

- Т. 5, № 1(13). – С. 19-23.
- Chand, J. Natural convection heat transfer from horizontal cylinders [Text] / Jagdish Chand, Vir Dharam // Journal of chemical engineering of Japan. – 1979. – Vol. 12, №3. – P. 242-247.
 - Atayilmaz, S. Ö. Experimental and numerical study of the natural convection from a heated horizontal cylinder [Text] / S. Ö. Atayilmaz, I. Teke // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2009. – №36. – P. 731-738.
 - Туз, В. О. Визначення характерної температури при теплообміні в умовах вільної конвекції [Текст] / В. О. Туз, Р. В. Неїло // Енергетика, економіка, технології, екологія. – 2013. – №3.
 - Туз, В. О. Експериментальне дослідження теплообміну в умовах вільної конвекції на поверхні горизонтального циліндра [Текст] / В. О. Туз, Р. В. Неїло // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 6, № 5(66). – С. 17-23.
 - Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомеда.–3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 487 с.
 - Wong, H. Y. Heat transfer for engineers [Text] / H. Y. Wong. – Longman Group, 1977. – 213 p.
 - Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен [Текст]: учебное пособие для вузов. / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550 с.
 - Shklover, G. G. Effect of variable physical properties on heat convection around a horizontal cylinder [Text] / G. G. Shklover, S. E. Gusev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 1987. – V. 53, Issue 2. – P. 902-908.
 - Гебхарт, Б. Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен [Текст]: пер. с англ. / Б. Гебхарт, Й. Джалурия, Р. Махаджан, Б. Саммакия. – В 2-х книгах, кн.1. – М.:

Мир, 1991. – 678 с.

- Чаплиц, А. Д. Визуализация газовых потоков во внутренних каналах (методы и результаты экспериментальных исследований) [Текст] / А. Д. Чаплиц, А. И. Астапов. – Днепропетровск: НАН Украины и НКА Украины, Институт технической механики, 2007. – 210 с.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ І ТЕПЛОБІМІНУ В УМОВАХ СВОБОДНОЇ КОНВЕКЦІЇ

В роботі представлено обобщення результатів експериментальної роботи по дослідженню теплообміну і гідродинаміки на поверхні горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції. Визуалізація динамічного слоя, який утворюється навколо нагрітого циліндра, дозволяє наочно підтвердити підходи, які використано при аналізі результатів.

Ключові слова: теплообмін, вільна конвекція, горизонтальна труба, гідродинаміка

Неїло Роман Володимирович, аспірант, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: roneilo@gmail.com

Неїло Роман Владимирович, аспирант, кафедра атомных электрических станций и инженерной теплофизики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, e-mail: roneilo@gmail.com

Neilo Roman, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine, e-mail: roneilo@gmail.com

УДК 621.311

Тимчук С. О.

РОЗКРИТТЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ

У статті наведено підхід до розв'язання проблеми невизначеності вихідної інформації в рамках теорії нечітких множин. Розглянуто особливості застосування нечіткого підходу при проектуванні та експлуатації розподільчих електромереж. Надано методики переведення типових задач у нечітку форму.

Ключові слова: розподільча електромережа, проектування, експлуатація, невизначеність, нечіткі множини

1. Вступ

Дослідження, про які йдеться в доповіді, відносяться до галузі електроенергетики. Наразі гостро стоїть задача зниження витрат та витрат різної природи у розподільчих електромережах (РЕМ), підвищення якості електроенергії, підвищення ефективності електроспоживання. Всі ці напрямки знайшли відображення у енергетичній стратегії України до 2030 року. Складність сучасних РЕМ обмежує можливість емпіричних методів їх удосконалення, тому на перший план виходять теоретичні методи моделювання, аналізу та оптимізації електромереж.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Відомо, що в складних системах енергетики 82-84 % похибки виникає внаслідок неточності вихідних даних

[1], яка зумовлена такими видами невизначеності, як випадковість, неоднозначність, нечіткість, інтервальність, розмитість, лінгвістична невизначеність, тощо. Проблема розкриття невизначеності є ключовою і найменш дослідженою в електроенергетиці.

Для розкриття невизначеності пріоритет віддавався детермінованому моделюванню [2 – 4]. Для розрахунку надійності застосовувалось стохастичне моделювання [1, 5], але часто розрахунки зводили до детермінованих схем [1].

Застосування детермінованих методик та моделей вносять спрощення, які породжують проблему похибки розрахунків. Для складних систем зазвичай цю похибку важко визначити, а часто і неможливо. Стохастичні методики мають область застосування, що обмежується прогнозними задачами.

З появою теорії нечітких множин [6] з'явилася можливість розкрити математичну невизначеність ти-

пу нечіткості, а також охопити детерміновані дані, як окремий випадок, і зручно розкривати деякі види стохастичної невизначеності [7]. Нечіткий підхід наразі здебільше використовується у процедурах прийняття рішень та оптимізації [8, 9], а для моделювання РЕМ його застосування суттєво обмежене.

