

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВНИЦТВА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ПОКРИТТЯ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Розроблена класифікація факторів, що впливають на раціональний вибір енергозберігаючого покриття. Використаний математичний апарат, заснований на теорії нечіткої логіки, для прогнозування енергоефективності покриття. Виконано оцінку рівнів лінгвістичних змінних, які встановлюють зв'язок між факторами впливу.

**Ключові слова:** енергозберігаюче покриття, лінгвістична змінна, фактори впливу, моделювання, нечіткий терм.

### Abstract

The classification of factors influencing the rational choice of energy-saving coating is developed. A mathematical apparatus based on fuzzy logic was used to predict the energy efficiency of a coating. The levels of linguistic variables that establish the relationship between the factors of influence are evaluated.

**Key words:** energy-saving cover, linguistic variable, influence factors, modeling, fuzzy term.

Забезпечення необхідного теплового режиму в приміщеннях житлових та громадських об'єктів необхідно для здоров'я людини й створення оптимальних умов життєдіяльності. При оцінюванні теплового комфорту температура внутрішнього повітря в приміщенні залежить від температури внутрішніх поверхонь зовнішніх конструкцій будівлі. В теплий період року неvented покрівлі житлових та громадських будівель, в тому числі дошкільні та загальноосвітні заклади, найбільш підлягають перегріву в теплий період року, а в сезон опадів протікає. У Вінницькій області біля 60 % будівель від загального фонду мають дану конструкцію покриття. При проектуванні будівель, в яких повинні забезпечуватися нормативні параметри мікроклімату, необхідно більш точно враховувати вплив кліматичних умов. Дослідження, які спрямовані на забезпечення належних температурних параметрів в існуючих будівлях в теплий і холодний період року за рахунок збільшення теплозахисних властивостей огорожуючи конструкцій і розробки надійних методик моделювання процесів, є досить актуальним [1].

**Метою роботи** є аналіз факторів, що впливають на прийняття організаційно-економічних рішень при виборі енергоефективної покрівлі за допомогою теорії нечіткої логіки.

Розроблена класифікація факторів, що впливають на раціональний вибір енергозберігаючого покриття, встановлює ієрархічні зв'язки між ними. На системному рівні приймаємо лінгвістичну змінну  $P$ , що характеризує вплив сукупності факторів на надійність покрівлі. Її можна представити у вигляді співвідношення:

$$P = f(X, Y, Z), \quad (1)$$

де  $X$  - лінгвістична змінна (ЛЗ), яка описує архітектурно-конструктивні рішення;  $Y$  - ЛЗ, яка враховує експлуатаційні та кліматичні фактори;  $Z$  - ЛЗ, яка описує властивості будівельних матеріалів.

Лінгвістична змінна  $X$ , яка описує архітектурно-конструктивні рішення, може бути представлена виразом:

$$X = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) \quad (2)$$

де  $x_1$  - лінгвістична змінна (ЛЗ), яка описує тип покриття;  $x_2$  - ЛЗ, яка описує наявність технічного поверху;  $x_3$  - ЛЗ, яка характеризує кут ухилу,  $x_4$  - ЛЗ, яка характеризує систему водовідведення,  $x_5$  - ЛЗ, яка визначає товщину матеріалу,  $x_6$  - ЛЗ, яка характеризує розміщення антикригової системи і снігозатримання,  $x_7$  - ЛЗ, яка характеризує розміщення геліосистеми.

Лінгвістична змінна  $Y$ , яка описує експлуатаційні та кліматичні фактори впливу, може бути представлена виразом:

$$Y = f(y_1, y_2, y_3, y_4), \quad (3)$$

де  $y_1$  - лінгвістична змінна (ЛЗ), яка описує кліматичну зону;  $y_2$  - ЛЗ, яка визначає рівень опадів;  $y_3$  - ЛЗ, яка визначає швидкість вітру,  $y_4$  - ЛЗ, яка визначає розподілене навантаження.

Лінгвістична змінна  $Z$ , яка описує властивості будівельних матеріалів покриття[2-3], може бути представлена виразом:

$$Z = f(z_1, z_2, z_3), \quad (4)$$

де  $z_1$  - лінгвістична змінна (ЛЗ), яка визначає тип покрівлі;  $z_2$  - лінгвістична змінна (ЛЗ), яка визначає термін експлуатації;  $z_3$  - ЛЗ, яка визначає міцність;  $z_4$  - ЛЗ, яка описує екологічність,  $z_5$  - лінгвістична змінна (ЛЗ), яка визначає шумо поглинання;  $z_6$  - ЛЗ, яка визначає теплопровідність;  $z_7$  - ЛЗ, яка визначає горючість,  $z_8$  - ЛЗ, яка визначає морозостійкість,  $z_9$  - ЛЗ, яка визначає водопоглинання,  $z_{10}$  - ЛЗ, яка визначає набухання,  $z_{11}$  - ЛЗ, яка визначає теплопровідність теплостійкість,  $z_{12}$  - ЛЗ, яка визначає температуру крихкості,  $z_{13}$  - ЛЗ, яка визначає, хімічну стійкість,  $z_{14}$  - ЛЗ, яка визначає масу  $1m^2$  покрівельного матеріалу.

