

# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 699.86 (69.059)

DOI 10.31649/2311-1429-2020-2-77-86

Г. С. Ратушняк

В. В. Панкевич

## ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ЛІНГВІСТИЧНИМИ ЗМІННИМИ

Вінницький національний технічний університет

Запропоновано класифікація факторів, що впливають на прийняття рішення при оцінюванні теплопровідності теплоізоляційної оболонки будівлі. Зв'язки параметрів теплотехнічного стану теплозахисної оболонки будівель та її енергоефективності представлено у вигляді дерева логічного висновку. Дерево логічного висновку на системному рівні характеризує співвідношення параметрів, що впливають на теплопровідність.

Для створення математичної моделі з експертного оцінювання технічного стану теплоізоляційної оболонки будівлі доцільно використовувати апарат нечіткої логіки та теорію нечітких множин. Проведено формалізацію кількісних та якісних факторів впливу на теплоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі. При оцінюванні технічного стану теплоізоляційної оболонки будівлі (енергоефективності) кількісні та якісні фактори впливу виражені через лінгвістичні змінні. Оцінка рівнів лінгвістичних змінних представлена терм-множинами. Теплопровідності як фактори теплоізоляційної оболонки будівлі ув'язана з нормативною класифікацією енергетичної ефективності будівель, що діє в Україні.

**Ключові слова:** теплопровідність, енергоефективність, теплоізоляційна оболонка, експертна оцінка, дерево логічного висновку, лінгвістичні змінні, терм-множина

### Вступ

Теплоізоляційна оболонка це система огороджувальних конструкцій будинку, що забезпечує збереження теплоти для опалення та/або охолодження приміщень [1]. Теплоізоляційна оболонка, що не відповідає будівельним нормам викликає порушення температурного та вологісного режиму приміщень, це, у свою чергу, призводить до збільшення енерговитрат будинку на забезпечення санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату.

Питання оцінювання енергоефективності якості теплоізоляційної оболонки будівлі є суттєвим на етапі проектування та на етапі експлуатації житлових будівель. На етапі експлуатації будівель таке питання найчастіше виникає при проведенні енергоаудиту, оцінюванні технічного стану з метою термомодернізації та реконструкції будівель. Оцінка якості теплоізоляційної оболонки будівлі є складовою при визначенні енергетичної ефективності будівлі [2].

### Актуальність дослідження

Вирішення енергетичних проблем у житлово-комунальному господарств передбачає підвищення вимог щодо рівня теплоізоляції огороджувальних конструкцій будівлі. Впровадження енерго-ресурсозберігаючих технологій при термомодернізації існуючого житлового фонду передбачає проведення енергоаудиту теплоізоляційних оболонок будівель.

Методологія енергоаудиту будівель передбачає системний аналіз, який направлений на пошук та обґрунтування оптимальних рішень щодо оцінювання теплоізоляційних показників огороджувальних конструкцій.

Вимоги будівельних норм [1, 2] направлені на збільшення енергетичної ефективності теплоізоляційної оболонки будівель. На сьогодні є три основних методи дослідження енергетичної ефективності теплоізоляційної оболонки будівлі:

- візуально-інструментальне обстеження, яке дозволяє виявити дефекти та визначити відхилення параметрів теплоізоляційної оболонки від нормативних вимог;
- розрахунки, що спрямовані на моделювання процесів теплопередачі через огороджувальні конструкції;

- дослідження неруйнівними - тепловізійними методами контролю теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій.

Кожен метод має свою специфіку і визначає тільки частину параметрів, які впливають на енергетичну ефективність теплоізоляційної оболонки будівлі. Комплексний підхід, який дає змогу провести оцінку якості теплоізоляційної оболонки в цілому на основі багатофакторного аналізу з врахуванням чинних вимог, відсутній. Таким чином, теоретичне обґрунтування з оцінювання стану теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій з використанням сучасного математичного апарату моделювання впливу кількісних та якісних чинників на цільову функцію є актуальною задачею.

### Огляд досліджень та публікацій

Проблема підвищення енергетичної ефективності теплоізоляційної оболонки житлових будівель розглядається у вітчизняних [4, 5, 6, 11, 12] та зарубіжних в роботах [13-17].

В роботі [4] визначено основні тенденції та шляхи підвищення енергоефективності будівель. В роботі [5] викладено основи енергозберігаючих технологій у будівництві та наведено розрахунки оптимальної товщини теплоізоляційної оболонки будинків та вологісного режиму огорожувальних конструкцій згідно з чинними стандартами. В статті [6] наведено етапи реалізації проектів по енергозбереженню з урахуванням послідовності, яка передбачена нормативами, розраховані строки окупності різних варіантів енергоефективних проектів. В роботі [11] визначено вимоги до енергоефективності, та наведено рекомендації з енергозбереження й заходи з підвищення енергоефективності.

