ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 515.12

В. В. Камінський[1]
А. В. Камінський[1]

МЕТОД ПОБУДОВИ ЛІНІЙНОЇ ФУНКЦІЇ РІВНІВ СЛАБКОЇ МНОЖИНИ МОЖЛИВИХ ЗНАЧЕНЬ НЕВИЗНАЧЕНОГО ПАРАМЕТРА

[1]Вінницький національний технічний університет

Запропоновано метод побудови лінійної функції рівнів слабкої множини можливих значень невизначеного параметра який базується на розробленому авторами новому підході до складання слабких описів таких параметрів. Показано, що запропонований метод забезпечує зручні властивості функції рівнів, які спрощують її створення та використання.

Отримані результати відкривають нові можливості, які можуть використовуватись в процесі моделювання складних систем в умовах невизначеності їх параметрів.

Ключові слова: слабка множина, функція рівнів, невизначеність, напрямленість, напрямлений рівень належності, точна грань.

Вступ

В роботах [1, 2] запропоновано новий підхід до моделювання складних систем в умовах невизначеності даних з використанням апарату теорії слабких множин, вступ до якої викладено в [3].

Слабка множина $\tilde{\tilde{P}}$ можливих значень параметра в деякому просторі його невизначеності *X*, на відміну від нечіткої множини, задається не степенями належності їй кожного елемента $x \in X$, а напрямленими рівнями належності цих елементів множині $\tilde{\tilde{P}}$. Останні можна інтерпретувати як верхні або нижні точні грані степенів належності нечітким реалізаціям множини $\tilde{\tilde{P}}$ [3].

У випадку задач вибору оптимальних параметрів та режимів роботи складних систем зі слабо заданими вихідними параметрами можна знайти об’єктивно існуючі напрямлені рівні належності кожного елемента простору невизначеності, використовуючи максимінні та мінімаксні критерії гарантованого успіху [4] без використання експертних оцінок.

Але в загальному випадку для побудови функції рівнів слабкої множини може виникнути необхідність звернення до експертних методів. Однак, якщо у випадку нечітких множин відома значна кількість таких методів [5] (прямих та опосередкованих, розрахованих на одного та групу експертів), то у випадку слабких множин відповідних методів наразі не існує.

В роботі [6] вперше запропоновано уніфікований підхід до моделювання як відомих, так і невизначених потужностей у вузлах систем електропостачання з допомогою звичайних, нечітких та слабких множин, а в роботі [7] досліджені загальні принципи побудови функцій рівнів таких слабо заданих електронавантажень. Показано, що в переважній більшості випадків, якщо експерти добре володіють ситуацією та впевнені в своїх оцінках верхніх та нижніх точних граней можливих значень невизначених параметрів, то вони створюють так звану лінійну функцію напрямлених рівнів слабкої множини можливих значень цих параметрів. В роботі [7] також розкриті і досліджені причини такої ситуації, показано, що вона є природною з погляду запропонованого в роботі [6] підходу до моделювання невизначених параметрів режиму електромереж за допомогою слабких множин.

Базуючись на результатах, отриманих в роботах [6, 7], в цій роботі пропонується універсальніша постановка задачі складання слабких описів невизначених параметрів довільної природи та, на її основі, метод побудови лінійної функції рівнів слабкої множини можливих значень цих параметрів за експертними даними.

Слабка множина, як інструмент слабкого опису невизначеного параметра

Слабка множина $\tilde{\tilde{A}}$ в універсумі X задається векторною характеристичною функцією ν_A, яка називається її функцією (напрямлених) рівнів належності,

$$\nu_A: X \to M_{\alpha\omega},$$

де $M_{\alpha\omega} = M_\alpha M_\omega \setminus \{(\sup M_\alpha;\ \inf M_\omega)\}$ — простір напрямлених рівнів належності; M_α — простір ненапрямлених рівнів належності — упорядкована множина, яка утримує верхню $\sup M_\alpha$ та нижню $\inf M_\omega$ точні грані. В найпростішому випадку $M_\alpha = [0; 1]$;
$M_\omega = \{+, -\}$ — простір напрямленостей рівнів належності із заданим на ньому бінарним відношенням нестрогого порядку $\{(+, +); (+, -); (-, -)\}$.

