

УДК 697.922.566

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЧІТКОЇ БАЗИ ЗНАНЬ

*Ратушняк Г.С*

*Степанковський Р.В*

*Вінницький національний технічний університет*

*Статья посвящена проблеме энергоэффективности функционирования аэродинамических сетей в пищевой промышленности, строительном комплексе, текстильной отрасли, и тому подобное. Предложен новый подход с помощью нечеткой базы знаний как взаимосвязанной совокупности математических моделей, алгоритмов, формализованных методик, с использованием экспертно лингвистической информации для прогнозирования энергоэффективности функционирования аэродинамических сетей в зависимости от факторов, что ее обуславливают.*

*The article is devoted the problem of energy efficiency of functioning of aerodynamic networks in food industry, build complex, textile industry. New approach is offered by the unclear base of knowledges as associate aggregate of mathematical models, algorithms, formalized methods, with the use of expertly linguistic to information for prognostication of energy efficiency the functioning of aerodynamic networks depending on factors, that it is stipulated.*

### **Вступ**

Розвиток харчової промисловості, будівельного комплексу, текстильної галузі вимагає створення ефективних засобів регулювання роботи аеродинамічних мереж. Потреба у застосуванні енергоефективних аеродинамічних мереж: вентиляції, аспірації та пневмотранспорту в різних галузях промисловості, побутовій сфері є актуальною задачею. На енергоефективність функціонування аеродинамічних мереж впливають фактори, що виникають на стадії проектування, під час будівельно-монтажних робіт та в процесі експлуатації [1-5].

Аеродинамічні мережі - складна сукупність розгалужених повітропроводів, аеродинамічних машин, повітрооброблюючих механізмів, засобів регулювання, системи автоматики, функціонування в комплексі яких викликає труднощі з впровадженням енергоощадного обладнання.

Прийняття рішень у керуванні аеродинамічними мережами здійснюється в умовах апріорної невизначеності, обумовленою нечіткістю вхідних даних, природою зовнішніх впливів, відсутністю адекватної математичної моделі функціонування. Відсутність комплексного математичного апарату з оцінювання та прогнозування якості функціонування аеродинамічних мереж, є однією з причин зниження їх енергоефективності. Новий підхід з використанням математичної моделі в нечіткій технології для прийняття управлінських рішень з підвищення енергоефективності функціонування аеродинамічних мереж на основі лінгвістичної інформації є одним з напрямків вирішення цієї задачі [6, 7].

### Основна частина

Прогнозування енергоефективності функціонування аеродинамічних мереж в залежності від факторів, що її обумовлюють, можливо за допомогою нечіткої бази знань як взаємозв'язаної сукупності математичних моделей, алгоритмів, формалізованих методик з використанням експертно-лінгвістичної інформації [8, 9].

Ієрархічна побудова структури математичної моделі енергоефективності функціонування аеродинамічних мереж здійснюється на основі формалізації факторів впливу у вигляді нечітких множин, класифікація яких наведена на (рис. 1). Основними факторами впливу є наступні: науково-технічний рівень проектних рішень, якість будівельно-монтажних робіт та експлуатаційні показники системи.

Енергоефективність функціонування аеродинамічної мережі визначаємо показником *енергоємністю*, тобто відношенням енергії, що споживає аеродинамічна мережа до величини, що характеризує результат її функціонування (кількість транспортуемого повітря в системі вентиляції та повітря разом з різного роду домішками в системі аспірації та пневмотранспорту за одиницю часу).

Рівень показника енергоємності аеродинамічної мережі на системному рівні  $L_{AM}$ , представлений у вигляді співвідношення

$$L_{AM} = f(X; Y; Z), \quad (1)$$

де  $X$  – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує науково-технічний рівень проектних рішень;

$Y$  – ЛЗ, що описує якість будівельно-монтажних робіт;

$Z$  – ЛЗ, що описує якість експлуатаційних показників.

На базі класифікації сукупності факторів, що характеризують енергоефективність функціонування аеродинамічних мереж, запропоновано модель ієрархічних співвідношень між лінгвістичними змінними (1) у вигляді дерева логічного висновку (рис.2). Корінь дерева логічного висновку відповідає енергоємності аеродинамічних мереж, висячі вершини – факторам як лінгвістичним змінним, що впливають на її величину.