В роботі [12] дана комплексна оцінка енергоефективності і теплового захисту багатоквартирних житлових будинків, що включає в себе: візуально-інструментальне обстеження, теплоізоляційний контроль якості теплового захисту, розрахункову оцінку теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій. В статтях [13,14] визначено загальні питання енергоефективності будівель різного призначення та способи підвищення теплового захисту будівель. Стаття [15] висвітлює методіку неруйнівного контролю теплотехнічного стану огорожувальних конструкцій, що дозволяє в натурних умовах визначити їх теплозахисні властивості, вологість и теплопровідність. В роботі [16] розглянуто результати комплексної оцінки енергоефективності житлового будинку на основі натурних досліджень і розрахунку теплоенергетичних характеристик та намічено подальші шляхи енергозбереження.

Огляд результатів зарубіжних та вітчизняних досліджень з проблеми підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель свідчить, що питання розроблення методів з оцінювання теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій є недостатньо вирішеним.

### Постановка задачі

Метою роботи є оцінювання стану теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій та створення теоретичної основи математичної моделі експертної системи оцінки якості теплоізоляційної оболонки будівель. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- провести формалізацію та встановити ієрархічні зв'язки між факторами, що впливають на прийняття оціночного рішення щодо енергетичної ефективності теплоізоляційної оболонки будівель;
- обґрунтування використання математичного апарату, нечітких множин та лінгвістичних змінних для оцінювання ефективності теплоізоляційної оболонки будівлі.
- виконати порівняльний аналіз результатів оцінювання кількісних та якісних параметрів теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій з нормативною класифікацією енергетичної ефективності теплоізоляційної оболонки будівель.

### Результати дослідження

Для розробки основи експертної системи були зібрані фактори, що впливають на прийняття рішення якості теплоізоляційної оболонки. За результатами аналізу існуючих норм проектування теплоізоляційної оболонки, будівництва і експлуатації житлових будівель [1, 2] та досліджень за даним напрямком запропонована класифікація факторів, що впливають на енергоефективність теплоізоляційної оболонки, яка представлена на рис. 1.

Фактори, що впливають на енергоефективність теплоізоляційної оболонки згруповані в систему, за чотирма ознаками: теплозахист стін, теплозахист вікон та входних дверей, теплозахист підвалу, теплозахист горища та перекриття. При оцінюванні стану теплоізоляційної оболонки пропонується враховувати 15 параметрів, які містять як кількісні так якісні показники.

Розроблена класифікація факторів, що впливають на прийняття оціночного рішення, встановлює ієрархічні зв'язки між ними.



Рисунок 1 – Фактори впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі

Для розроблення математичної моделі оцінювання теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій ієрархічний взаємозв'язок між параметрами стану теплоізоляційної оболонки будівлі та факторами впливу на неї графічно представлено у вигляді дерева логічного висновку (рис 2.).

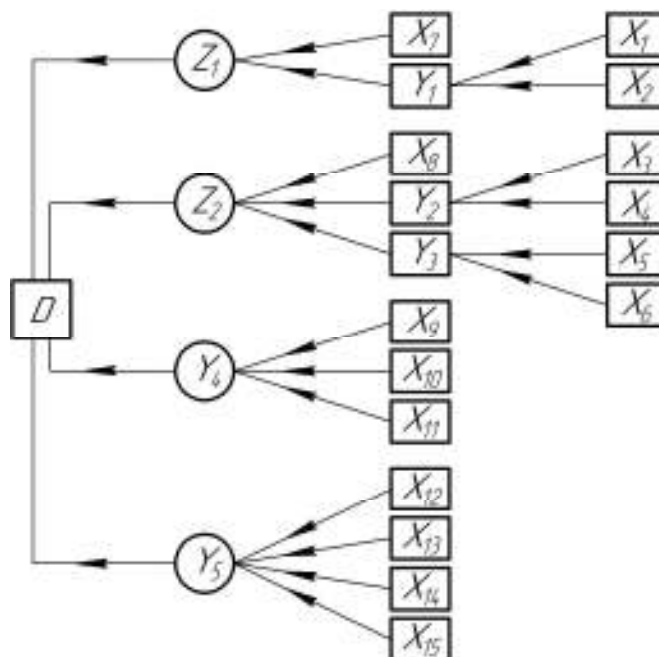


Рисунок 2 – Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій

Корінь дерева логічного висновку (рис. 2) відповідає стану теплоізоляційної оболонки будівлі за якою оцінюється її енергоефективність, а висячі вершини – факторам, що кількісно та якісно впливають на його величину.