Векторну функцію ν_A можна подати як пару координатних функцій

$$\nu_A = (\alpha_A; \omega_A);$$
$$\alpha_A : X \to M_\alpha;$$
$$\omega_A : X \to M_\omega,$$

таких, що $(\alpha_A(x) = 1 \ \Rightarrow\ \omega_A(x) \neq -) \wedge (\omega_A(x) = - \ \Rightarrow\ \alpha_A(x) \neq 1)$, $\forall x \in X$.

Перша функція пари α_A, яка ставить у відповідність кожному елементу універсуму X деякий ненапрямлений рівень належності, називається функцією ненапрямлених рівнів належності слабкої множини $\tilde{\tilde{A}}$, або просто — функцією її ненапрямлених рівнів. Друга функція ω_A, яка задає тим самим елементам напрямленість рівнів належності, називається функцією напрямленостей рівнів належності слабкої множини $\tilde{\tilde{A}}$, або простіше — її функцією напрямленостей.

Для образу елемента $x \in X$ при відображеннях α_A, ω_A та ν_A використовуються позначення $\alpha_A(x) = \alpha$, $\omega_A(x) = +$ або $\omega_A(x) = -$ та $\nu_A(x) = (\alpha; +) = \alpha^+$; $\nu_A(x) = (\alpha; -) = \alpha^-$. Рівні належності α^+ будемо називати позитивно напрямленими, а α^- – негативно напрямленими для всіх $\alpha \in M_\alpha$.

Простір $M_{\alpha\omega}$ повинен мати алгебраїчну структуру ґратки. Відомо, що ґратку можна подати, як частково упорядковану множину будь-яка пара елементів якої має верхню та нижню точні грані.

Особливістю слабких множин є те, що відношення строгого досконалого порядку $S_{\alpha\omega}$ на ґратці $M_{\alpha\omega}$ має суттєву відмінність від аналогічного відношення строгого порядку > на множині дійсних чисел. Цей порядок задовольняє умову:

$$\forall (\alpha,\ \omega_\alpha),\ (\beta,\ \omega_\beta) \in M_{\alpha\omega} \left((\beta, \omega_\beta) S_{\alpha\omega}\ (\alpha,\ \omega_\alpha) \overset{df}{\Leftrightarrow} (\beta > \alpha \wedge \omega_\beta E_\omega \omega_\alpha) \vee (\omega_\beta S_\omega\ \omega_\alpha) \right),$$

де $E_\omega = \{(+, +), (-, -)\}$ — відношення рівності на M_ω; $S_\omega = \{(+, -)\}$ — строгий порядок на M_ω.

Геометричну інтерпретацію простору напрямлених рівнів належності як декартового добутку простору M_α, заданого відрізком прямої $[\inf M_\alpha;\ \sup M_\alpha]$, та двоелементного простору M_ω без точки $(\inf M_\alpha;\ \sup M_\alpha)$ (рис. 1) вперше запропоновано в роботі [8].

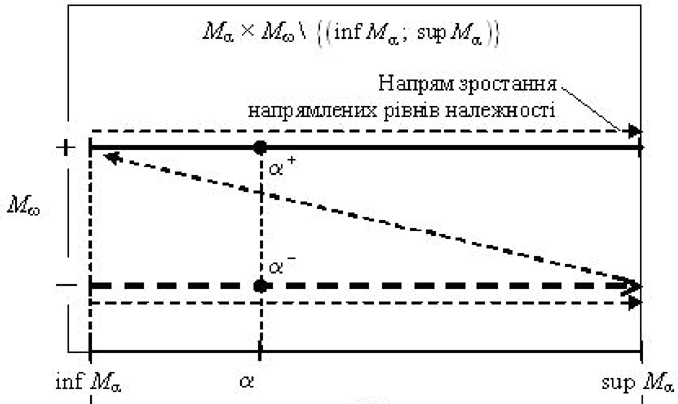

Рис. 1. Геометрична інтерпретація простору напрямлених рівнів належності

В цій роботі також було показано, що декартів добуток $M_\alpha \times M_\omega$ без точки $(\inf M_\alpha ; \sup M_\alpha)$ можна представити як суцільну неперервну вісь напрямлених рівнів належності (рис. 2).

