

УДК 692.82

професор Георгій Ратушняк,
ratusnag@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9656-5150,

аспірант Андрій Лялюк,
1b16blyalyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4803-1629

Вінницький національний технічний університет

ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ НЕЧІТКИМИ МНОЖИНАМИ ТА ЛІНГВІСТИЧНИМИ ЗМІННИМИ

Анотація. Відповідно до енергетичної стратегії Європейського союзу планується суттєве впровадження інноваційних технологій декарбонізації шляхом реалізації енергоефективних технологій забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях будівель. Вирішенню цієї проблеми присвячена відповідна законодавча база України стосовно підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель.

Розвиток інструментарію прогнозування енергоефективності зовнішніх огороджувальних конструкцій будівель протягом їхнього життєвого циклу потребує оцінки впливу визначальних параметрів, які характеризуються кількісними та якісними значеннями. Визначення значень цих параметрів експериментальним шляхом дороговартісне та в багатьох випадках неможливе з заданою достовірністю. Як джерело необхідної інформації доцільно використовувати експертні оцінки впливу визначальних параметрів на прогнозовану енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівель.

Для розроблення складової експертно-моделювальної системи інтелектуальної підтримки прийняття організаційно-технологічних рішень щодо підвищення енергоефективності огороджувальних конструкцій будівель використано математичний апарат нечіткої логіки, а саме метод побудови системи нечітких логічних рівнянь, які характеризують ступінь належності довільного елемента універсальних множин до нечіткої множини. Метод базується на розподілу ступеня належності універсальної множини, на якій задається нечітка множина, відповідно до їх рангів. Ступені належності параметрів до нечіткої множини, яка означена відповідним термом, обчислено за відомими формулами, шляхом складання відповідних матриць. Нечіткі множини для різних лінгвістичних змінних визначальних параметрів впливу на прогнозовану енергоефективність огороджувальних конструкцій будівель представлено у вигляді відповідних нечітких логічних рівнянь. Ці рівняння характеризують поверхню належності лінгвістичних змінних за відповідним термом на цільову функцію, а саме витрати енергії на капітальне будівництво або реконструкцію, на експлуатацію та рециклінг.

Ключові слова: енергоефективність, експертна оцінка, моделювання, лінгвістичні змінні, логічні рівняння, нечіткі множини, огороджувальні конструкції, теплоізоляційна оболонка.

Вступ. Енергетична стратегія Європейського союзу передбачає впровадження енергоефективних технологій декарбонізації при спорудженні нових та реконструкції наявних будівель та інженерних мереж із забезпеченням оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях будівель. Системи створення мікроклімату в приміщеннях будівель споживають 30-40% енергетичних ресурсів України від загальної кількості. Тому закономірним є реалізація чинного законодавства України стосовно підвищення енергоефективності в будівельній галузі та житлово-комунальному господарстві [1]. Ця політика триває протягом усього часу незалежності України, про що свідчить попередній закон [2]. Управління організаційно-технологічними чинниками з підвищення енергоефективності будівель ґрунтується на використанні інструментарію інтелектуального підтримання прийняття відповідних інноваційних управлінських рішень з реалізації енергоефективних заходів на всіх етапах життєвого циклу будівель [3,4]. Реалізація проєктів передбачає підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель як їх теплоізоляційної оболонки [5,6].

Актуальність роботи. Підвищення енергетичної ефективності формування мікроклімату є актуальною задачею, що дозволяє посилити енергетичну незалежність, знизити витрати коштів енергоресурси та зменшити негативний вплив будівельної галузі на довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні шляхи вирішення проблеми оцінювання та прогнозування енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель висвітлено в дослідженнях вітчизняних та закордонних публікаціях [7-21].

Аналіз впливу визначальних чинників на прогнозовану надійність огорожувальних конструкцій будівель висвітлено у роботі [7]. Вказано на необхідність вдосконалення математичного інструментарію для визначення оптимальних енергоефективних рішень при влаштуванні та експлуатації огорожувальних конструкцій будівель.