Метою проведених досліджень була розробка наукових основ застосування нечіткого підходу при моделюванні РЕМ.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі: окреслити області застосування нечіткого підходу при моделюванні РЕМ; розробити або вдосконалити математичний апарат моделювання параметрів РЕМ в рамках окреслених областей, використавши при цьому існуючий досвід моделювання РЕМ.

3. Результати досліджень

Першою областю застосування математичного моделювання є процес проектування РЕМ. Основними видами невизначеності вихідної інформації при проектуванні є неоднозначність, інтервальність, випадковість.

Неоднозначність проявляється у наявності множини значень одного і того ж параметра. Якщо ввести степiнь довіри до джерел інформації, то органічно ця множина перетворюється у нечітку. Для більш зручного застосування нечітких множин у детермінованих математичних співвідношеннях ці множини раціонально апроксимувати трикутними нечіткими числами, застосовавши процедуру нечіткого усереднення. Трикутне нечітке число представляється кортежем: $\mu_{\Delta} = \langle a, \alpha, \beta \rangle_{\Delta}$, де a – модальне значення; α і β – лівий та правий коефіцієнти нечіткості. Параметри μ_{Δ} , зв'язані з параметрами його функції приналежності $\mu_{\Delta} = f_{\Delta}(x; x_M, x_{\min}, x_{\max})$ наступним чином: $\alpha = x_M$, $\beta = x_M - x_{\min}$, $\beta = x_{\max} - x_M$.

Носій та модальне значення нечіткого трикутного числа визначається просто:

$$x_{\min} = \min_i x_i, \quad x_{\max} = \max_i x_i, \quad x_M = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}, \quad (1)$$

$i = 1, \dots, n.$

де n – число елементів нечіткої множини, μ_i – функція приналежності i -го елемента нечіткої множини.

Функція приналежності трикутного нечіткого числа має вид:

$$\mu_{\Delta} = \max\left(0, \min\left(\frac{x - x_{\min}}{x_M - x_{\min}}, \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_M}\right)\right). \quad (2)$$

Інтервальність може бути інтерпретована, як нечіткість з функцією приналежності $\mu_{\Delta} = \text{const} = 1$. При апроксимації трикутним нечітким числом за процедурою (1), його функція приналежності буде симетричною, $\alpha = \beta$.

У проектних задачах оперують інтегральними параметрами, для яких інтеграли вірогідності випадкових величин близькі до одиниці. Тоді щільність розподілення вірогідності випадкових значень параметра можна

інтерпретувати, як функцію приналежності нечіткого числа. Для зручності розрахунків цю функцію також можна привести до трикутного виду.

Таким чином, при розв'язанні більшості проектних задач проблема трьох видів невизначеності розв'язується в рамках нечіткого підходу.

В оптимізаційних задачах виникає проблема порівняння між собою нечітких значень цільових функцій. Нечіткість цього порівняння розкривається згідно мінімаксного критерію прийняття рішень введенням індексу ранжування:

$$H_3^1(f_1, f_2) = \sup_{f_1 \geq f_2} \min(\mu_{f_1}, \mu_{f_2}). \quad (3)$$

Для трикутних нечітких чисел вираз (3) перетворюється на:

$$f_1 \geq f_2, \quad \text{якщо} \quad f_{1\min} \geq f_{2\min},$$

$$f_1 \leq f_2, \quad \text{якщо} \quad f_{1\max} \leq f_{2\max}, \quad (4)$$

де $f_1 = \langle f_{1\min}, f_{1M}, f_{1\max} \rangle$, $f_2 = \langle f_{2\min}, f_{2M}, f_{2\max} \rangle$.

Застосування такого підходу дозволило розв'язати типові задачі проектування та реконструкції РЕМ в умовах невизначеності [9, 10].

Другою областю застосування математичного моделювання є процес експлуатації РЕМ. Зокрема розглянемо процес оцінювання якості електроенергії.

Використовуючи детерміновану методику [11], можна за допомогою нечіткого підходу коректно розкрити невизначеність як вихідних даних, так і нечіткого поняття «якісна електроенергія». Покажемо це на прикладі одного з показників якості – відхилення напруги.

Норма відхилення напруги представляється нечітким інтервалом з функцією приналежності:

$$\mu_{\delta U_{y-n}} = \max\left\{0, \min\left\{1, \frac{U - 0,9U_n}{0,05U_n}, \frac{1,1U_n - U}{0,05U_n}\right\}\right\}. \quad (5)$$

Вимір усталеного відхилення напруги dU_y здійснюється згідно з [11, дод. Б]. За період часу 24 год. утворюється множина ΔU_y розмірності ND . Вона представляється трикутним нечітким числом з функцією приналежності:

$$\mu_{\Delta U_y} = \max\left\{0, \min\left\{\frac{\delta U_y - \delta U_{y\min}}{\delta U_{y\max} - \delta U_{y\min}}, \frac{\delta U_{y\max} - \delta U_y}{\delta U_{y\max} - \delta U_{y\min}}\right\}\right\}, \quad (6)$$

де

$$\delta U_{y\max} = \max_{\Delta U_y} \{\delta U_{yj}\},$$

$$\delta U_{y\min} = \min_{\Delta U_y} \{\delta U_{yj}\},$$

$$\delta U_{ym} = \frac{\sum_{j=1}^{N_1} \mu_{\delta U_{yj}} \delta U_{yj}}{\sum_{j=1}^{N_1} \mu_{\delta U_{yj}}}, \quad (7)$$

де $\mu_{\delta U_{yj}}$ – функція приналежності (степiнь довіри) δU_{yj} множині ΔU_y .