Рис. 2. Вісь напрямлених рівнів належності, коли $M_\alpha = [0; 1]$

На рис. 2 видно всі особливості лінійного порядку в просторі напрямлених рівнів належності $M_{\alpha\omega}$ за умови, що простір ненапрямлених рівнів належності $M_\alpha = [0; 1]$.

Осі координат, в яких як вісь ординат буде використовуватись вісь напрямлених рівнів належності, будемо називати напрямленими осями координат.

Задана в просторі $M_{\alpha\omega}$ особлива упорядкованість елементів цього простору дає можливість інтерпретувати напрямлений рівень належності $\nu_A(x) = \alpha^-$ як верхню точну грань можливих значень ступенів належності елемента x деякій ще не сформованій в універсумі X нечіткій множині $\widetilde{A}$, а рівень належності $\nu_A(x) = \alpha^+$ — як нижню точну грань можливих значень цих ступенів належності.

Постановка задачі складання слабких описів невизначених параметрів

Обґрунтовуючи метод побудови функції напрямлених рівнів слабкої множини можливих значень невизначеного параметра, будемо виходити з універсальнішої постановки задачі складання слабких описів невизначених параметрів, спеціальний випадок якої започатковано в роботах [6, 7].

Нехай P_0 є невідоме точне значення деякого невизначеного параметра P, а p — можливе числове значення цього параметра. Слабку множину можливих значень невизначеного параметра P будемо позначати $\tilde{\tilde{P}}$. Універсум X, на якому буде задаватись слабка множина $\tilde{\tilde{P}}$ в цьому випадку буде множиною всіх можливих значень цього параметра (простором невизначеності параметра P).

Будемо вважати, що значення функції напрямлених рівнів належності $\nu_P(p) = \alpha^\alpha$, $\alpha \in M_\alpha$, $\omega \in M_\omega$ задає не рівень відповідності числового значення p, невідомому точному значенню P_0 невизначеного параметра P, а відображає напрямлений рівень впевненості експерта в виконанні умови $p \le P_0$. При цьому напрямлений рівень α^- задає верхню точну грань впевненості в тому, що умова $p \le P_0$ виконується, а напрямлений рівень α^+ — нижню точну грань впевненості у виконанні цієї умови.

Така постановка задачі дозволяє отримати прості та зручні у використанні властивості слабкого опису невизначених параметрів об’єктів моделювання. Так в роботах [6, 7] показано, що за наведеної інтерпретації напрямлених рівнів належності слабкої множини можливих значень невизначеного параметра P функція напрямлених рівнів слабкого опису цього невизначеного параметра ν_P в напрямлених осях координат буде спадною та неперервною. Це пояснюється тим, що зі збільшенням значення p впевненість в тому, що це значення не буде перевищувати P_0 не може зростати або залишатись незмінним. Крім того, не існує причин, які зі зростанням значення p можуть змінити впевненість експерта у виконанні умови $p \le P_0$ стрибком.

Як відомо, багато фундаментальних понять та результатів математичного аналізу пов’язано не з алгебраїчною природою дійсних чисел, а лише з поняттям відстані в просторі дійсних чисел, тобто з множиною дійсних чисел як метричним простором. До таких понять відносяться також поняття спадної та неперервної функції. Однак функція напрямлених рівнів належності набуває значення не з множини дійсних чисел, а з множини напрямлених рівнів належності $M_{\alpha\omega}$. Із геометричної інтерпретації цієї множини у вигляді осі напрямлених рівнів належності (рис. 2) видно, що лінійний порядок в просторі $M_{\alpha\omega}$ з негативно та позитивно напрямленими рівнями належності суттєво відрізняється від звичного лінійного порядку на відрізку числової осі з від’ємними та додатними числами. Це приводить до того, що звичайна евклідова метрика числової прямої не придатна для визначення відстані між довільною парою точок на напрямленій осі рівнів належності.