Оцінювання лінгвістичних змінних проводиться за допомогою нечітких термів: Н – низький; нС – нижче середнього; С – середній; вС – вище середнього; В – високий; Гр – грубі; Відс – відсутні; Пр – присутні; М – малий; Вел – великий; чВ – частково відсутні. Ієрархія факторів, що впливають на енергоефективність функціонування аеродинамічних мереж, розподіляються по трьом рівням: науково-технічний рівень проектних рішень, будівельно-монтажні роботи, експлуатаційні показники.

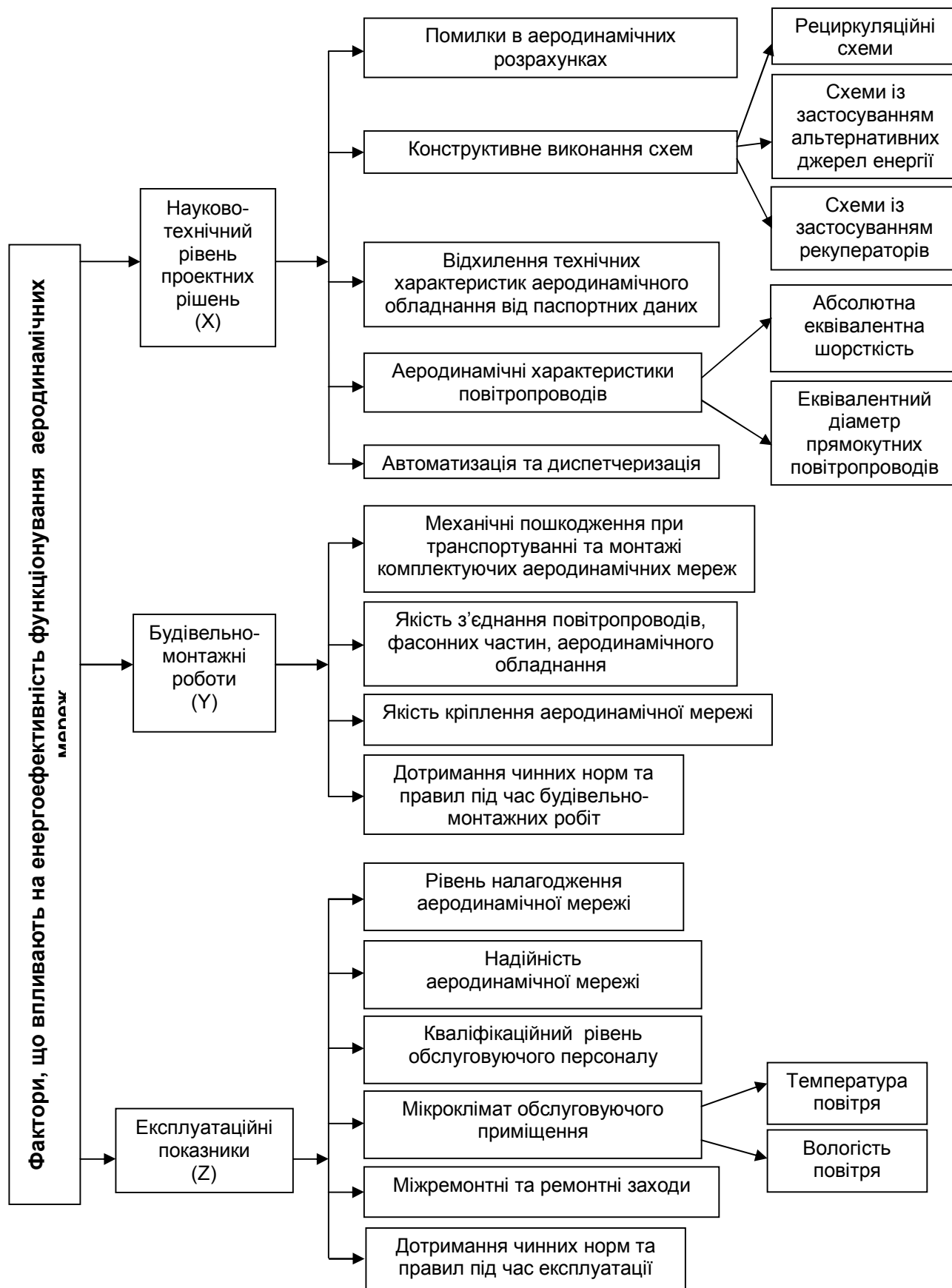


Рис. 1 Класифікація факторів, що впливають на енергоефективність функціонування аеродинамічних мереж

