного рішення проводилося в три етапи. В залежності від комбінації операторів на окремих етапах логічного рішення, можна отримати різні стратегії логічного рішення. В роботі використано комбінацію операторів за алгоритмом Мамдані (Mamdani) [1, 3].

В процесі першого етапу моделювання отримано передаточні функції впливу вхідних параметрів стану мережі на пріоритет її переведення на напругу 20 кВ. Характер зміни пріоритету *priority* не відповідав реальним його залежностям від періоду функціонування мережі (*time_net*), сумарної довжини ліній 6 кВ (*line_6kv*) та характеру зміни навантаження (*tendency*). Зі збільшенням *time_net*, тобто часу функціонування мережі, пріоритет однозначно повинен збільшуватися, так як мережа з часом зношується. На поверхні відгуку не повинно бути локальних екстремумів зі збільшенням довжини ліній напругою 6 кВ, які ми отримали на поверхні. Нульова тенденція *tendency* (*zero*) зміни навантаження, викликає локальний мінімум пріоритету, чого реально не повинно відбуватися.

Для усунення неадекватного впливу на пріоритет вхідних параметрів мережі виконано вісім етапів оптимізації з модифікацією функцій належності та коригуванням існуючих і формуванням додаткових 17 правил роботи контролера. В результаті моделювання прийняття логічних рішень створено нечіткий логічний контролер для визначення числового значення пріоритету переведення розподільної мережі на напругу 20 кВ.

Після оптимізації база знань збільшилася до 47 правил.

На рис. 12—14 показані характерні залежності пріоритету від параметрів мережі.

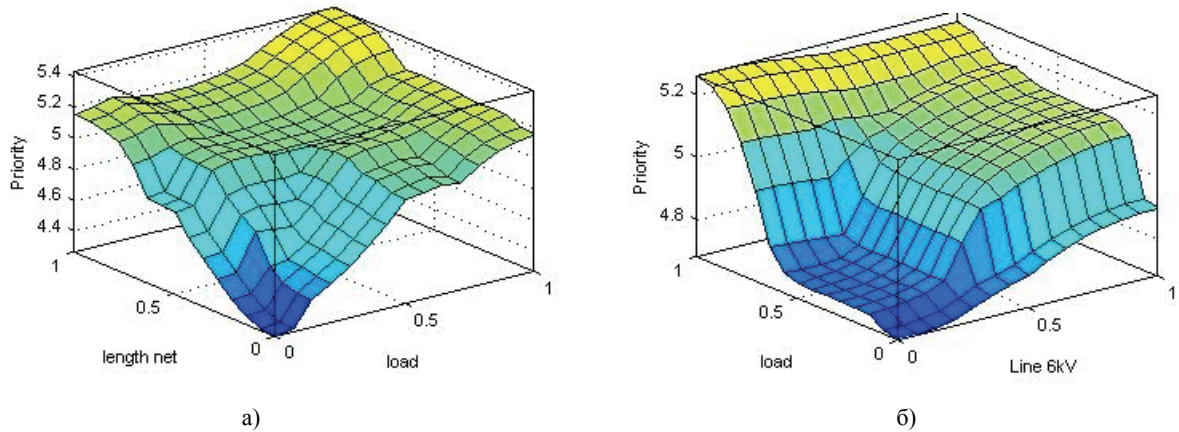


Рис. 12. Поверхні залежності пріоритету *priority* від вхідних параметрів:
а — *length_net*, *load*; б — *load*, *line_6kv*

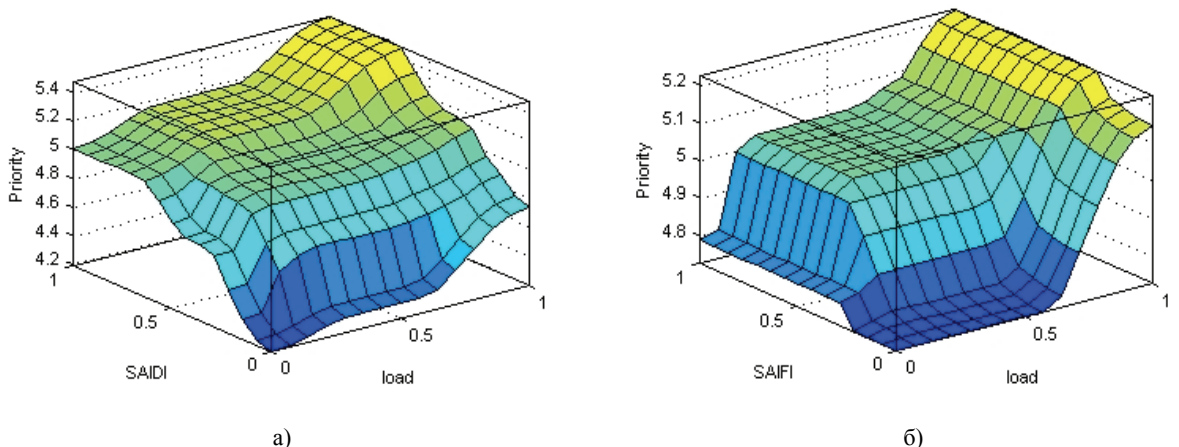


Рис. 13. Поверхні залежності пріоритету *priority* від вхідних параметрів:
а — *SAIDI*, *load*; б — *SAIFI*, *load*