Тому інтуїтивно вищевжиті поняття спадної та неперервної функції напрямлених рівнів належності в напрямлених осях координат вимагають уточнення. Таке уточнення можливе лише після введення метрики в просторі напрямлених рівнів належності $M_{\alpha\omega}$.

Вперше метрику в просторі $M_{\alpha\omega}$ введено в роботі [9] з допомогою функції $\rho_M : M^2_{\alpha\omega} \to R_{+0}$ такої, що

$$\forall\alpha,\beta \in M_\alpha \forall\omega,\psi \in M_\omega \left(\rho_M\left(\alpha^\omega;\beta^\psi\right) = |\alpha-\beta| \Leftrightarrow \omega=\psi\right);$$
$$\forall\alpha,\beta \in M_\alpha \left(\rho_M\left(\alpha^+;\beta^-\right) = |\alpha-\inf M_\alpha| + |\beta - \sup M_\alpha|\right);$$
$$\forall\alpha,\beta \in M_\alpha \left(\rho_M\left(\alpha^-;\beta^+\right) = |\alpha-\sup M_\alpha| + |\beta - \inf M_\alpha|\right),$$

де R_{+0} — множина додатних дійсних чисел з нулем.

В роботі [9] доведено, що функція ρ_M є повноцінна метрика в просторі напрямлених рівнів належності, тобто задовольняє всі аксіоми метричних просторів, а також враховує особливості бінарного відношення порядку в просторі $M_{\alpha\omega}$ так, що відстань між будь-якою парою точок на осі напрямлених рівнів належності можна виміряти з допомогою звичайної лінійки.

З використанням метрики ρ_M та звичайної метрики ρ_R на множині дійсних чисел R в роботі [3] запропоновано таке означення неперервності функції напрямлених рівнів належності в заданій точці: функція $\nu: X \to M_{\alpha\omega}$ є неперервною в точці $p_0 \in X$ за означенням тільки тоді, коли

$$\forall\varepsilon>0,\ \exists\delta>0;\ \forall p\in X\left(p_R\left(p,p_0\right)<\delta \quad \Leftrightarrow p_M\left(\nu(p),\nu\left(p_0\right)\right)<\varepsilon\right). \tag{1}$$

Як бачимо, означення (1) є аналогом добре відомого означення неперервності в заданій точці дійсних функцій виду $f: R \to R$, яке належить Коші [10].

Функцію напрямлених рівнів належності $\nu: X \to M_{\alpha\omega}$ будемо називати неперервною на множині $D \subseteq X$ тільки тоді, коли вона неперервна в кожній точці цієї множини згідно з (1).

Функцію напрямлених рівнів належності $\nu: X \to M_{\alpha\omega}$ за означенням будемо називати спадною на множині $D \subseteq X$ за означенням тоді та тільки тоді, коли

$$\forall p_1,\, p_2 \in D\left(p_1 < p_2 \Rightarrow \nu\left(p_1\right) S_{\alpha\omega}\ \nu\left(p_2\right)\right).$$

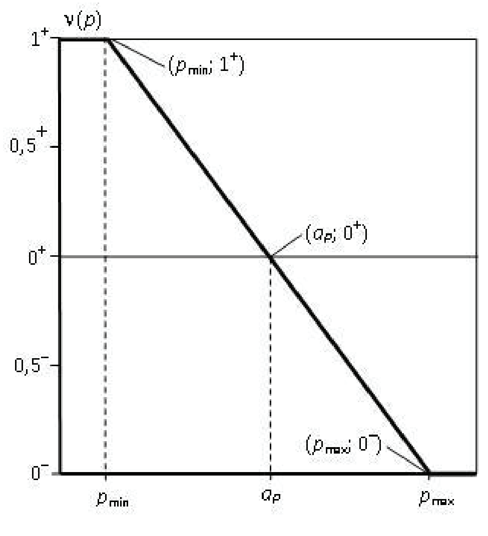

Рис. 3. Типовий вигляд лінійної функції напрямлених рівнів належності можливих значень невизначеного параметра