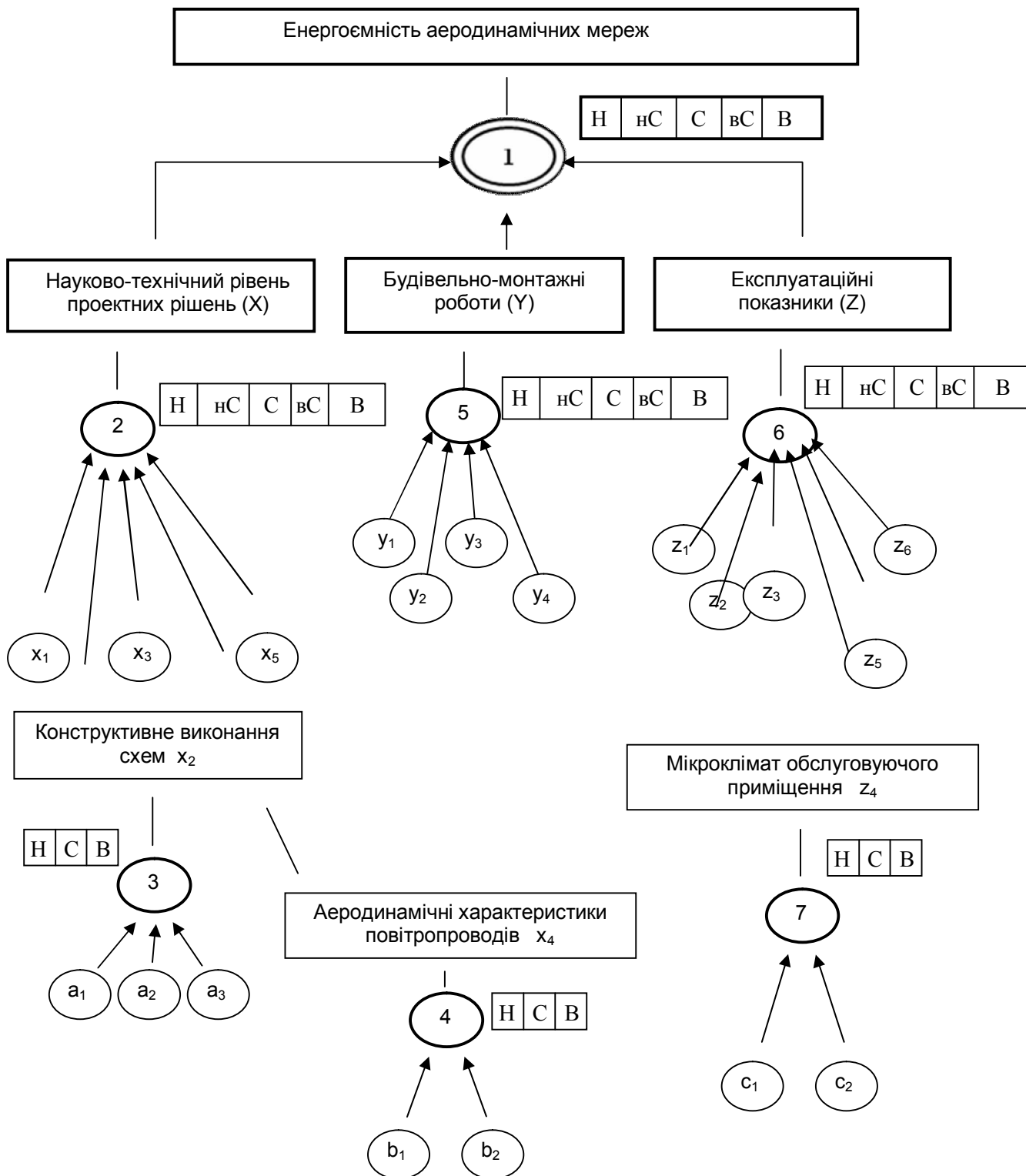


Рис. 2 Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на енергоємність аеродинамічних мереж

Лінгвістична змінна, що описує науково-технічний рівень проектних рішення, може бути розгорнута в вигляді співвідношення

$$X = f_x(x_1; x_2; x_3; x_4; x_5). \quad (2)$$

Фактор  $x_1$  – помилки в аеродинамічних розрахунках визначимо на універсальній множині  $U(x_1) = \{1, 3, 5, 7, 10\}$  (балів). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(x_1) = \langle \text{грубі, вище середніх, середні, нижче середніх, відсутні} \rangle$ .