У роботі [8] наведено аналіз іноземного та вітчизняного досвіду досліджень наукового обґрунтування пріоритетів поліпшення інструментарію енергетичного моделювання. Підкреслено, що моделі оцінювання енергетичної ефективності повинні бути достатньо гнучкими за структурою та дозволяти формалізувати оперативно змінювання вхідної інформації та показники ефективності прийнятих рішень і критеріїв їхньої оцінки.

У роботі [9] підкреслено, що недостатньо розповсюдженим підходом до оцінки енергетичної ефективності будівель в Україні є динамічне енергетичне моделювання з використанням системного аналізу. При цьому доцільно використовувати відомі програмні комплекси, що дозволяють суттєво скоротити

затрати часу на створення енергетичних моделей.

У статті [10] рекомендується на початковій стадії проєктування, коли визначаються прогнозовані параметри енергетичних характеристик будівель, використовувати програмний продукт Revit. Використання цього програмного продукту дозволяє прогнозувати проєктну енергетичну ефективність огорожувальних конструкцій будівель з урахуванням змінних теплотехнічних характеристик матеріалів та технологічних процесів.

У роботі [11] наведено аналіз методів встановлення «стандарту» енергоспоживання. Підкреслено доцільність побудови багатофакторних математичних моделей енергоспоживання.

У роботі [12] розглянуто методи прогнозування в енергоефективності та архітектурі. Підкреслено сильні та слабкі сторони таких методів як цільове прогнозування та екстраполяційний. Для формування прогнозованої моделі енергоспоживання доцільно застосовувати морфологічний аналіз виявлення факторів впливу на цільову функцію на засадах формалізації об'єкта та побудови формалізованих математичних моделей та дослідження адекватності результатів моделювання.

Дослідженнями [13] щодо оцінювання експлуатаційних показників і довговічності конструкцій фасадної теплоізоляції будівель виявлено необхідність розроблення математичного інструментарію з прогнозування стану огорожувальних конструкцій. Запропоновано вдосконалену математичну модель та алгоритм розрахунку температурно-вологісного режиму конструкцій фасадної теплоізоляції з метою підвищення її енергоефективності.

У монографії [14] запропоновано методику оцінювання надійності забезпечення ефективності теплоізоляційних будівельних виробів, які можуть використовуватися при влаштуванні огорожувальних конструкцій. Наведено результати числового моделювання з використанням відомих методів багатокритеріального аналізу для визначення потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель.

У роботі [15] розглянуто BIM-технології організаційно-технологічного підходу стосовно інформаційного моделювання в будівельній галузі. Підкреслено доцільність визначення енергоефективності та енергоспоживання будівель під час різних етапів життєвого циклу будівельного об'єкту. Визначено, що база даних про об'єкти, яка створена за допомогою BIM-технологій, є вихідною інформацією для прогнозування експлуатаційної надійності, управління проєктами проєктування та експлуатації будівель.

У роботі [16] для визначення енергетичної ефективності будівель як її властивості забезпечувати необхідною кількістю енергії для створення оптимальних мікрокліматичних умов у приміщеннях будівель рекомендовано

враховувати сумарні затрати енергії на влаштування огорожувальних конструкцій, експлуатацію, реконструкцію та утилізацію з можливістю рециклінга матеріалів. Запропоновано ієрархічний зв'язок визначальних параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель. Вказано, що визначальні параметри впливу характеризуються кількісними та якісними величинами, які можуть бути охарактеризовані лінгвістичними змінними.

Таким чином, аналіз літературних джерел, в яких висвітлено результати дослідження впливу визначальних параметрів на прогнозовану енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель, зокрема з використанням сучасних методів математичного моделювання, свідчить про відсутність вичерпних системних досліджень з вирішення проблеми пошуку математичного інструментарію з оцінювання енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель.

Таким чином, екскурс розвитку науково-методичних основ з моделювання методів інтелектуальної підтримки прийняття управлінських рішень за результатами прогнозування енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель дозволив сформулювати мету та задачі досліджень.