Оцінка стану теплоізоляційних показників теплоізоляційної оболонки будівлі (енергоефективності) представлено через лінгвістичну змінну  $D$ .

Укрупнені показники є факторами впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі:  $Z_1$  – теплозахист стін;  $Z_2$  – теплозахист вікон та входних дверей,  $Y_4$  – теплозахист підвалу,  $Y_5$  – теплозахист горища та перекриття.

Відповідно на лінгвістичну змінну  $Z_1$  впливає сукупність факторів:

- $X_7$  – утеплення зовнішніх стін;
- $Y_1$  – виконання містків холоду по зовнішніх стінах.

Укрупнений показник  $Y_1$  визначається лінгвістичними змінними:

- $X_1$  – виконання містків холоду у місцях примикання біля віконних і дверних блоків;
- $X_2$  – виконання містків холоду, що розташовані по зовнішній стіні.

На лінгвістичну змінну  $Z_2$  впливає сукупність факторів:

- $X_8$  – скління балконів і лоджій;
- $Y_2$  – стан входних дверей;
- $Y_3$  – стан віконних блоків, включно з балконними дверима.

Укрупнений показник  $Y_2$  визначається лінгвістичними змінними:

- $X_3$  – наявність та стан утеплювача входних дверей;
- $X_4$  – наявність та стан ущільнювача входних дверей.

Укрупнений показник  $Y_3$  визначається лінгвістичними змінними:

- $X_5$  – стан скління віконних блоків;
- $X_6$  – наявність та стан ущільнювача віконних блоків.

На лінгвістичну змінну  $Y_4$  впливає сукупність факторів:

- $X_9$  – утеплення стін підвалу;
- $X_{10}$  – утеплення підлоги (перекриття над неопалювальними підвалами);
- $X_{11}$  – стан віконних блоків у підвалі.

На лінгвістичну змінну  $Y_5$  впливає сукупність факторів:

- $X_{12}$  – утеплення даху та горища;
- $X_{13}$  – стан віконних блоків горища;
- $X_{14}$  – виконання вузлів примикання (містків холоду) на горищі;
- $X_{15}$  – утеплення вентиляційних каналів.

Для побудови математичної моделі експертної системи використано теорію нечітких множин [7]. Теорія нечітких множин передбачає представлення параметрів стану у вигляді лінгвістичних змінних і ґрунтується на механізмі нечіткого логічного висновку з використанням бази знань. База знань в цьому випадку будується на експертно-логічних правилах “ЯКЩО-ТО”. Входи об’єкта, що діагностується, і його вихід розглядаються як лінгвістичні змінні, які оцінюються нечіткими термами [7].

Теорія нечітких множин добре себе зарекомендувала у побудові експертних моделей та набула досить широке застосування в задачах технічного діагностування в будівництві [6 - 9].

Системні зв'язки відповідно до дерева логічного висновку (рис.2) можна подати у вигляді співвідношень:

$$D = f(Z_1, Z_2, Y_4, Y_5). \quad (1)$$

$$Z_1 = f(X_7, Y_1). \quad (2)$$

$$Z_2 = f(X_8, Y_2, Y_3). \quad (3)$$

$$Y_1 = f(X_1, X_2). \quad (4)$$

$$Y_2 = f(X_3, X_4). \quad (5)$$

$$Y_4 = f(X_9, X_{10}, X_{11}). \quad (6)$$

$$Y_5 = f(X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}). \quad (7)$$

Кожна лінгвістична зміна становить відповідну нечітку множину - деяку властивість, яка розглядається як лінгвістичний терм. Для оцінки рівнів лінгвістичних змінних використано терм-множини:

$$T(D) = \langle \text{незадовільно (н), задовільно (з), добре (д), відмінно (в)} \rangle.$$

$$T(Z_1) = \langle \text{незадовільно, задовільно, добре, відмінно} \rangle.$$

$$T(Z_2) = \langle \text{незадовільно, задовільно, добре} \rangle.$$

$$T(Y_1) = \langle \text{незадовільно, задовільно} \rangle.$$

$$T(Y_2) = \langle \text{незадовільно, задовільно, добре} \rangle.$$

$$T(Y_3) = \langle \text{незадовільно, задовільно, добре} \rangle.$$

$$T(Y_4) = \langle \text{незадовільно, задовільно, добре, відмінно} \rangle.$$

$$T(Y_5) = \langle \text{незадовільно, задовільно, добре, відмінно} \rangle.$$

$$T(X_1) = \langle \text{враховані, невраховані} \rangle.$$

Враховані – оцінка передбачає врахування містків холоду в розрахунках при визначенні товщини утеплювача, або підтвердженого вимірюванням нормованого значення тепловтрат в у місцях примикання віконних та дверних блоків.