Таким чином означені неперервні та спадні функції напрямлених рівнів належності з використанням введеної на множині напрямлених рівнів належності метрики виглядають в напрямлених осях координат як аналогічні скалярні функції в декартовій системі координат. Типовий вигляд лінійної неперервної та спадної функції напрямлених рівнів належності слабкого опису невизначеного параметра в напрямлених осях координат за означених умов показано на рис. 3.

Точка $p_{\min}$ на цьому рисунку зображає найбільше можливе значення невизначеного параметра, для якого з впевненістю виконується умова $p_{\min} \le P_0$. Цьому і всім меншим можливим значенням невизначеного параметра відповідає напрямлений рівень належності 1^+ що означає, що навіть нижня точна грань впевненості експерта в виконанні умови $p_{\min} \le P_0$ дорівнює 100 %.

Точка $p_{\max}$ на цьому ж рисунку зображає найменше можливе значення невизначеного параметра, для якого, та всіх більших за нього значень, із впевненістю виконується умова $p_{\max} > P_0$. Всім таким можливим значенням невизначеного параметра відповідає напрямлений рівень належності 0^-. Це означає, що навіть верхня точна грань впевненості експерта в виконанні умови $p_{\max} \le P_0$ дорівнює нулю.

В процесі зростання можливого значення невизначеного параметра p від $p_{\min}$ до a_P нижня точна грань впевненості експерта в виконанні умови $p \le P_0$ зменшується від 100 % до нуля, що відповідає зменшенню напрямленого рівня належності від 1^+ до 0^+. З подальшим зростанням можливого значення невизначеного параметра p від a_P до $p_{\max}$ нижня точна грань впевненості експерта переходить в верхню точну грань, яка зменшується від 0^+ до 0^-.

Обґрунтування методу побудови лінійної функції напрямлених рівнів належності слабкої множини можливих значень невизначеного параметра

Якби функція напрямлених рівнів належності мала такий вигляд, як показано на рис. 3 в декартових осях координат, то для її побудови достатньо було б виконати експертну оцінку лише двох параметрів $p_{\min}$ і $p_{\max}$ та скористатись рівнянням прямої, яка проходить через дві задані точки ($p_{\min}$; 1^+) та ($p_{\max}$; 0^-). Однак в напрямлених осях координат лінійна упорядкованість негативно напрямлених рівнів належності відрізняється від аналогічної упорядкованості дійсних чисел. Тому в цій області звичайне рівняння прямої працювати не буде.

Далі обґрунтовується метод побудови лінійної функції напрямлених рівнів належності в напрямлених осях координат за двома параметрами $p_{\min}$ та $p_{\max}$ оціненими експертами. При цьому враховуються особливості метричного простору та бінарного відношення порядку в просторі напрямлених рівнів належності.