Метою цього дослідження є розроблення елементів математичної моделі інтелектуального підтримання прийняття організаційно-технологічних рішень підвищення прогнозованої енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель з використанням функції належності нечітких оцінок впливу визначальних параметрів на цільову функцію. Для цього необхідно вирішити такі задачі:

1. Адаптувати математичний апарат нечіткої логіки та лінгвістичних змінних стосовно методології побудови функцій належності нечітких множин різних лінгвістичних змінних, які визначають витрати енергії на капітальне будівництво або реконструкцію, експлуатацію та рециклінг складових огорожувальних конструкцій будівель протягом їхнього життєвого циклу;
2. Нечіткі множини для різних лінгвістичних змінних визначальних параметрів впливу на прогнозовану енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель відобразити графічно у вигляді системи нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності лінгвістичних змінних за відповідним термом.

Основна частина. Реалізація заходів із забезпечення нормативних вимог стосовно енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель передбачає вдосконалення методів математичного моделювання їхніх теплозахисних властивостей та енергетичних витрат протягом їхнього життєвого циклу. Запропонована модель мінімізації сумарних витрат на

влаштування енергоефективних огорожувальних конструкцій, експлуатацію, реконструкцію та утилізацію з можливістю рециклінга матеріалів [16]

$$\Sigma E = E_B + E_E + E_P \rightarrow \min \quad (1)$$

де ΣE – сумарні витрати енергії за весь життєвий цикл огорожувальних конструкцій будівель; E_B , E_E , E_P – відповідно затрати енергії на будівництво, експлуатацію та рециклінг матеріалів.

На енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель за весь період їхнього життєвого циклу впливають кількісні та якісні фактори. При моделюванні з метою визначення прогнозованих витрат сумарної енергії на забезпечення їх функціонування рекомендується використовувати метод нечіткої логіки та лінгвістичних змінних [5,14,16,21]. Модель об'єкта задається нечіткою базою знань, яка складається із сукупності правил, що поєднують лінгвістичні оцінки вхідних і вихідних змінних, які впливають на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель.

Сумарні витрати енергії за весь життєвий цикл на забезпечення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель відповідно до досліджень [21] на системному рівні як лінгвістичну змінну (ΣE) можна описати у вигляді співвідношення

$$\Sigma E = f(X_1, X_2, X_3) \quad (2)$$

де X_1 – лінгвістична змінна (ЛЗ), що характеризує витрати енергії на капітальне будівництво або реконструкцію, X_2 – лінгвістична змінна, що визначає витрати енергії на експлуатацію, X_3 – лінгвістична змінна, що визначає витрати енергії на рециклінг.

Параметри впливу на прийняття рішень при обґрунтуванні енергетичної ефективності огорожувальних конструкцій будівель (X_1 , X_2 , X_3) оцінюються нечіткими термами як лінгвістичними змінними. Для побудови нечіткої матриці знань про співвідношення між енергетичною ефективністю огорожувальних конструкцій будівель та визначальними параметрами впливу прийнято такі кількісні вирази: «низька» (Н), «нижче середньої» (НС), «середня» (С), «вище середньої» (ВС) та «висока» (В). Правила виконання нечітких логічних операцій виконано з використанням узагальненого елемента нечіткого логічного висновку між лінгвістичними змінними. Нечіткі висновки апроксимації залежності $\Sigma E = f(X, Y, Z)$ здійснено за допомогою нечітких правил «ЯКЩО-ТО» [табл.] [4,16,21,22].