Рівнянню (2) належить змінна  $x_2$ , яка в свою чергу залежить від наступних факторів

$$x_2 = f_{x_2}(a_1; a_2; a_3). \quad (3)$$

Фактор  $a_1$  – рециркуляційні схеми визначимо на універсальній множині  $U(a_1) = \{0, 0,25, 0,5, 0,75, 1\}$  (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(a_1) = \langle \text{присутні, відсутні} \rangle$ .

Фактор  $a_2$  – схеми із застосуванням альтернативних джерел енергії визначимо на універсальній множині  $U(a_2) = \{0, 0,25, 0,5, 0,75, 1\}$  (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(a_2) = \langle \text{присутні, відсутні} \rangle$ .

Фактор  $a_3$  – схеми із застосуванням рекуператорів визначимо на універсальній множині  $U(a_3) = \{0, 0,25, 0,5, 0,75, 1\}$  (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(a_3) = \langle \text{присутні, відсутні} \rangle$ .

Фактор  $x_3$  – відхилення технічних характеристик аеродинамічного обладнання визначимо на універсальній множині  $U(x_3) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  (балів). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(x_3) = \langle \text{низький, середній, високий} \rangle$ .

Рівнянню (2) належить змінна  $x_4$ , яка в свою чергу залежить від наступних факторів

$$x_4 = f_{x_4}(b_1; b_2). \quad (4)$$

Фактор  $b_1$  – абсолютну еквівалентну шорсткість визначимо на універсальній множині  $U(b_1) = \{0,03, 0,06, 0,09, 0,12, 0,15\}$  (мм). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(b_1) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$ .

Фактор  $b_2$  – еквівалентний діаметр прямокутних повітропроводів визначимо на універсальній множині  $U(b_2) = \{100, 580, 1050, 1530, 2000\}$  (мм). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(b_2) = \langle \text{малий, середній, великий} \rangle$ .

Фактор  $x_5$  – автоматизація та диспетчеризація визначимо на універсальній множині  $U(x_5) = \{0, 25, 50, 75, 100\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(x_5) = \langle \text{відсутня, частково відсутня, присутня} \rangle$ .

Лінгвістична змінна, що описує якість будівельно-монтажних робіт, представлена наступним виразом

$$Y = f_y(y_1; y_2; y_3; y_4). \quad (5)$$

Фактор  $y_1$  – механічні пошкодження при транспортуванні та монтажі комплектуючих аеродинамічних мереж визначимо на універсальній множині  $U(y_1) = \{0, 10, 20, 30, 40\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(y_1) = \langle \text{відсутні, частково відсутні, присутні} \rangle$ .

Фактор  $y_2$  – якість з'єднання повітропроводів, фасонних частин, аеродинамічного обладнання визначимо на універсальній множині  $U(y_2) = \{60, 70, 80, 90, 100\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(y_2) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$ .

Фактор  $y_3$  – якість кріплення аеродинамічної мережі визначимо на універсальній множині  $U(y_3) = \{50, 62, 75, 88, 100\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(y_3) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$ .

Фактор  $y_4$  – дотримання чинних норм та правил під час будівельно-монтажних робіт визначимо на універсальній множині  $U(y_4) = \{70, 78, 85, 92, 100\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(y_4) = \langle \text{низьке, середнє, високе} \rangle$ .

Лінгвістична змінна, що описує якість експлуатаційних показників, може бути представлена виразом

$$Z = f_z(z_1; z_2; z_3; z_4; z_5; z_6). \quad (6)$$

Фактор  $z_1$  – рівень налагодження аеродинамічної мережі визначимо на універсальній множині  $U(z_1) = \{60, 70, 80, 90, 100\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(z_1) = \langle \text{низький, середній, високий} \rangle$ .

Фактор  $z_2$  – надійність аеродинамічної мережі визначимо на універсальній множині  $U(z_2) = \{6, 7, 8, 9, 10\}$  (балів). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(z_2) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$ .

Фактор  $z_3$  – кваліфікаційний рівень обслуговуючого персоналу визначимо на універсальній множині  $U(z_3) = \{1, 1,5, 2, 2,5, 3\}$  (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(z_3) = \langle \text{низький, середній, високий} \rangle$ .

Рівнянню (6) належить змінна  $z_4$ , яка в свою чергу залежить від наступних факторів

$$z_4 = f_{z_4}(c_1; c_2). \quad (7)$$

Фактор  $c_1$  – температура повітря визначимо на універсальній множині  $U(c_1) = \{12, 29, 46, 63, 80\}$  (°C). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(c_1) = \langle \text{низька, нижче середньої, середня, вище середньої, висока} \rangle$ .