Невраховані – оцінка передбачає, що теплотехнічні розрахунки проведенні без врахування містків холоду, або відсутність підтвердженого вимірюваннями нормованого значення тепловтрат в у місцях примикання віконних та дверних блоків.

$$T(X_2) = \langle \text{враховані, невраховані} \rangle.$$

Враховані – оцінка передбачає врахування містків холоду в розрахунках при визначенні товщини утеплювача, або підтвердженого вимірюванням нормованого значення тепловтрат в у місцях теплопровідних включень

Невраховані – оцінка передбачає, що теплотехнічні розрахунки проведенні без врахування містків холоду, або відсутність підтвердженого вимірюваннями нормованого значення тепловтрат в у місцях теплопровідних включень.

$$T(X_3) = \langle \text{незадовільно, задовільно, добре} \rangle.$$

Незадовільно – не відповідає розрахунковій товщині та параметрам утеплювача.

Задовільно – відповідає розрахунковій товщині та параметрам утеплювача.

Добре – перевищує розрахункову товщину та параметри утеплювача на 10 % і більше (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

$$T(X_4) = \langle \text{немає, незадовільний, задовільний} \rangle.$$

Немає – ущільнювач входних дверей відсутній.

Незадовільний – ущільнювач входних дверей є, але порушена цілісність контуру та ущільнювач має значні пошкодження, які допускають відчутний протяг.

Задовільний – ущільнювач входних дверей якісний, знаходиться в доброму стані, немає суттєвих пошкоджень, не допускає відчутного протягу.

$T(X_5) = < \text{незадовільно, задовільно, добре} >$ .

Незадовільно – відсутнє скління, або скління не відповідає існуючим нормам.

Задовільно – скління виконано з використанням енергозберігаючих технологій і перевищує нормативні значення термічного опору більш ніж на 30 %.

Добре – скління відповідає існуючим нормам

$T(X_6) = < \text{немає, незадовільний, задовільний} >$ .

Немає – ущільнювач віконного блоку відсутній.

Незадовільний – ущільнювач віконного блоку є, але порушена цілісність контуру та ущільнювач має значні пошкодження, які допускають відчутний протяг.

Задовільний – ущільнювач віконного блоку якісний, знаходиться в доброму стані, немає суттєвих пошкоджень, не допускає відчутного протягу.

$T(X_7) = < \text{незадовільно, задовільно, добре, відмінно} >$ .

Незадовільно – не відповідає існуючим нормам термічного опору зовнішніх стін, або відсутній утеплювач.

Задовільно – стан зовнішніх стін відповідає існуючим нормам термічного опору або розрахунковий приведений термічний опір стіни перевищує нормативний до 10% (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

Добре – фактичний термічний опір перевищує розрахунковий приведений термічний опір зовнішніх стін від 10 до 49 %. (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

Відмінно – фактичний термічний опір перевищує розрахунковий приведений термічний опір зовнішніх стіни більше ніж на 49 %. (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

$T(X_8) = < \text{незадовільно, задовільно, добре} >$ .

Незадовільно – відсутнє скління, або скління не відповідає існуючим нормам.

Задовільно – скління виконано з використанням енергозберігаючих технологій і перевищує нормативні значення термічного опору більш ніж на 30 %.

Добре – скління відповідає існуючим нормам

$T(X_9) = < \text{незадовільно, задовільно, добре, відмінно} >$ .

Незадовільно – не відповідає існуючим нормам термічного опору стін підвалу, або відсутній утеплювач на відповідну глибину (1 м для будівлі з підвалом, 0,5 м для – без підвалу)

Задовільно – стан з стін підвалу відповідає існуючим нормам термічного опору або розрахунковий приведений термічний опір стіни перевищує нормативний до 10 % (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

Добре – фактичний термічний опір перевищує розрахунковий приведений термічний опір стіни підвалу від 10 до 49 % (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

Відмінно – фактичний термічний опір перевищує розрахунковий приведений термічний опір стіни підвалу більше ніж на 49 %. (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

$T(X_{10}) = < \text{незадовільно, задовільно, добре, відмінно} >$ .