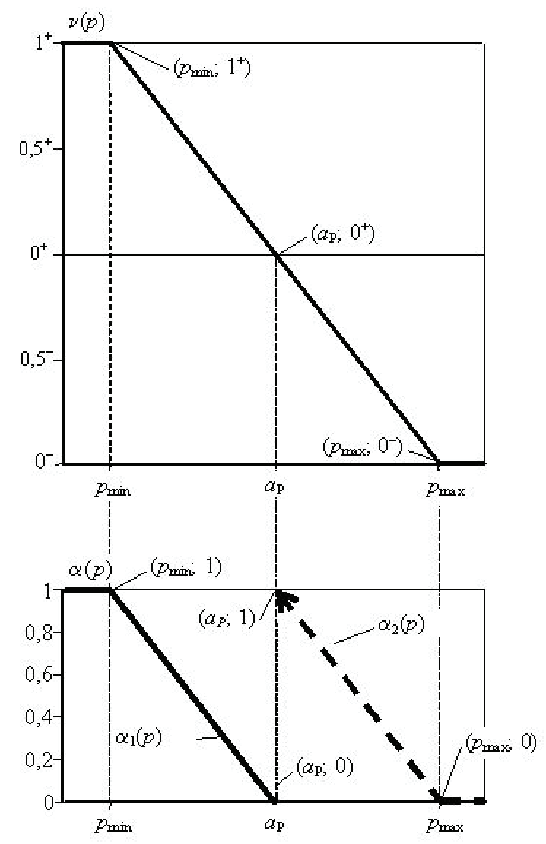

Рис. 4. Функція рівнів слабкої множини можливих значень невизначеного параметра переведена із напрямлених осей координат в декартові

Для розв'язання поставленої задачі переведемо графік функції рівнів із напрямлених осей координат в декартові (рис. 4). Процедура такого перетворення графіка напрямлених рівнів належності слабкої множини детально описана в роботі [8].

Як показує рис. 4, в декартових осях координат всі точки графіка рівнів належності слабкої множини втрачають значення напрямленостей цих рівнів. Тому для зручності всі точки графіка функції напрямлених рівнів належності, які мають позитивну напрямленість рівнів належності в декартових осях координат позначені суцільною лінією, а всі точки графіка цієї ж функції, що мають негативно напрямлені рівні належності — пунктирною лінією.

Неважко бачити, що значення параметра a_P можна легко знайти за формулою $a_P = \dfrac{p_{\min} + p_{\max}}{2}$.

Із рис. 4 видно, що лінійна функція рівнів в напрямлених осях координат на відрізку [$p_{\min}$; $p_{\max}$] задається прямою лінією, яка проходить через точки ($p_{\min}$; 1^+), (a_P; 0^+) та ($p_{\max}$; 0^-). Водночас в декартових осях ця функція на цьому ж відрізку задається парою прямих, які проходять через точки ($p_{\min}$; 1); (a_P; 0) та (a_P; 1); ($p_{\max}$; 0), відповідно. Тому для того, щоб отримати лінійну функцію напрямлених рівнів слабкої множини $\nu_P(p)$, необхідно і достатньо отримати вирази для пари звичайних скалярних функцій

$$\alpha_1\colon [p_{\min}; a_P] \to M_\alpha; \tag{2}$$

$$\alpha_2\colon (a_P; p_{\max}] \to M_\alpha, \tag{3}$$

таких, що їх графіки на проміжках [$p_{\min}$; a_P] та (a_P; $p_{\max}$] є лінійними та неперервними, а точки ($p_{\min}$; 1); (a_P; 0) та (a_P; 1); ($p_{\max}$; 0) є граничними точками відповідних лінійних частин графіка. Ці функції в сукупності задають функцію ненапрямлених рівнів належності слабкої множини можливих значень невизначеного параметра на відрізку [$p_{\min}$; $p_{\max}$]. Крім того, для всіх можливих значень невизначеного параметра, які не належать інтервалу [$p_{\min}$; $p_{\max}$], повинні виконуватись умови

$$\forall p < p_{\min}\ (\alpha_1(p) = 1); \tag{4}$$

$$\forall p > p_{\max}\ (\alpha_2(p) = 0). \tag{5}$$

Область визначення функції α_1 є множиною тих і тільки тих можливих значень невизначеного параметра, для яких значення функції рівнів слабкої множини $\tilde{\tilde{P}}$ є позитивно напрямленими, а область визначення функції α_2 — множиною тих можливих значень цього ж параметра, для яких значення функції рівнів множини $\tilde{\tilde{P}}$ є негативно напрямленими і тільки такими. Тому напрямленість рівнів належності, отриманих з допомогою цих функцій, визначається однозначно: рівні належності, отримані з допомогою функції α_1, будуть завжди позитивно напрямленими, а отримані з допомогою функції α_2 — негативно напрямленими.