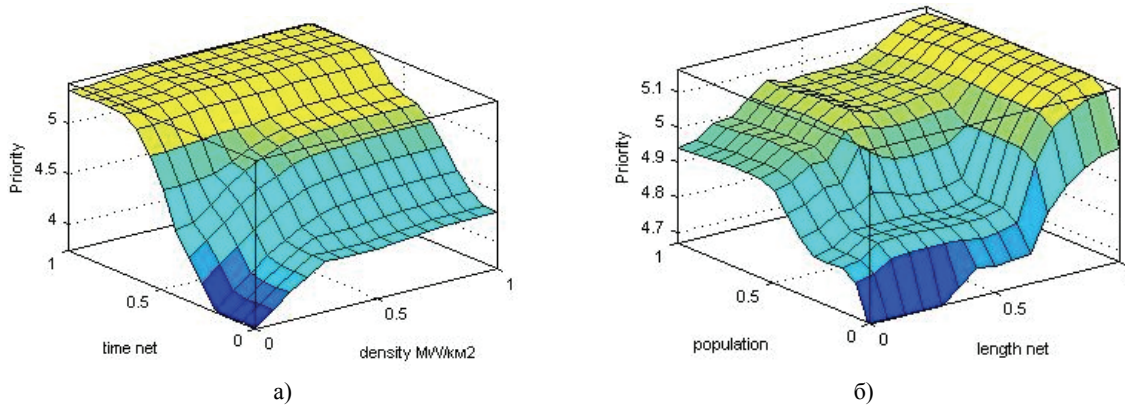


Рис. 14. Поверхні залежності пріоритету *priority* від вхідних параметрів:
а — *time_net*, *density_MW/km2*; б — *population*, *length_net*

Дослідженням встановлено, що за всіх можливих варіацій значень параметрів, які прийняті для аналізу стану мережі $S = \{line_6kv, time_net, length_net, load, tendency, density, SAIDI, SAIFI, population\}$, у заданих діапазонах їх зміни, значення функції пріоритету переведення розподільної мережі на напругу 20 кВ $P = F(S)$ змінюється в межах від 2,3 до 7,15.

Висновки

Розроблена модель критерію переведення розподільної мережі на напругу 20 кВ дозволяє на основі параметрів стану провести експрес аналіз пріоритету кожної з мереж ліцензіатів з метою визначення черговості їх фінансування.

За основу синтезованої моделі критерію прийнято лінгвістичне визначення пріоритету переведення розподільної мережі на напругу 20 кВ шляхом математичного відтворення нечітким логічним контролером міркувань експерта на основі бази знань, представлених лінгвістичними предикатами з синтаксичним та семантичним наповненням.

Установлено, що за всіх можливих варіацій значень параметрів, які прийняті для аналізу стану мережі (сумарної довжини ліній 6 кВ, періоду функціонування, середньої довжини фідерів мережі, навантаження, тенденції зміни навантаження, територіальної щільності навантаження, індексу середньої тривалості відключень, індексу середньої частоти відключень, населення району електропостачання), значення функції пріоритету переведення розподільної мережі на напругу 20 кВ $P = F(S)$ змінюється в межах значень від 2,3 до 7,15.

Аналіз результатів імітаційного математичного моделювання значень пріоритету мережі дозволив установити критичні межі пріоритету для прийняття рішення щодо переведення мережі на напругу 20 кВ:

- коли значення пріоритету в межах від 0 до 2,3, то мережа не підлягає переведенню на напругу 20 кВ;
- коли значення пріоритету в межах від 2,3 до 4,7, то мережа підлягає переведенню на 20 кВ за умови техніко-економічного обґрунтування;
- коли перевищено значення пріоритету 4,7, то мережа однозначно підлягає переведенню на напругу 20 кВ.