Незадовільно – не відповідає існуючим нормам термічного опору підлоги (перекриття над неопалювальними підвалами) або відсутній утеплювач підлоги.

Задовільно – відповідає існуючим нормам термічного опору підлоги (перекриття над неопалювальними підвалами) або розрахунковий приведений термічний опір конструкції перевищує нормативний до 10 %.

Добре – фактичний термічний опір конструкції підлоги (перекриття над неопалювальними підвалами) перевищує розрахунковий приведений термічний опір від 10 до 49% (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

Відмінно – фактичний термічний опір перевищує розрахунковий приведений термічний опір конструкції підлоги (перекриття над неопалювальними підвалами) більше ніж на 49% (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

$T(X_{11}) = < \text{незадовільно, задовільно, добре} >$ .

Незадовільно – відсутнє скління, або скління не відповідає існуючим нормам, ущільнювач віконного блоку відсутній або ущільнювач віконного блоку є, але порушена цілісність контуру або ущільнювач має значні пошкодження, які допускають відчутний протяг;

Задовільно – скління відповідає існуючим нормам; ущільнювач віконного блоку в доброму стані, не допускає відчутного протягу

Добре – скління виконано з використанням енергозберігаючих технологій і перевищує нормативні значення термічного опору більш ніж на 30 %; ущільнювач віконного блоку в доброму стані, не допускає відчутного протягу.

$T(X_{12}) = < \text{незадовільно, задовільно, добре, відмінно} >$ .

Незадовільно – не відповідає існуючим нормам термічного опору конструкції даху та горища або відсутній утеплювач

Задовільно – стан конструкції даху та горища відповідає існуючим нормам термічного опору або розрахунковий приведений термічний опір перевищує нормативний до 10 % (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

Добре – фактичний термічний опір перевищує розрахунковий приведений термічний опір конструкції даху та горища від 10 до 49 % (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

Відмінно – фактичний термічний опір перевищує розрахунковий приведений термічний опір конструкції даху та горища більше ніж на 49 % (по аналогії визначення енергетичної ефективності будівель [2]).

$T(X_{13}) = < \text{незадовільно, задовільно, добре} >$ .

Незадовільно – відсутнє скління, або скління не відповідає існуючим нормам, ущільнювач віконного блоку відсутній або ущільнювач віконного блоку є, але порушена цілісність контуру або ущільнювач має значні пошкодження, які допускають відчутний протяг.

Задовільно – скління відповідає існуючим нормам; ущільнювач віконного блоку в доброму стані, не допускає відчутного протягу.

Добре – скління виконано з використанням енергозберігаючих технологій і перевищує нормативні значення термічного опору більш ніж на 30 %; ущільнювач віконного блоку в доброму стані, не допускає відчутного протягу.

$T(X_{14}) = < \text{враховані, невраховані} >$ .

Враховані – оцінка передбачає врахування містків холоду в розрахунках при визначенні товщини утеплювача, або підтвердженого вимірюванням нормованого значення тепловтрат в у місцях теплопровідних включень

Невраховані – оцінка передбачає, що теплотехнічні розрахунки проведенні без врахування містків холоду, або відсутність підтвердженого вимірюваннями нормованого значення тепловтрат в у місцях теплопровідних включень.

$T(X_{15}) = < \text{незадовільно, задовільно} >$ .

Незадовільно – відсутнє утеплення вентиляційних каналів, або в стані (якість) яке не відповідає існуючим нормам.

Задовільно – утеплення вентиляційних каналів є та його стан (якість) відповідає існуючим нормам.

Для того щоб система оцінка технічного стану теплоізоляційної оболонки будівлі (енергоєфективності) відповідала діючим стандартам проведемо ув'язку оцінки параметрів теплоізоляційної оболонки з нормативною класифікацією енергетичної ефективності будівель.

Клас енергетичної ефективності будівлі – розрахунковий рівень енергетичної ефективності будівлі або її відокремлених частин, визначений за інтервалом значень показників енергетичної ефективності, що встановлюються відповідно до вимог законодавства з урахуванням гармонізованих стандартів Європейського Союзу у сфері енергетичної ефективності будівель [2].

Енергетична ефективність будівель визначається як «А», «В», «С», «D», «E», «F», «G», (від високого рівня "А" до низького "G") відповідно до нормативної методики [2]. Систему термножин  $D$  технічного стану теплоізоляційної оболонки будівлі ув'яжемо з класифікацією енергетичної ефективності будівель.