Моделювання інтелектуальної підтримки вибору енергоефективного покриття на системному рівні можна виконати за допомогою термів:

$T(P) = \square$  низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий  $\square$ ;

$T(X) = \square$  низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий  $\square$ ;

$T(Y) = \square$  низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий  $\square$ ;

$T(Z) = \square$  низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий  $\square$ ;

Техніка нечіткого логічного висновку допомагає розрахувати прогнозований показник у вигляді нечіткої множини за допомогою системи висловлювань "ЯКЩО - ТО", яка об'єднує нечіткі терміни вихідних і вхідних змінних за допомогою операцій І та АБО, прийнятих в теорії нечітких множин, і відповідають операціям  $\min$  та  $\max$ [1]. Нечітка матриця знань з урахуванням уведених якісних термів для моделювання залежності наведена в табл.1.

Таблиця 1 - Матриця знань для залежності, що характеризує енергоефективність покриття

ЯКЩО			ТО
Архітектурно-конструктивні рішення (X)	Експлуатаційні та кліматичні фактори впливу (Y)	Властивості будівельних матеріалів покриття (Z)	Енергоефективність покриття (P)
Низькі (Н)	Низькі (Н)	Низькі (Н)	Низька (Н)
Нижче середніх (нС)	Низькі (Н)	Низькі (Н)	
Низькі (Н)	Нижче середніх(нС)	Низькі (Н)	
Низькі (Н)	Низькі (Н)	Нижче середніх (нС)	
Низькі (Н)	Нижче середніх(нС)	Нижче середніх(нС)	Нижче середньої (нС)
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх(нС)	Нижче середніх (нС)	
Нижче середніх (нС)	Нижче середніх(нС)	Низькі (Н)	
Нижче середніх (нС)	Низькі (Н)	Нижче середніх (нС)	
Середні (С)	Нижче середніх (нС)	Середні (С)	Середня (С)
Нижче середніх (нС)	Середні (С)	Середні (С)	
Середні (С)	Середні (С)	Нижче середніх (нС)	
Середні(С)	Середні (С)	Середні (С)	
Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Вище середньої (вС)
Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	Середні(С)	
Вище середніх (вС)	Середні(С)	Вище середніх (вС)	
Середні(С)	Вище середніх (вС)	Вище середніх (вС)	
Вище середніх (вС)	Високі (В)	Високі (В)	Висока (В)
Високі (В)	Високі (В)	Високі (В)	
Високі (В)	Високі (В)	Вище середніх (вС)	
Високі (В)	Вище середніх (вС)	Високі (В)	

Лінгвістичним висловлювань відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних відповідного терміну

$$\begin{aligned} \mu_H(P) = & \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_{HC}(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \\ & \mu_H(X) \wedge \mu_{HC}(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_{HC}(Z) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_{HC}(P) = & \mu_H(X) \wedge \mu_{HC}(Y) \wedge \mu_{HC}(Z) \vee \mu_{HC}(X) \wedge \mu_{HC}(Y) \wedge \mu_{HC}(Z) \vee \\ & \mu_{HC}(X) \wedge \mu_{HC}(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \mu_{HC}(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_{HC}(Z) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(P) = & \mu_C(X) \wedge \mu_{HC}(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \mu_{HC}(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \\ & \mu_C(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_{HC}(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu_{VC}(P) = & \mu_{VC}(X) \wedge \mu_{VC}(Y) \wedge \mu_{VC}(Z) \vee \mu_{VC}(X) \wedge \mu_{VC}(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \\ & \mu_{VC}(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_{VC}(Z) \vee \mu_C(X) \wedge \mu_{VC}(Y) \wedge \mu_{VC}(Z) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \mu_V(P) = & \mu_{VC}(X) \wedge \mu_V(Y) \wedge \mu_V(Z) \vee \mu_V(X) \wedge \mu_V(Y) \wedge \mu_V(Z) \vee \\ & \mu_V(X) \wedge \mu_V(Y) \wedge \mu_{VC}(Z) \vee \mu_V(X) \wedge \mu_{VC}(Y) \wedge \mu_{VC}(Z) \end{aligned} \quad (9)$$

**Висновки:** виконаний аналіз факторів, що впливають на прийняття організаційно-економічних рішень при виборі енергоефективної покрівлі за допомогою теорії нечіткої логіки. Оцінені рівні лінгвістичних змінних, які показують зв'язок між факторами впливу. Побудовані нечіткі матриці знань з урахуванням уведених якісних термів та складені лінгвістичні висловлювання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Щодо пріоритетів реалізації державної політики енергоефективності [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/>
2. Покриття будівель і споруд : ДБН В.2.6-220:2017 - [Чинний від 2017-06-06]. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 53 с.
3. Будівельні матеріали. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови : ДСТУ Б.В.2.7-108:2001 - [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 53 с.
4. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница: Універсам-Вінниця, 1999. – 320 с.

**Лялюк Олена Георгіївна** – к. т. н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: Lyalyuk74@gmail.com.

**Закусило Микола Володимирович** – студент факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

**Lyalyuk Elena** - Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture Vinnitsa National Technical University.

**Zakusilo Nicholas** – student, faculty of construction, heat power engineering and gas supply.