Установлено, що у разі варіацій параметрів мережі з прийнятими максимальними значеннями діапазонів в абсолютних величинах (сумарна довжина ліній 6 кВ становитиме 50 км; період функціонування — 50 років; середня довжина фідерів мережі — 30 км; навантаження — $0,8 P_{уст}$; тенденція зміни навантаження — $0,03 P_{уст}$; територіальна щільність навантаження — 10 МВт/км^2 ; SAIDI — 300; SAIFI — 6; населення району електропостачання — 500 тис. осіб), мережа однозначно підлягає переведенню на напругу 20 кВ у разі перевищення одним з параметрів таких значень:

- сумарна довжина ліній 6 кВ — 30 км;
- період функціонування — 35 років;
- середня довжина фідерів мережі — 18...24 км;
- навантаження — $0,8 P_{уст}$;
- територіальна щільність навантаження — 5 МВт/км^2 ;
- індекс середньої тривалості відключень SAIDI — 180;

- індекс середньої частоти відключень *SAIFI* — 3;
 - населення району електропостачання *population* — 200 тис. осіб.
- Установлено, що за одночасного перевищення значень таких параметрів:
- період функціонування — 20 років;
 - середня довжина фідерів мережі — 10 км;
 - навантаження — 0,5 *Руст*;
 - територіальна щільність навантаження — 2 МВт/км²;
 - індекс середньої тривалості відключень *SAIDI* — 60;
 - індекс середньої частоти відключень *SAIFI* — 1,2;
 - населення району електропостачання — 50 тис. осіб,
- розподільну мережу необхідно переводити на напругу 20 кВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде МАТЛАБ и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. — БХВ-Петербург, 2003. — 736 с.
2. Підвищення енергоефективності роботи електричних мереж та зменшення втрат в розподільчих мережах 6(10) кВ шляхом переходу на більш високий клас напруги 20 кВ зі зміною конфігурації мережі та концептуальних підходів до автоматизації розподільчої мережі та систем обліку електричної енергії: Протокол наради № 45/4-16 від 18.07.2016, Київ [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.nerc.gov.ua/data/filearch//Pr_narada_pidvyschen_energoefektyvnosti__roboty_energomerezh_18.07.2016.pdf
3. Щерба А. А., Кирик В. В. Системи з нечіткою логікою регулювання електроенергетичних режимів / А. А. Щерба, В. В. Кирик. — К.: Лазурит—Поліграф, 2011. — 329 с
4. ANP method in prioritizing investments in transition of MV network to 20 kV, / T. Baricevic, A. Tunjic, E. Mihalek and K. Ugarkovic // Electricity Distribution — Part 1, 2009. CIREN 2009 : 20th International Conference and Exhibition on, Prague, Czech Republic, 2009. — P. 1—4.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.10.2016

Циганенко Борис Володимирович — член Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, Київ;

Кирик Валерій Валентинович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних мереж та систем, e-mail: vkuryk@ukr.net.

Національний технічний університет України «КПІ»

B. V. Tsyganenko¹
V. V. Kyryk¹

Linguistic Model of Criterion of Transfer of Distributive Network on Voltage 20 kV

¹National Commission that carries out Government Control in the Spheres of Energy and Building Services;

²National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

There has been developed the model of criterion of transfer of the network on voltage 20 kV on the basis of the analysis of state variables of a distributive network for conducting the express analysis of priority networks of licensees for the purpose of definition sequence of their financing. For a basis of the synthesized model of criterion there has been taken the linguistic definition of a priority transfer of the distributive network on voltage 20 kV due to the mathematical reproduction by the fuzzy logic control unit of reasons on the basis of knowledge base presented by linguistic predicates.

Keywords: distributive electrical network, model of criterion transfer network on voltage 20 kV, network priority, fuzzy logic.

Tsyganenko Borys V. — Member of National Commission that carries out Government Control in the Spheres of Energy and Building Services;

Kyryk Valerii V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electric Networks and Systems, e-mail: vkuryk@ukr.net

Б. В. Циганенко¹
В. В. Кирик¹

Лингвистическая модель критерия перевода распределительной сети на напряжение 20 кВ

¹ Национальная комиссия, осуществляющая государственное регулирование в сферах энергетики и коммунальных услуг;

² Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Разработана модель критерия перевода распределительной сети на напряжение 20 кВ на основе анализа параметров состояния распределительной сети для проведения экспресс анализа приоритета каждой из сетей лицензиатов с целью определения очередности их финансирования. За основу синтезированной модели критерия принято лингвистическое определение приоритета перевода распределительной сети на напряжение 20 кВ путем математического воспроизведения нечетким логическим контроллером на основе базы знаний соображений эксперта, представленных лингвистическими предикатами.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, модель критерия перевода на напряжение 20 кВ, приоритет сети, нечеткая логика.

Циганенко Борис Владимирович — член Национальной комиссии, осуществляющей государственное регулирование в сферах энергетики и коммунальных услуг;

Кирик Валерий Валентинович — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой электрических сетей и систем, e-mail: vkyryk@ukr.net