Звичайне рівняння прямої, яка проходить через дві задані точки (x_1, y_1) та (x_2, y_2), можна записати у вигляді

$$\forall x, y\left(\frac{y-y_1}{y_2-y_1}=\frac{x-x_1}{x_2-x_1}\right). \tag{6}$$

В нашому випадку рівняння (6) для областей позитивної та негативної напрямленостей рівнів належності перепишеться у вигляді:

$$\forall\alpha\in M_\alpha\ \forall p\in[p_{\min}; a_P]\left(\frac{\alpha-1}{0-1}=\frac{p-p_{\min}}{a_P-p_{\min}}\right); \tag{7}$$

$$\forall\alpha\in M_\alpha\ \forall p\in(a_P; p_{\max}]\left(\frac{\alpha-1}{0-1}=\frac{p-a_P}{p_{\max}-a_P}\right). \tag{8}$$

Розв’язавши рівняння (7), (8) відносно ненапрямленого рівня належності α, отримаємо:

$$a=\begin{cases}1+\dfrac{p_{\min}-p}{a_P-p_{\min}}\Leftrightarrow p\in[p_{\min};\ a_p];\\[2ex] 1+\dfrac{a_P-p}{p_{\max}-a_P}\Leftrightarrow p\in(a_p;\ p_{\max}].\end{cases} \tag{9}$$

Очевидно, що $a_P-p_{\min}=p_{\max}-a_P$. На цій підставі введемо позначення $b_P=a_P-p_{\min}=p_{\max}-a_P$.

Враховуючи введене позначення, а також (4) , (5) та (9) запишемо вирази для функцій α_1 та α_2:

$$\alpha_1(p)=\begin{cases}1\Leftrightarrow p<p_{\min};\\[1ex] 1+\dfrac{p_{\min}-p}{b_P}\Leftrightarrow p_{\min}\le p\le a_P;\end{cases} \tag{10}$$

$$\alpha_2(p)=\begin{cases}1+\dfrac{a_P-p}{b_P}\Leftrightarrow a_P<p\le p_{\max};\\[1ex] 0\Leftrightarrow p>p_{\max}.\end{cases} \tag{11}$$

Отримані в декартових осях координат результати (10), (11) переведемо в напрямлені осі координат. При цьому врахуємо (як було сказано вище), що рівні належності, отримані за допомогою функції α_1, будуть завжди позитивно напрямленими, а отримані з допомогою функції α_2 — негативно напрямленими. Використовуючи для лінійної функції напрямлених рівнів належності слабкої множини $\tilde{\tilde{P}}$ ім’я νL_P, остаточно запишемо формули для визначення напрямлених рівнів належності будь-яких можливих значень невизначеного параметра P:

$$\nu L_P(p)=\begin{cases}1^+\Leftrightarrow p<p_{\min};\\[1ex] \left(1+\dfrac{p_{\min}-p}{b_P}\right)^+\Leftrightarrow p_{\min}\le p\le a_P;\\[2ex] \left(1+\dfrac{a_P-p}{b_P}\right)^-\Leftrightarrow a_P<p\le p_{\max};\\[1ex] 0^-\Leftrightarrow p>p_{\max}.\end{cases}$$

Висновки

В роботі сформульовано універсальний підхід до побудови слабких описів невизначених параметрів довільних об'єктів моделювання та на його основі вперше створено метод побудови лінійної функції рівнів слабкої множини можливих значень невизначеного параметра за експертними даними.

Запропонований метод вимагає від експерта оцінити лише два параметри функції напрямлених рівнів слабкої множини $p_{\min}$ та $p_{\max}$. Величина $p_{\max}$ задає найбільше можливе значення невизначеного параметра, яке з повною впевненістю не перевищує його невідоме точне значення, а величина $p_{\max}$ задає найменше можливе значення цього параметра, яке з повною впевненістю перевищує його невідоме точне значення.