Оцінку параметрів теплоізоляційної оболонки будинку визначаємо на основі різниці в % розрахункового або фактичного значення тепловитрат конструкції, від нормативного значення, наведено в таблиці 1.

Для проведення формалізації лінгвістичних змінних і відповідно термножини формуються нечіткі бази знань. Нечітка база знань являє аналог етапу структурної ідентифікації

Таблиця 1

**Оцінка теплоізоляційної оболонки будівлі**

Оцінка теплоізоляційної оболонки будівлі		Різниця в % розрахункового або фактичного значення тепловитрат, від нормативного значення [2]
Відповідно до методики [2]	Терм-множина лінгвістичної змінної $D$	
A	відмінно	Мінус 50 та менше
B	добре	Від мінус 49 до мінус 10
C	задовільно	Від мінус 9 до 0
D	незадовільно	Від 1 до 25
E		Від 26 до 50
F		Від 51 до 75
G		76 та більше

Таблиця 2

**Фрагмент нечіткої база знань для визначення стану теплоізоляційної оболонки будівлі  $D$**

$D$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_4$	$Y_5$
незадовільно	задовільно	незадовільно	незадовільно	задовільно
незадовільно	задовільно	задовільно	задовільно	незадовільно
задовільно	добре	задовільно	задовільно	задовільно
задовільно	задовільно	задовільно	задовільно	добре
добре	відмінно	відмінно	добре	задовільно
добре	добре	відмінно	добре	добре
відмінно	відмінно	відмінно	відмінно	добре

**Висновки**

Проаналізовано фактори, що впливають на прийняття рішення при визначенні теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій будівель. Ієрархічних зв'язок параметрів стану теплозахисної оболонки будівель представлено графічно у вигляді дерева логічного висновку. Проведено формалізацію кількісних та якісних факторів впливу на теплоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі. Для оцінки рівнів лінгвістичних змінних використано терм-множини.

Системні зв'язки відповідно до дерева логічного висновку подано у вигляді співвідношень (1)-(7). Для кореляції запропонованої моделі з діючими стандартам проведено порівняльний аналіз оцінки технічного стану теплоізоляційної оболонки будівлі (енергоефективності) з нормативною класифікацією енергетичної ефективності будівель.

**Перспектива подальших досліджень**

Проведені дослідження є теоретичною основою для розробки математичної моделі експертної системи, яка направлена на забезпечення інтелектуальної підтримки прийняття рішення при визначенні теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій та оцінювання теплоізоляційної оболонки будівлі.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Методика визначення енергетичної ефективності будівель Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 11 липня 2018 року № 169 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 16 липня 2018 р. за № 822/32274 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 - [Чинний від 2016-04-01]. - К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2016 р. – 72 с.– (Державні будівельні норми).
3. Ратушняк Г. С., Панкевич В. В. Ієрархічна класифікація факторів впливу на підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2020. - № 1. - С. 87-94. DOI 10.31649/2311-1429-2019-2-204-209
4. Фаренюк Г.Г., Тишковець А.В. Світові тенденції підвищення енергоефективності будівель //Наука та будівництво, 2017 Випуск 4, С.4-10.



5. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2013. – 236 с.
6. Лялюк О. Г. Управління факторами, які впливають на вибір фінансового механізму енергозберігаючого проекту /О. Г. Лялюк, О. Г. Ратушняк, А. О. Лялюк, В. В. Панкевич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2018. - № 1. - С. 87-94.- Режим доступу [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmbk\\_2018\\_1\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmbk_2018_1_16).
7. Панкевич О.Д., Штовба С.Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 108 с. Панкевич\_Штовба.
8. Ратушняк Г. С., Ободяньська О.І. Модель багатофакторної оцінки технічного стану - № 1. - С. 125-131.
9. Панкевич О. Д. Огляд застосування теорії нечітких множин в будівництві [Текст] / О. Д. Панкевич, В. В. Панкевич // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві (2018)", 13-15 листопада 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 266-268.
10. О. Д. Панкевич, С. Д. Штовба, Застосування нечітких моделей для діагностики будівельних конструкцій// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010.- № 4, с. 32-36.
11. Цибулько А. Энергоэффективность информационного посібник [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/NOP\\_Energoefektivnist.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/NOP_Energoefektivnist.pdf).
12. Корниенко С.В. Комплексная оценка энергоэффективности и тепловой защиты зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014, №11 (26).
13. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. (2014). The Energy-Efficient Heat Insulation Thickness for Systems of Hinged Ventilated Facades. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 941– 944. pp. 905–920.
14. Alihodzic R., Murgul V., Vatin N., Aronova E., Nikolic V., Tanić M., Stanković D. (2014). Renewable Energy Sources Used to Supply Pre-School Facilities with Energy in Different Weather Conditions. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 624. pp. 604–612.
15. Крышов С.И., Аленичева Е.В., Карина М.Г. Проблемы мониторинга ограждающих конструкций зданий на стадии возведения // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 585–588.
16. Korniyenko S.V. The Experimental Analysis and Calculative Assessment of Building Energy Efficiency. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 618. pp. 509–513.
17. Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г., Управління енергозберігаючими проектами термореновації будівель: навч. посібник.- Вінниця. – УНІВЕРСУМ-Вінниця 2009. – 130 с.