Об'єктивно $\mu_{\delta U_{yj}}$ можна отримати з використанням математичної статистики, задавши діапазон $\{\delta U_{ymin}, \delta U_{ymax}\}$ розбитий на N_d інтервалів, визначивши частоту попадання δU_{yj} у відповідні інтервали. Пронормовані значення даних частот можна взяти в якості $\mu_{\delta U_{yj}}$.

Ступінь відповідності нечітких показників якості нечітким нормам можна оцінити по їх перетину, що оцінюється по площині фігури під функцією приналежності перетину.

$$S = S_{НЯЕ} \cap S_{ПЯЕ}. \quad (8)$$

Тоді:

$$\mu_{ЯЕ} = S/S_{ПЯЕ}. \quad (9)$$

Маючи результати розрахунків по формулам (5 – 9) по кожному з показників якості електроенергії, можна сформуванати узагальнений показник, що відповідає нечіткому поняттю «якість електроенергії», скориставшись операцією кон'юнкції:

$$ЯЕ = \bigcap_{i=1}^{N_{НЯЕ}} ПЯЕ_i; \quad \mu_{ЯЕ} = \min_i(\mu_{ЯЕ_i}), \quad (10)$$

де $N_{ПЯЕ}$ – кількість показників якості, що розглядаються. Тоді $\mu_{ЯЕ}$ можна вважати узагальненим показником, що оцінює якість електроенергії числом з діапазону $\{0, 1\}$.

4. Висновки

Таким чином, нечіткий підхід є узагальнюючим підходом до розкриття різних видів невизначеності вихідної інформації при розв'язанні широкого кола проектних та експлуатаційних задач електроенергетики. Такий підхід розв'язує проблему неоднозначності, інтервальної інформації без породження проблеми похибки, проблему випадковості без залучення теорії вірогідності. В рамках нечіткого підходу можна логічно об'єднувати величини різної фізичної природи, формуючи тим самим узагальнюючі показники, що відображають лінгвістичну невизначеність.

Література

1. Гук, Ю. Б. Оценка надежности электроустановок [Текст] / Ю. Б. Гук, Э. А. Лосев, А. В. Мясников. – М.: Энергия, 1974. – 200 с.
2. Колесниченко, Б. В. Расчеты электрических сетей на программируемых микрокалькуляторах [Текст] / Б. В. Колес-

3. Керного, В. В. Автоматизация некоторых расчетов электрических сетей [Текст] / В. В. Керного. – М.: Наука и техника, 1968. – 140 с.
4. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети [Текст]: учеб. для вузов / В. И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
5. Фокин, Ю. А. Оценка надежности систем электроснабжения [Текст] / Ю. А. Фокин, В. А. Туфанов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 224 с.
6. Zadeh, L. A. Fuzzy sets [Text] / Lotfy Zadeh // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.
7. Лещинская, Т. Б. Применение методов многокритериального выбора при оптимизации систем электроснабжения сельских районов [Текст] / Т. Б. Лещинская // Электричество. – 2003. – №1. – С. 14-22.
8. Веников, В. А. О методах решения многокритериальных оптимизационных задач электроэнергетики с неопределенными величинами [Текст] / В. А. Веников, И. А. Будзко, М. С. Левин, Е. Л. Блохина, В. А. Петров // Электричество. – 1987. – №2. – С. 1-7.
9. Тимчук, С. А. Оптимизация системы электроснабжения промышленного предприятия при ее реконструкции [Текст] / С. А. Тимчук, Н. С. Деренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/8 (64). – С.4-8.
10. Тимчук, С. А. Совершенствование методологии поиска рациональных решений в условиях многокритериальности и неопределенности исходной информации на примере системы электроснабжения [Текст] / С. А. Тимчук, Н. М. Черемисин // Энергетика та електрифікація. – 2013. – №4. – С. 53-60.
11. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]: Межгосударственный стандарт. – Введен 1999-01-01. – М.: Госстандарт РФ, 1997. – 33 с.

РАСКРЫТИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В статье представлен подход к решению проблемы неопределенности исходной информации в рамках теории нечетких множеств. Рассмотрены особенности применения нечеткого подхода при проектировании и эксплуатации распределительных электрических сетей. Даны методики перевода типовых задач в нечеткую форму.

Ключевые слова: распределительная электросеть, проектирование, эксплуатация, неопределенность, нечеткие множества

Тимчук Сергій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний технічний університет сільського господарства, Україна, e-mail: stym@i.ua

Тимчук Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства, Украина, e-mail: stym@i.ua

Tymchuk Sergiy, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ukraine, e-mail: stym@i.ua