Запропонована постановка задачі та розроблений на її основі метод забезпечують отримання зручних властивостей слабких описів можливих значень невизначених параметрів, які спрощують їх створення та використання, а також відкривають нові можливості для технологій моделювання складних систем в умовах невизначеності вихідних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б. І. Слабкі множини та їх застосування до розв'язання задач прийняття рішень в умовах невизначеності даних / Б. І. Мокін, В. В. Камінський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2004. — № 3. — С. 102—108.
2. Мокін Б. І. Слабкі множини як альтернатива нечітким множинам в моделюванні невизначених параметрів складних систем / Б. І. Мокін, В. В. Камінський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2006. — № 6. — С. 226—230.
3. Камінський В. В. Вступ до теорії слабких множин : моногр. / В. В. Камінський, Б. І. Мокін. — Вінниця : ВНТУ, 2012. — 128 с.
4. Демянов В. Ф. Введение в минимакс / В. Ф. Демянов, В. Н. Малоземов. — М. : Наука, 1972. — 368 с.
5. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / [А. Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А. Ф. Блишун, В. Б. Силов, В. Б. Тарасов] ; под. ред. Поспелова Д. А. — М.: Наука, 1986. — 312 с.
6. Мокін Б. І. Математичне моделювання невизначених параметрів режиму електромереж за допомогою слабких множин / Б. І. Мокін, В. В. Камінський // Вісник Віницького політехнічного інституту. — 2005. — № 6. — С. 89 — 96.
7. Мокін Б. І. Загальні принципи створення методів побудови функцій рівнів слабких множин навантаження у вузлах електропостачальних систем [Електронний ресурс] / Б. І. Мокін, В. В. Камінський // Наукові праці ВНТУ. — 2011. — № 1. — 6 с. — Режим доступу до журналу : http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1293.
8. Мокін Б. І. Геометрична інтерпретація слабких множин та їх систем нечітких реалізацій / Б. І. Мокін, В. В. Камінський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2006. — № 4. — С. 34 — 47.
9. Мокін Б. І. Метрика в просторі напрямлених рівнів належності слабко заданих параметрів складних систем [Електронний ресурс] / Б. І. Мокін, В. В. Камінський // Наукові праці ВНТУ. — 2009. — № 2. — 6 с. — Режим доступу до журналу: http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1096.
10. Зорич В. А. Математический анализ. Часть I. — М. : Наука, 1981. — 544 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту та науково-дослідною лабораторією математичного та імітаційного моделювання ВНТУ.

Стаття надійшла до редакції 17.12.2014

Камінський В'ячеслав Вікторович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: KamBBg@Gmail.com;

Камінський Андрій В'ячеславович — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

V. V. Kaminskyi[1]
A. V. Kaminskyi[1]

Method of constructing a linear function of levels of a poor set of possible values of uncertain parameter

[1]Vinnytsia National Technical University

For the first time a method of constructing a linear function of levels of a poor set of possible values of uncertain parameter is proposed. This method is based on a new approach to compile poor descriptions of such parameters developed by the authors. It is shown that the proposed method provides comfortable properties of function of levels that make it easy to create and use the function.

These results open up new possibilities that can be used in the simulation of complex systems with uncertainties in their parameters.

Keywords: poor set, function of levels, uncertainty, direction, directional level of membership, precise edge.

Kaminskyi Viacheslav V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Electrical Systems of Power Consumption and Power Management, e-mail: KamBBg@Gmail.com;

Kaminskyi Andrii V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Electrical Systems of Power Consumption and Power Management

В. В. Каминский[1]
А. В. Каминский[1]

Метод построения линейной функции уровней слабого множества возможных значений неопределенного параметра

[1]Винницкий национальный технический университет

Предложен метод построения линейной функции уровней слабого множества возможных значений неопределенного параметра, который базируется на разработанном авторами новом подходе к составлению слабых описаний таких параметров. Показано, что предложенный метод обеспечивает удобные свойства функции уровней, которые упрощают ее создание и использование.

Полученные результаты открывают новые возможности, которые могут использоваться в процессе моделирования сложных систем в условиях неопределенности их параметров.

Ключевые слова: слабое множество, функция уровней, неопределенность, направленность, направленный уровень принадлежности, точная грань.

Каминский Вячеслав Викторович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: KamBBg@Gmail.com;

Каминский Андрей Вячеславович — канд. техн. наук, доцент кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента