

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ВИБОРУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ПОКРИТТЯ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Розроблена класифікація факторів, що впливають на раціональний вибір енергозберігаючого покриття. Використаний математичний апарат, заснований на теорії нечіткої логіки, для прогнозування енергоефективності покриття. Розроблено моделі прийняття конструктивно-технологічних рішень вибору енергозберігаючої покрівлі на різних етапах інвестиційної діяльності в будівництві. Запропонована ієрархічна система математичних моделей дозволяє вибрати енергозберігаючу покрівлю в залежності від впливу природно-географічних, архітектурно-планувальних та інженерно-технологічних параметрів будівельного об'єкта на основі нечітких логічних виразів "ЯКЩО-ТО". Виконано оцінку рівнів лінгвістичних змінних, які встановлюють зв'язок між факторами впливу. Шляхом дефазифікації вихідних показників нечіткої логіки висновок перетворюється в кількісну величину, яка відповідає прогнозованому значенню енергоефективної покрівлі.

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

Вступ

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 невентильовані 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 [1]. 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 огорожуючої конструкції і розробки надійних методик моделювання процесів, є досить актуальним [2].

Метою роботи є створення теоретичних основ та розробка й впровадження в практику управління будівельної галузі науково обґрунтованої системи прийняття конструктивно-технічних рішень вибору енергозберігаючої покрівлі на об'єктах житлово-цивільного призначення.

Основна частина

Досліджені ефективності будівництва енергоефективних різних покрівель [3]. Постійне зростання цін на енергоресурси висуває на перше місце пріоритетність заходів щодо впровадження енергозберігаючих технологій та пошуку альтернативних джерел енергії. Не менш актуальним є проведення капітальних ремонтів та реконструкцій будівель та поліпшення матеріально технічної бази закладів соціальної сфери [4-6].

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.

Класифікація типів покриття [7]:

- плоске покриття – з похилом схилів не більше 15° ;
- скатне покриття - з похилом схилів понад 15° ;
- холодне покриття - плоске або скатне покриття, що включає в себе несучу частину та гідроізоляційні шари над приміщеннями, що не опалюються;
- суміщене (тепле) покриття - плоске або скатне покриття, що включає в себе несучу частину, паро-, тепло-, гідроізоляційні шари і захисні шари, які укладаються один по одному безпосередньо;
- вентилязоване покриття - плоске або скатне покриття з вентиляційною системою;
- покриття, що експлуатується – плоске суміщене покриття для руху пішоходів;
- світлопрозоре покриття - плоске або скатне суміщене покриття з світлопрозорою покрівлею;
- зелене покриття - плоске або скатне суміщене покриття з верхнім рослинним шаром
- інверсійне покриття - плоске або скатне суміщене покриття з гідроізоляцією під шаром теплоізоляції;
- покриття, що легко скидається - плоске або скатне суміщене покриття, шари якого не прикріплені до основи і можуть бути легко скинуті;
- покриття заглибленої будівлі – повністю або частково заглиблено в ґрунт;
- горищне покриття – об’ємна верхня огорожувальна конструкція із замкнутим повітряним простором;
- кроквяний дах – горищний дах з несучою кроквяною системою;
- мансардний дах - горищний дах із замкнутим повітряним житловим простором;
- просторове покриття – скатна об’ємна тонкостінна верхня огорожувальна конструкція, яка є одночасно самонесучою;
- просторове покриття пневматичної конструкції - скатна об’ємна верхня багатшарова повітроопірна конструкція, у якій повітря знаходиться під підвищеним тиском;
- індустриальне безрулонне покриття – плоска верхня огорожувальна конструкція будинку із збірних покрівельних плит та водозбірного лотка;
- покриття з теплим горищем - індустриальне безрулонне покриття з утеплювачем по збірних покрівельних плитах та видаленням вентиляційного повітря через посекаційну витяжну шахту;
- покриття з холодним горищем - індустриальне безрулонне покриття з видаленням вентиляційного повітря через посекаційну витяжну шахту;
- покриття з відкритим горищем - індустриальне безрулонне покриття з видаленням вентиляційного повітря через дифузори на покрівлі;
- мобільне покриття – покриття з модульних елементів несучих конструкцій та гідро теплозахисту, що швидко монтують, для влаштування тимчасових захисних конструкцій.

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 u_1 - лінгвістична змінна (ЛЗ), яка описує кліматичну зону;

u_2 - ЛЗ, яка визначає рівень опадів;

u_3 - ЛЗ, яка визначає швидкість вітру;

u_4 - ЛЗ, яка визначає розподілене навантаження.