Фактор  $c_2$  – вологість повітря визначимо на універсальній множині  $U(c_2) = \{10, 28, 45, 62, 80\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(c_2) = \langle \text{низька, нижче середньої, середня, вище середньої, висока} \rangle$ .

Фактор  $z_5$  – міжремонтні та ремонтні заходи визначимо на універсальній множині  $U(z_5) = \{60, 70, 80, 90, 100\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(z_5) = \langle \text{відсутні, частково відсутні, присутні} \rangle$ .

Фактор  $z_6$  – дотримання чинних норм та правил під час експлуатації визначимо на універсальній множині  $U(z_6) = \{70, 78, 85, 92, 100\}$  (%). Лінгвістичні значення цього фактору задаються терм-множиною  $T(z_6) = \langle \text{низьке, середнє, високе} \rangle$ .

Вищенаведені вирази формують нечітку множину у вигляді лінгвістичних змінних, які віддзеркалюють ієрархічний зв'язок кількісних та якісних параметрів, інтерпретація яких дозволяє розробити математичну модель для оптимізації аеродинамічної мережі з метою забезпечення енергоефективного її функціонування.

Формування нечітких термів для оцінки значень лінгвістичних змінних, які входять у моделі (1 - 7), здійснюється за допомогою функцій належності. Побудова функцій належності передбачає перший етап розроблення моделі обчислення - фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу, який включає вибір нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів впливу, що заданий на відповідних універсальних множинах [6].

Для досліджуваної предметної області застосовується дзвіноподібна модель функції належності, яка забезпечує достатню "гнучкість" представлення нечіткої інформації.

Запропонована методика побудови функції належності детально розглядається на прикладі фактору  $z_1$  - "рівень налагодження аеродинамічної мережі" [6].

1. Фактор  $z_1$  - "рівень налагодження аеродинамічної мережі"

$$U(z_1) = [ 60 \dots 100 ] \%$$

Для лінгвістичної оцінки фактора  $z_1$  використовується сукупність нечітких термів:

$$T(z_1) = \langle \text{низький, середній, високий} \rangle$$

Сформулюємо матрицю парних порівнянь різних рівнів налагодження аеродинамічної мережі для термів «низький», «середній», «високий»:

$$A^{\text{низький}}(z_1) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & \mathbf{u_1} & \mathbf{u_2} & \mathbf{u_3} & \mathbf{u_4} & \mathbf{u_5} \\ \hline \mathbf{u_1} & 1 & 6/8 & 4/8 & 2/8 & 1/8 \\ \hline \mathbf{u_2} & 8/6 & \mathbf{1} & 4/6 & 2/6 & 1/6 \\ \hline \mathbf{u_3} & 8/4 & 6/4 & 1 & 2/4 & 1/4 \\ \hline \mathbf{u_4} & 8/2 & 6/2 & 4/2 & 1 & 1/2 \\ \hline \mathbf{u_5} & 8/1 & 6/1 & 4/1 & 2/1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad (8)$$

$$A^{\text{середній}}(z_l) =$$

	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
$u_1$	1	6/4	8/4	6/4	1
$u_2$	4/6	1	8/6	1	4/6
$u_3$	4/8	6/8	1	6/8	4/8
$u_4$	4/6	1	8/6	1	4/6
$u_5$	1	6/4	8/4	6/4	1

(9)

$$A^{\text{високий}}(z_l) =$$

	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
$u_1$	1	2/1	4/1	6/1	8/1
$u_2$	1/2	1	4/2	6/2	8/2
$u_3$	1/4	2/4	1	6/4	8/4
$u_4$	1/6	2/6	4/6	1	8/6
$u_5$	1/8	2/8	4/8	6/8	1

(10)

На підставі рішення матриць парних порівнянь (8-10) були отримані функції належностей для всіх термів. Отримані результати функцій належності пронормовані на одиницю шляхом ділення на найбільший ступінь належності. В результаті цього лінгвістична змінна “рівень налагодження аеродинамічної мережі” представлений у вигляді таких нечітких множин.

Лінгвістична змінна “рівень налагодження аеродинамічної мережі”:

$$\text{“низький”} = \left\{ \frac{1}{60}, \frac{0,75}{70}, \frac{0,5}{80}, \frac{0,25}{90}, \frac{0,125}{100} \right\};$$

$$\text{“середній”} = \left\{ \frac{0,5}{60}, \frac{0,75}{70}, \frac{1}{80}, \frac{0,75}{90}, \frac{0,5}{100} \right\};$$

$$\text{“високий”} = \left\{ \frac{0,125}{60}, \frac{0,25}{70}, \frac{0,5}{80}, \frac{0,75}{90}, \frac{1}{100} \right\};$$

Нечіткі множини описуються функціями належності, які наведені на рис. 3.

Нищенаведена методика побудови функцій належності відноситься до першого етапу побудови моделі на основі нечіткої бази знань – фазифікації, для подальшого моделювання на наступних етапах нечіткого логічного виведення.



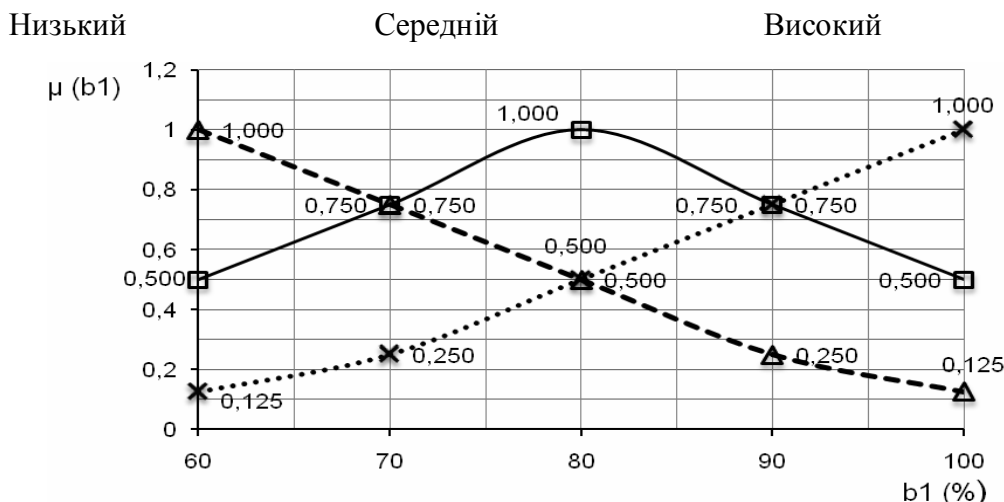


Рис. 3 Функції належності ЛЗ "рівень налагодження аеродинамічної мережі"

### Висновки

1. Запропоновано ієрархічну класифікацію факторів, що впливають на енергоефективність функціонування аеродинамічних мереж. Фактори впливу розподіляються по трьом рівням: науково-технічний рівень проектних рішень, якість будівельно-монтажних робіт, експлуатаційні показники системи.

2. Методика побудови функцій належності, на прикладі фактору впливу "рівень налагодження аеродинамічної мережі", дозволяє здійснити побудову функцій належності для наступних факторів впливу, що дасть змогу в подальшому застосувати методи нечіткої логіки для оцінювання величини енергоємності аеродинамічних мереж з врахуванням кількісних та якісних параметрів та оптимізувати їх під час розроблення проектних рішень, будівельно-монтажних робіт та експлуатації.

### Література

1. Богуславский Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. Пособие / Богуславский Л.Д., Ливчак В.И., Титов В.П. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
2. Вахвахов Г.Г. Энергосбережение и надежность вентиляторных установок / Г.Г.Вахвахов. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
3. Жуковський С.С. Вентилювання приміщень. Навчальний посібник / Жуковський С.С., Возняк О.Т., Довбуш О.М., Люльча к З.С. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2007. – 476 с. (ISBN 978-966-553-645-1)
4. Зінич П.Л. Вентиляція громадський будівель. Навчальний посібник / П.Л.Зінич. – К.:КНУБА, 2002. – 256 с.
5. Староверов И.Г. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть II. Вентиляция и кондиционирование воздуха / И.Г. Староверов. – М.: Стройиздат, 1977. – 502 с.
6. Митюшкин Ю.И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Митюшкин Ю.И., Мокін Б.И., Ротштейн А.П. – В.: Универсум, 2002. – 145с. – ISBN 966-641-051-6.
7. Ратушняк Г.С. / Моделивання надійності систем теплопостачання на основі лінгвістичної інформації / Г.С. Ратушняк, О.А. Левицький, О.Г., Ратушняк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2004. – №3. – С. 179-192.
8. Ротштейн О.П. / Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика / О.П. Ротштейн, Є.П. Ларюшкін, Ю.І. Митюшкін: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.
9. Ротштейн А.П. / Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. Ротштейн, С. Штовба. – Винница: Континент – ПРИМ, 1997. – 142с.