## REFERENCES

1. Metodyka vyznachennya enerhetychnoyi efektyvnosti budivel' Nakaz Ministerstva rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrainy 11 lypnya 2018 roku № 169 Zareyestrovano v Ministerstvi yustytysyi Ukrainy 16 lypnya 2018 r. za № 822/32274 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>.
2. Teplova izolyatsiya budivel': DBN V.2.6-31:2016 - [Chynnyy vid 2016-04-01]. - K.: Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrainy, 2016 r. – 72 s.– (Derzhavni budivel'ni normy).
3. Ratushnyak H. S., Pankevych V. V. Iyerarkhichna klasyfikatsiya faktoriv vplyvu na pidvyshchennya enerhoefektyvnosti teploizolyatsiyanoi obolonky budivel' // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. - 2020. - № 1. - S. 87-94. DOI 10.31649/2311-1429-2019-2-204-209.
4. Farenjuk H.H., Tyshkovets' A.V. Svitovi tendentsiyi pidvyshchennya enerhoefektyvnosti budivel' //Nauka ta budivnytstvo, 2017 Vypusk 4, S.4-10.
5. Sanyts'kyu M. A., Poznyak O. R., Marushchak U. D. Enerhozberihayuchi tekhnolohiyi v budivnytstvi: navch. posibnyk. L'viv: Natsional'nyy universytet «L'viv's'ka politekhnika», 2013. – 236 s.
6. Lyalyuk O. H. Upravlinnya faktoramy, yakі vplyvayut' na vybir finansovoho mekhanizmu enerhozberihayuchoho proektu /O. H. Lyalyuk, O. H. Ratushnyak, A. O. Lyalyuk, V. V. Pankevych // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. -2018. - № 1. - S. 87-94.- Rezhym dostupu [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmbk\\_2018\\_1\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmbk_2018_1_16).
7. Pankevych O.D., Shtovba S.D. Diahnostuvannya trishchyn budivel'nykh konstruktsiy za dopomohoyu nechitkykh baz znan'. Monohrafiya. Vinnytsya: UNIVERSUM–Vinnytsya, 2005. – 108 s. Pankevych\_Shtovba.
8. Ratushnyak H. S., Obodyans'ka O.I. Model' bahatofaktornoyi otsinky tekhnichnoho stanu - № 1. - S. 125-131.
9. Pankevych O. D. Ohlyad zastosuvannya teoriyi nechitkykh mnozhyn v budivnytstvi [Tekst] / O. D. Pankevych, V. V. Pankevych // Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi "Innovatsiyini tekhnolohiyi v budivnytstvi (2018)", 13-15 lystopada 2018 r. – Vinnytsya : VNTU, 2018. – S. 266-268.
10. O. D. Pankevych, S. D. Shtovba, Zastosuvannya nechitkykh modeley dlya diahnostyky budivel'nykh konstruktsiy// Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. – 2010.- № 4, s. 32-36.
11. Tsybul'ko A. Enerhoefektyvnist' informatsiynoho posibnyk [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/NOP\\_Energoefektivnist.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/06/NOP_Energoefektivnist.pdf)
12. Korniyenko S.V. Kompleksnaya otsenka énerhoéffektyvnosti y teplovoy zashchyty zdanyy // Stroytel'stvo unikal'nykh zdanyy y sooruzhenyy, 2014, №11 (26)
13. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. (2014). The Energy-Efficient Heat Insulation Thickness for Systems of Hinged Ventilated Facades. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 941– 944. pp. 905–920.
14. Alihodzic R., Murgul V., Vatin N., Aronova E., Nikolic V., Tanić M., Stanković D. (2014). Renewable Energy Sources Used to Supply Pre-School Facilities with Energy in Different Weather Conditions. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 624. pp. 604–612.
15. Kryshov S.Y., Alenycheva E.V., Karyna M.H. Problemy monytorynha ohrazhdayushchykh konstruktsiy zdanyy na stadyi vozvedeniyya // Academia. Arkhytektura y stroytel'stvo. 2010. № 3. S. 585–588
16. Korniyenko S.V. The Experimental Analysis and Calculative Assessment of Building Energy Efficiency. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 618. pp. 509–513. 17. Ratushnyak H. S., Ratushnyak O. H., Upravlinnya enerhozberihayuchymy proektamy termorenovatsii budivel': navch. posibnyk.- Vinnytsya. – UNIVERSUM-Vinnytsya 2009. – 130 s.

*Ратушняк Георгій Сергійович* – професор кафедри ІСБ, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, e-mail: [ratushnyak@vntu.edu.ua](mailto:ratushnyak@vntu.edu.ua) ORCID 0000-0001-9656-5150.

*Панкевич Володимир В'ячеславович* – аспірант факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, e-mail: [pankvova82@gmail.com](mailto:pankvova82@gmail.com). ORCID 0000-0002-1929-8172.

**G. Ratushnyak  
V. Pankevych**

## ASSESSMENT OF THERMAL INSULATION INDICATORS IN GARDENED CONSTRUCTIONS BUDIVEL LINGUISTIC WINTERS

Vinnitsia National Technical University

The classification of the factors influencing decision-making at an estimation of thermal conductivity of a heat-insulating cover of the building is offered. The relationship between the parameters of the thermal state of the thermal insulation of buildings and its energy efficiency is presented in the form of a logical conclusion tree. The logical inference tree at the system level characterizes the ratio of parameters that affect thermal conductivity.

To create a mathematical model for expert assessment of the technical condition of the thermal insulation of the building, it is advisable to use the apparatus of fuzzy logic and fuzzy set theory. The formalization of quantitative and qualitative factors influencing the thermal efficiency of the building insulation shell has been carried out. When assessing the technical condition of the thermal insulation of the building (energy efficiency), quantitative and qualitative factors of influence are expressed through linguistic variables. Estimation of levels of linguistic variables is represented by term sets. Thermal conductivity as a factor in the thermal insulation of a building is related to the normative classification of energy efficiency of buildings in force in Ukraine.

**Keywords:** thermal conductivity, energy efficiency, thermal insulation shell, expert evaluation, logical tree, linguistic variables, term set.

*Ratushnyak Georgiy*, Professor, Department of ISB, Head of the Department of Engineering Systems in Construction, e-mail: [ratushnyak@vntu.edu.ua](mailto:ratushnyak@vntu.edu.ua) ORCID 0000-0001-9656-5150.

*Pankevych Volodymyr*, postgraduate Faculty for Civil Engineering, Thermal Power Engineering and Gas Supply, e-mail: [pankvova82@gmail.com](mailto:pankvova82@gmail.com) ORCID 0000-0002-1929-8172.

**Г. С. Ратушняк  
В. В. Панкевич**

## ОЦЕНКА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ЛИНГВИСТИЧЕСКИМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

Винницкий национальный технический университет

Предложено классификацию факторов, влияющих на принятие решения при оценке теплопроводности теплоизоляционной оболочки здания. Связи параметров теплотехнического состояния теплозащитной оболочки зданий с её энергоэффективностью представлено в виде дерева логического вывода. Дерево логического вывода на системном уровне характеризует соотношение параметров, влияющих на теплопроводность.

Для создания математической модели для экспертной оценки технического состояния теплоизоляционной оболочки здания целесообразно использовать аппарат нечеткой логики и теорию нечетких множеств. Проведена формализация количественных и качественных факторов влияния на теплоэффективность теплоизоляционной оболочки здания. При оценке технического состояния теплоизоляционной оболочки здания (энергоэффективности) количественные и качественные факторы влияния выражены через лингвистические переменные. Оценка уровней лингвистических переменных представлена терм-множествами. Теплопроводности как факторы теплоизоляционной оболочки здания увязана с нормативной классификации энергетической эффективности зданий, действует в Украине.

**Ключевые слова:** теплопроводность, энергоэффективность, теплоизоляционная оболочка, экспертная оценка, дерево логического вывода, лингвистические переменные, терм-множество

*Ратушняк Георгий Сергеевич* – професор кафедри ІСС, заведуючий кафедрой інженерних систем в будівництві, e-mail: [ratushnyak@vntu.edu.ua](mailto:ratushnyak@vntu.edu.ua) ORCID 0000-0001-9656-5150.

*Панкевич Володимир В'ячеславович* – аспірант факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, e-mail: [pankvova82@gmail.com](mailto:pankvova82@gmail.com). ORCID 0000-0002-1929-8172.