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

$$Z = f(z_1, z_2, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9, z_{10}, z_{11}, z_{12}, z_{13}, z_{14}), \quad (4)$$

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 шумопоглинання;

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 теплостійкість;

z_{12} - ЛЗ, яка визначає температуру крижкості;

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:

$T(P) = \langle \text{низька, нижче середнього, середня, вище середнього, висока} \rangle$

$T(X) = \langle \text{низькі, нижче середнього, середні, вище середнього, високі} \rangle$

$T(Y) = \langle \text{низькі, нижче середнього, середні, вище середнього, високі} \rangle$

$T(Z) = \langle \text{низькі, нижче середнього, середні, вище середнього, високі} \rangle$

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 [9-10]. Нечітка матриця знань з урахуванням уведених якісних термів для моделювання залежності наведена в табл.1.

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

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

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

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

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

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

На стадії проектування моделювання оцінювання енергоефективності покриття можна виконувати за наступним алгоритмом. Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що пов'язує архітектурно-конструктивні рішення (X) з типом покриття (x_1); x_2 з наявністю технічного поверху

(x_2); з кутом ухилу покриття (x_3), із системою водовідведення (x_4), із товщиною матеріалу (x_5), із розміщенням антикригової системи і снігозатримання (x_6), із наявністю розміщення геліосистеми(x_7), виконується із використанням системи терм-множин:

- $T(X)$ = «низькі, нижче середнього, середні, вище середнього, високі»;
- $T(x_1)$ = «холодне, вентиляване, світлопрозоре, зелене (експлуатується), суміщене»;
- $T(x_2)$ = «відсутнє, з холодним горіщем, мансардний дах, з теплим горіщем »;
- $T(x_3)$ = «малий, середній, великий»;
- $T(x_4)$ = «неорганізована, організована »;
- $T(x_5)$ = «мала, середня, велика»;
- $T(x_6)$ = «відсутнє, фізичне, механічне»;
- $T(x_7)$ = «відсутнє, часткове, повністю».

Таблиця 1

Матриця знань для залежності, що характеризує енергоефективність покриття

ЯКІЩО			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)	

Лінгвістичні висловлювання представлені у таблиці 2 у вигляді матриці знань, яка описує архітектурно-конструктивні рішення.

Лінгвістичним висловлюванням, представленим у таблиці 2, буде відповідати розроблена система нечітких логічних рівнянь, що характеризує поверхню належності змінних за відповідними термами:

$$\begin{aligned} \mu_H(X) = & \mu_X(x_1) \wedge \mu_H(x_2) \wedge \mu_B(x_3) \wedge \mu_H(x_4) \wedge \mu_M(x_5) \wedge \mu_B(x_6) \wedge \mu_B(x_7) \vee \\ & \mu_B(x_1) \wedge \mu_X(x_2) \wedge \mu_B(x_3) \wedge \mu_O(x_4) \wedge \mu_M(x_5) \wedge \mu_F(x_6) \wedge \mu_C(x_7) \vee \\ & \mu_X(x_1) \wedge \mu_B(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_O(x_4) \wedge \mu_C(x_5) \wedge \mu_B(x_6) \wedge \mu_B(x_7) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \mu_{нС}(X) = & \mu_C(x_1) \wedge \mu_X(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_O(x_4) \wedge \mu_C(x_5) \wedge \mu_F(x_6) \wedge \mu_C(x_7) \vee \\ & \mu_X(x_1) \wedge \mu_B(x_2) \wedge \mu_B(x_3) \wedge \mu_H(x_4) \wedge \mu_C(x_5) \wedge \mu_B(x_6) \wedge \mu_B(x_7) \vee \\ & \mu_C(x_1) \wedge \mu_X(x_2) \wedge \mu_B(x_3) \wedge \mu_H(x_4) \wedge \mu_M(x_5) \wedge \mu_B(x_6) \wedge \mu_B(x_7) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(X) = & \mu_3(x_1) \wedge \mu_X(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_O(x_4) \wedge \mu_C(x_5) \wedge \mu_\Phi(x_6) \wedge \mu_\Psi(x_7) \vee \\ & \mu_B(x_1) \wedge \mu_M(x_2) \wedge \mu_M(x_3) \wedge \mu_O(x_4) \wedge \mu_M(x_5) \wedge \mu_\Phi(x_6) \wedge \mu_\Psi(x_7) \vee \\ & \mu_X(x_1) \wedge \mu_X(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_H(x_4) \wedge \mu_C(x_5) \wedge \mu_\Phi(x_6) \wedge \mu_\Psi(x_7) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \mu_{BC}(X) = & \mu_B(x_1) \wedge \mu_M(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_O(x_4) \wedge \mu_C(x_5) \wedge \mu_\Phi(x_6) \wedge \mu_\Psi(x_7) \vee \\ & \mu_3(x_1) \wedge \mu_X(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_H(x_4) \wedge \mu_B(x_5) \wedge \mu_\Phi(x_6) \wedge \mu_B(x_7) \vee \\ & \mu_C(x_1) \wedge \mu_M(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_O(x_4) \wedge \mu_B(x_5) \wedge \mu_M(x_6) \wedge \mu_\Psi(x_7) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \mu_B(X) = & \mu_C(x_1) \wedge \mu_T(x_2) \wedge \mu_M(x_3) \wedge \mu_O(x_4) \wedge \mu_B(x_5) \wedge \mu_M(x_6) \wedge \mu_\Psi(x_7) \vee \\ & \mu_3(x_1) \wedge \mu_T(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_H(x_4) \wedge \mu_C(x_5) \wedge \mu_\Phi(x_6) \wedge \mu_\Psi(x_7) \vee \\ & \mu_C(x_1) \wedge \mu_T(x_2) \wedge \mu_C(x_3) \wedge \mu_H(x_4) \wedge \mu_B(x_5) \wedge \mu_\Phi(x_6) \wedge \mu_\Psi(x_7) \end{aligned} \quad (14)$$

Таблиця 2

Матриця знань для залежності, що описує архітектурно-конструктивні рішення

ЯКЩО							ТО
Тип покриття (x ₁)	Наявність технічного поверху (x ₂)	Кут ухилу (x ₃)	Система водовідведення (x ₄)	Товщина матеріалу (x ₅)	Розміщення антикригової системи і снігозатримання (x ₆)	Наявність геліосистеми (x ₇)	Архітектурно-конструктивні рішення (X)
Холодне (X)	Відсутнє (H)	Великий (B)	Неорганізована (H)	Мала (M)	Відсутнє (B)	Відсутнє (B)	Низькі (H)
Вентильоване (B)	З холодним горищем (X)	Великий (B)	Організована (O)	Мала (M)	Фізичне (Ф)	Часткове (Ч)	
Холодне (X)	Відсутнє (H)	Середній (C)	Організована (O)	Середня (C)	Відсутнє (B)	Відсутнє (B)	
Світлопрозоре (C)	З холодним горищем (X)	Середній (C)	Організована (O)	Середня (C)	Фізичне (Ф)	Часткове (Ч)	Нижче середнього (HC)
Холодне (X)	Відсутнє (H)	Великий (B)	Неорганізована (H)	Середня (C)	Відсутнє (B)	Відсутнє (B)	
Світлопрозоре (C)	З холодним горищем (X)	Великий (B)	Неорганізована (H)	Мала (M)	Відсутнє (B)	Відсутнє (B)	
Зелене (З)	З холодним горищем (X)	Середній (C)	Організована (O)	Середня (C)	Фізичне (Ф)	Часткове (Ч)	Середні (C)
Вентильоване (B)	Мансардний дах (M)	Малий (M)	Організована (O)	Мала (M)	Фізичне (Ф)	Часткове (Ч)	
Холодне (X)	З холодним горищем (X)	Середній (C)	Неорганізована (H)	Середня (C)	Фізичне (Ф)	Часткове (Ч)	
Вентильоване (B)	Мансардний дах (M)	Середній (C)	Організована (O)	Середня (C)	Фізичне (Ф)	Повністю (П)	Вище середнього (BC)
Зелене (З)	З холодним горищем (X)	Середній (C)	Неорганізована (H)	Велика (B)	Фізичне (Ф)	Відсутнє (B)	
Суміщене (C)	Мансардний дах (M)	Середній (C)	Організована (O)	Велика (B)	Механічне (M)	Часткове (Ч)	
Суміщене (C)	з теплим горищем (T)	Малий (M)	Організована (O)	Велика (B)	Механічне (M)	Повністю (П)	Високі (B)
Зелене (З)	з теплим горищем (T)	Середній (C)	Неорганізована (H)	Середня (C)	Фізичне (Ф)	Часткове (Ч)	
Суміщене (C)	з теплим горищем (T)	Середній (C)	Неорганізована (H)	Велика (B)	Фізичне (Ф)	Повністю (П)	

Нечітка матриця знань, яка враховує введені якісні терми для моделювання залежності експлуатаційних та кліматичних факторів впливу, наведено в таблиці 3.

Лінгвістичним висловлюванням, які наведено в таблиці 3, за відповідними даними термів, є система рівнянь:

$$\mu_H(Y) = \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_B(y_3) \wedge \mu_B(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_B(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_B(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \quad (15)$$

$$\mu_C(Y) = \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_D(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_B(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \quad (16)$$

$$\mu_B(Y) = \mu_D(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_M(y_3) \wedge \mu_H(y_4) \vee \mu_D(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_D(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \quad (17)$$

Таблиця 3

Матриця знань для залежності, що описує архітектурно-конструктивні рішення

ЯКЩО				ТО
Кліматична зона (y ₁)	Рівень опадів (y ₂)	Швидкість вітру (y ₃)	Розподілене навантаження (y ₄)	Експлуатаційні та кліматичні фактори (Y)
Перша (П)	Високий (Н)	Велика (В)	Велике (В)	Низькі (Н)
Перша (П)	Середній (С)	Велика (В)	Середнє (С)	
Перша (П)	Відсутнє (Н)	Середня(С)	Середнє (С)	
Перша (П)	Середній (С)	Середня(С)	Середнє (С)	Середні (С)
Друга (Д)	Середній (С)	Мала (М)	Велике (В)	
Друга (Д)	Низький (Н)	Велика (В)	Середнє (С)	
Друга (Д)	Низький (Н)	Мала (М)	Низьке (Н)	Високі (В)
Друга (Д)	Середній (С)	Середній (С)	Середнє (С)	
Друга (Д)	Низький (Н)	Середній (С)	Середнє (С)	

Нечітка матриця знань з урахуванням якісних термів залежно від властивостей будівельних матеріалів покриття наведено в таблиці 4.

Типи покрівлі [8]:

- рулонна бітумно-полімерна покрівля – покрівля з багатошарових рулонних основних гідроізоляційних матеріалів, з’єднаних у моноліт методом наплавлення, або на мастиці або з одношарового матеріалу;
- покрівля (мембрана) полімерна плівкова – одношарова покрівля, що вільно лежить (з точковим чи рейковим прикріпленням до основи покриття) або з баластом з окремих, зварених чи склеєних між собою, полотниць полімерних плівкових або гумових матеріалів;
- покрівля хвиляста волокнисто цементна або з бітумних листів – скатна покрівля з окремих хвилястих листів з механічним кріпленням до основи;
- покрівля з штучних матеріалів – скатна покрівля з окремих плоских водостійких матеріалів з механічним кріпленням до основи;
- покрівля з керамічної, бетонної, полімер-піщаної черепиці - скатна покрівля з окремих малорозмірних фігурних елементів з механічним зачепленням між собою і кріпленням по краях до основи;
- покрівля з металевих листів - скатна покрівля з окремих тонкостінних металевих листів з антикорозійним покриттям чи без нього, з’єднаних між собою в замок;
- покрівля з залізобетонних лоткових елементів – плоска покрівля з окремих самонесучих просторових залізобетонних елементів з гідроізолюваною поверхнею;
- світлопрозора покрівля – скатна покрівля зі скла або світлопрозорого пластика, виконана по несучому каркасу з ущільненням між окремими елементами.

Матриця знань для залежності, що описує властивості будівельних матеріалів покриття

		ЯКЩО													ТО
(Ч)	(М)	Черепична (Ч)	Із зб лотков (З)	Полімерна плівкова (П)	Метал (М)	3 бітум листів (Б)	Хвиляста волокниста цементна (Х)	Шліф пер плівко ва (ШП)	(С)	Рулон на (Р)	(Ш)	Світлопрозра (С)	Із штучних матеріалів (Ш)	(Р)	Тип покрівлі (z ₁)
(ВС)	(Д)	Довгий (Д)	(Д)	Вище середнього (ВС)	(ВС)	(С)	Середній (С)	(НС)	(НС)	(С)	(С)	Короткий (К)	Нижче середнього (НС)	(К)	Термін експлуатації (z ₂)
(ВС)	(В)	Велика (В)	(ВС)	Середня(С)	(ВС)	(С)	Мала (М)	(С)	(В)	(НС)	(НС)	Нижче середньої (НС)	Мала (М)	(М)	Міцність (z ₃)
(СБ)	(Б)	Безпечний(Б)	(СБ)	Середньої безпеності (СБ)	(СБ)	(СБ)	(СБ)	(СБ)	(Б)	(СБ)	(СБ)	Середньої безпеності (СБ)	Небезпечний (НБ)	(НБ)	Екологічність (z ₄)
(В)	(А)	Велике класу А (А)	(В)	Вище середньої класу В (В)	(В)	(С)	(Е)	(С)	(С)	(Д)	(Е)	Низьке класуЕ(Е)	Нижче середньої класу D (D)	(Е)	Шумо поглинання (z ₅)
(ВС)	(В)	Велика (В)	(ВС)	Вище середньої (ВС)	(ВС)	(С)	(НС)	(С)	(С)	(НС)	(НС)	Нижче середньої (НС)	Низька(Н)	(Н)	Теплопровідність (z ₆)
(С)	(Н)	Низька (Н)	(Н)	Середня (С)	(С)	(В)	Середня (С)	(С)	(Н)	(В)	(В)	Середня (С)	Висока(В)	(В)	Горючість (z ₇)
(ВС)	(В)	Висока (В)	(ВС)	Середня (С)	(ВС)	(С)	Середня (С)	(С)	(С)	(Н)	(НС)	Низька(Н)	Нижче середньої (НС)	(Н)	Морозостійкість (z ₈)
(С)	(Н)	Низьке (Н)	(С)	Низьке (Н)	(С)	(С)	Середнє (С)	(С)	(Н)	(В)	(С)	Низьке(Н)	Високе(В)	(В)	Водопоглинання (z ₉)
(Н)	(НС)	Низьке (Н)	(НС)	Низьке (Н)	(НС)	(С)	(НС)	(С)	(Н)	(В)	(В)	Низьке(Н)	Вище середньої (ВС)	(В)	Набухання (z ₁₀)
(ВС)	(ВС)	Висока (В)	(ВС)	Вище середнього (ВС)	(С)	(С)	Середня (С)	(С)	(С)	(НС)	(НС)	Нижче середньої (НС)	Низька(Н)	(Н)	Теплостійкість (z ₁₁)
(ВС)	(В)	Висока (В)	(ВС)	Середня (С)	(ВС)	(НС)	(НС)	(С)	(НС)	(НС)	(Н)	Низька(Н)	Нижче середньої (НС)	(Н)	Хімічна стійкість (z ₁₂)
(С)	(М)	(М)	(В)	Мала (М)	(НС)	(М)	Велика(В)	(С)	(С)	(НС)	(В)	Середня (С)	Велика(В)	(В)	Маса 1м ² покровельного матеріалу (z ₁₃)
		Високі (В)	Вище середньої (ВС)			Середні (С)			Нижче середнього (НС)			Низькі (Н)			Властивості будівельних матеріалів покриття (Z)

Лінгвістичним висловлюванням, представленим у таблиці 4, буде відповідати розроблена система нечітких логічних рівнянь, що характеризує поверхню належності змінних за відповідними термами:

$$\begin{aligned} \mu_H(Z) = & \mu_P(Z_1) \wedge \mu_K(Z_2) \wedge \mu_M(Z_3) \wedge \mu_{H6}(Z_4) \wedge \mu_E(Z_5) \wedge \mu_H(Z_6) \wedge \mu_B(Z_7) \wedge \mu_H(Z_8) \wedge \mu_B(Z_9) \wedge \mu_B(Z_{10}) \wedge \mu_H(Z_{11}) \wedge \mu_H(Z_{12}) \wedge \\ & \mu_B(Z_{13}) \vee \mu_{H3}(Z_1) \wedge \mu_{Hc}(Z_2) \wedge \mu_M(Z_3) \wedge \mu_{H6}(Z_4) \wedge \mu_D(Z_5) \wedge \mu_H(Z_6) \wedge \mu_B(Z_7) \wedge \mu_{Hc}(Z_8) \wedge \mu_B(Z_9) \wedge \mu_{Bc}(Z_{10}) \wedge \mu_H(Z_{11}) \wedge \mu_{Hc}(Z_{12}) \\ & \wedge \mu_B(Z_{13}) \vee \mu_C(Z_1) \wedge \mu_K(Z_2) \wedge \mu_{Hc}(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_E(Z_5) \wedge \mu_{Hc}(Z_6) \wedge \mu_C(Z_7) \wedge \mu_H(Z_8) \wedge \mu_H(Z_9) \wedge \mu_H(Z_{10}) \wedge \mu_{Hc}(Z_{11}) \\ & \wedge \mu_H(Z_{12}) \wedge \mu_C(Z_{13}) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \mu_{Hc}(Z) = & \mu_{H3}(Z_1) \wedge \mu_C(Z_2) \wedge \mu_{Hc}(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_E(Z_5) \wedge \mu_{Hc}(Z_6) \wedge \mu_B(Z_7) \wedge \mu_{Hc}(Z_8) \wedge \mu_C(Z_9) \wedge \mu_B(Z_{10}) \wedge \mu_{Hc}(Z_{11}) \wedge \mu_H(Z_{12}) \wedge \mu_B(Z_{13}) \vee \\ & \mu_P(Z_1) \wedge \mu_C(Z_2) \wedge \mu_{Hc}(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_D(Z_5) \wedge \mu_{Hc}(Z_6) \wedge \mu_B(Z_7) \wedge \mu_H(Z_8) \wedge \mu_B(Z_9) \wedge \mu_B(Z_{10}) \wedge \mu_{Hc}(Z_{11}) \wedge \mu_{Hc}(Z_{12}) \\ & \wedge \mu_{Hc}(Z_{13}) \vee \mu_C(Z_1) \wedge \mu_{Hc}(Z_2) \wedge \mu_B(Z_3) \wedge \mu_B(Z_4) \wedge \mu_C(Z_5) \wedge \mu_C(Z_6) \wedge \mu_H(Z_7) \wedge \mu_C(Z_8) \wedge \mu_H(Z_9) \wedge \mu_H(Z_{10}) \wedge \mu_C(Z_{11}) \\ & \wedge \mu_{Hc}(Z_{12}) \wedge \mu_C(Z_{13}) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(Z) = & \mu_{H1}(Z_1) \wedge \mu_{Hc}(Z_2) \wedge \mu_C(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_C(Z_5) \wedge \mu_C(Z_6) \wedge \mu_C(Z_7) \wedge \mu_C(Z_8) \wedge \mu_C(Z_9) \wedge \mu_C(Z_{10}) \wedge \mu_C(Z_{11}) \wedge \mu_C(Z_{12}) \wedge \\ & \mu_C(Z_{13}) \vee \mu_X(Z_1) \wedge \mu_C(Z_2) \wedge \mu_M(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_C(Z_5) \wedge \mu_{Hc}(Z_6) \wedge \mu_C(Z_7) \wedge \mu_C(Z_8) \wedge \mu_C(Z_9) \wedge \mu_{Hc}(Z_{10}) \wedge \mu_C(Z_{11}) \wedge \\ & \mu_{Hc}(Z_{12}) \wedge \mu_B(Z_{13}) \vee \mu_B(Z_1) \wedge \mu_C(Z_2) \wedge \mu_C(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_C(Z_5) \wedge \mu_C(Z_6) \wedge \mu_B(Z_7) \wedge \mu_C(Z_8) \wedge \mu_C(Z_9) \wedge \mu_C(Z_{10}) \\ & \wedge \mu_C(Z_{11}) \wedge \mu_{Hc}(Z_{12}) \wedge \mu_M(Z_{13}) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \mu_{Bc}(Z) = & \mu_M(Z_1) \wedge \mu_{Bc}(Z_2) \wedge \mu_{Bc}(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_B(Z_5) \wedge \mu_{Bc}(Z_6) \wedge \mu_C(Z_7) \wedge \mu_{Bc}(Z_8) \wedge \mu_H(Z_9) \wedge \mu_{Hc}(Z_{10}) \wedge \mu_C(Z_{11}) \wedge \mu_{Hc}(Z_{12}) \wedge \mu_{Hc}(Z_{13}) \vee \\ & \mu_{H1}(Z_1) \wedge \mu_{Bc}(Z_2) \wedge \mu_C(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_B(Z_5) \wedge \mu_{Bc}(Z_6) \wedge \mu_C(Z_7) \wedge \mu_C(Z_8) \wedge \mu_H(Z_9) \wedge \mu_H(Z_{10}) \wedge \mu_{Bc}(Z_{11}) \wedge \mu_C(Z_{12}) \\ & \wedge \mu_M(Z_{13}) \vee \mu_3(Z_1) \wedge \mu_D(Z_2) \wedge \mu_{Bc}(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_B(Z_5) \wedge \mu_{Bc}(Z_6) \wedge \mu_H(Z_7) \wedge \mu_{Bc}(Z_8) \wedge \mu_C(Z_9) \wedge \mu_{Hc}(Z_{10}) \\ & \wedge \mu_{Bc}(Z_{11}) \wedge \mu_{Bc}(Z_{12}) \wedge \mu_B(Z_{13}) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \mu_B(Z) = & \mu_{H1}(Z_1) \wedge \mu_D(Z_2) \wedge \mu_B(Z_3) \wedge \mu_B(Z_4) \wedge \mu_A(Z_5) \wedge \mu_B(Z_6) \wedge \mu_H(Z_7) \wedge \mu_B(Z_8) \wedge \mu_H(Z_9) \wedge \mu_H(Z_{10}) \wedge \mu_B(Z_{11}) \wedge \mu_B(Z_{12}) \wedge \\ & \mu_M(Z_{13}) \vee \mu_M(Z_1) \wedge \mu_D(Z_2) \wedge \mu_{Bc}(Z_3) \wedge \mu_B(Z_4) \wedge \mu_A(Z_5) \wedge \mu_B(Z_6) \wedge \mu_H(Z_7) \wedge \mu_B(Z_8) \wedge \mu_H(Z_9) \wedge \mu_{Hc}(Z_{10}) \wedge \mu_{Bc}(Z_{11}) \\ & \wedge \mu_B(Z_{12}) \wedge \mu_M(Z_{13}) \vee \mu_{H1}(Z_1) \wedge \mu_{Bc}(Z_2) \wedge \mu_{Bc}(Z_3) \wedge \mu_{cB}(Z_4) \wedge \mu_B(Z_5) \wedge \mu_{Bc}(Z_6) \wedge \mu_C(Z_7) \wedge \mu_{Bc}(Z_8) \wedge \mu_C(Z_9) \\ & \wedge \mu_H(Z_{10}) \wedge \mu_{Bc}(Z_{11}) \wedge \mu_{Bc}(Z_{12}) \wedge \mu_C(Z_{13}) \end{aligned} \quad (22)$$

Висновки

Виконаний аналіз факторів, що впливають на прийняття конструктивно-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 ЛІТЕРАТУРИ

1. Лялюк О. Г. Дослідження ефективності будівництва енергозберігаючого покриття / Лялюк О. Г., Закусило М. В. // Тези міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України», м. Вінниця, 13.11.2019 - [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egcu/egcu2019/paper/view/8331>.
2. Щодо пріоритетів реалізації державної політики енергоефективності [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/>
3. Лялюк О. Г. Аналіз застосування енергоефективних покрівель // Лялюк О. Г., Закусило М. В. // Тези конференції ВНТУ, електронні наукові видання, «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи 2020», м. Вінниця, 5.10.2017 - [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8572>
4. Ковальський В. П. Ландшафтний дизайн прилеглої території дошкільних навчальних закладів [Текст] / В. П. Ковальський, Г. І. Лисій // XI Международной научно-практической конференции «Тенденции современной науки – 2016», 30.05 – 07.06.2016. - Science and Education Ltd : Nauka I studia, 2010. - С. 60-64.
5. Ковальський В. П. Комплексні принципи формування архітектурно-планувальних рішень дошкільних навчальних закладів [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, Г. І. Лисій // Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2018), 02 січня-06 червня 2018 р. : збірник матеріалів. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/view/3693>.
6. Лисій Г. І. Формування архітектурного середовища дошкільних навчальних закладів [Електронний ресурс] / Г. І. Лисій // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р.
7. Покриття будівель і споруд : ДБН В.2.6-220:2017 - [Чинний від 2017-06-06]. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 53 с.
8. 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.

9. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница: Универсам-Вінниця, 1999. – 320 с.
10. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение для принятия приближенных решений. - М.: Мир, 1976. -167 с.

REFERENCES

1. Lyalyuk O. H. Doslidzhennya efektyvnosti budivnytstva enerhozberihayuchoho pokryttya / Lyalyuk O. H., Zakusylo M. V. // Tezy mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Enerhoefektyvnist' v haluzyakh ekonomiky Ukrayiny», m. Vinnytsya, 13.11.2019 - [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu/2019/paper/view/8331>
2. Shchodo prioritytetiv realizatsiyi derzhavnoyi polityky enerhoefektyvnosti [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu : <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/>
3. Lyalyuk O. H. Analiz zastosuvannya enerhoefektyvnykh pokrivel' / / Lyalyuk O. H., Zakusylo M. V. // Tezy konferentsiyi VNTU, elektronni naukovi vydannya, «Molod' v nautsi: doslidzhennya, problemy, perspektyvy 2020», m. Vinnytsya, 5.10.2017 - [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8572>
4. Koval's'kyu V. P. Landshaftnyy dyzayn prylehloyi terytoriyi doshkil'nykh navchal'nykh zakladiv [Tekst] / V. P. Koval's'kyu, H. I. Lysiy // XI Mezhdunarodnoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy «Tendentsyy sovremennoy nauky – 2016», 30.05 – 07.06.2016. - Science and Education Ltd : Nauka I studia, 2010. - С. 60-64.
5. Koval's'kyu V. P. Kompleksni pryntsyipy formuvannya arkhitekturno-planuval'nykh rishen' doshkil'nykh navchal'nykh zakladiv [Elektronnyy resurs] / V. P. Koval's'kyu, H. I. Lysiy // Molod' v nautsi: doslidzhennya, problemy, perspektyvy (MN-2018), 02 sichnya-06 chervnya 2018 r. : zbirnyk materialiv. – Vinnytsya : VNTU, 2018. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/view/3693>.
6. Lysiy H. I. Formuvannya arkhitekturnoho seredovyshcha doshkil'nykh navchal'nykh zakladiv [Elektronnyy resurs] / H. I. Lysiy // Materialy XLVI naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 22-24 bereznya 2017
7. Pokryttya budivel' i sporud : DBN V.2.6-220:2017 - [Chynnyy vid 2017-06-06]. – К. : Minrehion Ukrayiny, 2017. – 53 s.
8. Budivel'ni materialy. Materialy rulonni pokrivel'ni ta hidroizolyatsiyi. Zahal'ni tekhnichni umovy : DSTU B.V.2.7-108:2001 - [Chynnyy vid 2002-01-01]. – К. : Minrehion Ukrayiny, 2017. – 53 s.
9. Rotshteyn A. P. Yntellektual'nye tekhnolohy ydentyfykatsyy: mnozhestva, henetycheskye alhorytmy, neyronnye sety / A. P. Rotshteyn. – Vynnytsa: Universam-Vinnytsya, 1999. – 320 s.
10. Zade L. Ponyatyie lynhvystycheskoy peremennoy y ee pryumenenye dlya prynyatyua pryblzhennykh reshenyy. - М.: Мур, 1976. -167 с.

Лялюк Олена Георгіївна – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет. ORCID 0000-0001-6446-9244, e-mail: Lyalyuk74@gmail.com.

Лялюк Андрій Олександрович – студент, Вінницький національний технічний університет.

O. Lyalyuk
A. Lyalyuk

MODELING OF THE SYSTEM OF ADOPTION OF STRUCTURAL TECHNICAL DECISIONS OF SELECTION OF ENERGY SAVING BUILDING COVER

Vinnytsia National Technical University

The classification of factors of influence on the rational choice of energy-saving coating is developed. A mathematical apparatus was used to predict the energy efficiency of the coating. It is based on the theory of fuzzy logic. Models of making structural and technological decisions on the choice of energy saving roof at different stages of investment activity in construction are developed. The offered hierarchical system of mathematical models allows to choose an energy-saving roof depending on the influence of natural-geographical, architectural-planning and engineering-technological parameters of a construction object on the basis of fuzzy logical expressions "IF THAT". Levels of linguistic variables were evaluated. They link the factors of influence. By dephasing the output indicators, a fuzzy logical conclusion is converted into a quantitative value. The quantitative value corresponds to the predicted value of the energy efficient roof.

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

Lyalyuk Olena – candidate of technical sciences, associate professor, Vinnytsia National Technical University.

Lyalyuk Andriy – student, Vinnytsia National Technical University.

А. Г. Лялюк
А.О. Лялюк

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВЫБОРУ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЯ

Винницкий национальный технический университет

Разработана классификация факторов, которые влияют на рациональный выбор энергосберегающего покрытия. Применялся математический аппарат, основанный на теории нечеткой логики, для прогнозирования энергоэффективности покрытия. Разработаны модели принятия конструктивно-технологических решений выбору энергосберегающего покрытия на разных этапах инвестиционной деятельности в строительстве. Предложенная иерархическая система математических моделей дает возможность выбрать энергосберегающее покрытие в зависимости от влияния природно - географических, архитектурно - планировочных та инженерно - технологических параметров строительного объекта на основе нечетких логических выражений "ЕСЛИ-ТО". Выполнена оценка уровней лингвистических переменных, которые устанавливают связь между факторами влияния. Путем дефазификации исходных показателей нечеткий логический результат преобразуется в количественную величину, которая соответствует прогнозируемому значению энергосберегающего покрытия.

Ключевые слова: энергосберегающее покрытие, лингвистическая переменная, факторы влияния, моделирование, нечеткий терм.

Лялюк Елена Георгиевна – к.т.н., доцент, Винницкий национальный технический университет.

Лялюк Андрей Александрович – студент, Винницкий национальный технический университет.