Таблиця. Нечітка матриця знань про співвідношення між енергоефективністю огорожувальних конструкцій будівель та визначальними параметрами впливу як лінгвістичними змінними на системному рівні

ЯКЩО			ТО
Вплив витрат енергії на капітальне будівництво або реконструкцію (X)	Вплив витрат енергії на експлуатацію (X_2)	Вплив витрат енергії на рециклінг матеріалів (X_3)	Енергоефективність огорожувальних конструкцій (ΣE)
низький (Н)	низький (Н)	низький (Н)	низький (Н)
нижче середньої (НС)	низький (Н)	низький (Н)	
низький (Н)	нижче середньої (НС)	низький (Н)	
низький (Н)	низький (Н)	нижче середньої (НС)	
низький (Н)	нижче середньої (НС)	нижче середньої (НС)	нижче середньої (НС)
нижче середньої (НС)	низький (Н)	нижче середньої (НС)	
нижче середньої (НС)	нижче середньої (НС)	низький (Н)	
нижче середньої (НС)	нижче середньої (НС)	нижче середньої (НС)	
середній (С)	середній (С)	середній (С)	середній (С)
нижче середньої (НС)	середній (С)	середній (С)	
середній (С)	нижче середньої (НС)	середній (С)	
середній (С)	середній (С)	нижче середньої (НС)	

Продовження таблиці

ЯКЩО			ТО
вище середньої (BC)	вище середньої (BC)	середній (C)	вище середньої (BC)
вище середньої (BC)	середній (C)	вище середньої (BC)	
середній (C)	вище середньої (BC)	вище середньої (BC)	
вище середньої (BC)	вище середньої (BC)	вище середньої (BC)	
високий (B)	високий (B)	вище середньої (BC)	високий (B)
високий (B)	вище середньої (BC)	високий (B)	
високий (B)	вище середньої (BC)	вище середньої (BC)	
високий (B)	високий (B)	високий (B)	

Лінгвістичні висловлювання про співвідношення між енергетичною ефективністю огорожувальних конструкцій будівель та визначальними чинниками впливу (табл.) є підґрунтям для складання системи нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних відповідним термом.

$$\begin{aligned} \mu_n(\sum E) = & \mu_n(x_1) \wedge \mu_n(x_2) \wedge \mu_n(x_3) \vee \\ & \vee \mu_{nc}(x_1) \wedge \mu_n(x_2) \wedge \mu_n(x_3) \vee \mu_n(x_1) \wedge \\ & \mu_{nc}(x_2) \wedge \mu_n(x_3) \vee \mu_n(x_1) \wedge \mu_n(x_2) \vee \mu_{nc}(x_3). \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mu_{nc}(\sum E) = & \mu_n(x_1) \wedge \mu_{nc}(x_2) \wedge \mu_{nc}(x_3) \vee \mu_{nc}(x_1) \wedge \\ & \wedge \mu_n(x_2) \wedge \mu_{nc}(x_3) \vee \mu_{nc}(x_1) \wedge \mu_{nc}(x_2) \wedge \\ & \wedge \mu_n(x_3) \vee \mu_{nc}(x_1) \wedge \mu_{nc}(x_2) \wedge \mu_{nc}(x_3) \vee \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu_c(\sum E) = & \mu_c(x_1) \wedge \mu_c(x_2) \wedge \mu_c(x_3) \vee \mu_{nc}(x_1) \wedge \\ & \wedge \mu_c(x_2) \wedge \mu_c(x_3) \vee \mu_c(x_1) \wedge \\ & \mu_{nc}(x_2) \wedge \mu_c(x_3) \vee \mu_c(x_1) \wedge \mu_c(x_2) \wedge \mu_{nc}(x_3). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_{ec}(\sum E) = & \mu_{ec}(x_1) \wedge \mu_{ec}(x_2) \wedge \mu_c(x_3) \vee \\ & \mu_{ec}(x_1) \wedge \mu_c(x_2) \wedge \mu_{ec}(x_3) \vee \mu_c(x_1) \wedge \\ & \mu_{ec}(x_2) \wedge \mu_{ec}(x_3) \vee \mu_{ec}(x_1) \wedge \mu_{ec}(x_2) \wedge \mu_{ec}(x_3). \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mu_e(\sum E) = & \mu_e(x_1) \wedge \mu_e(x_2) \wedge \mu_{ec}(x_3) \vee \mu_e(x_1) \wedge \mu_{ec}(x_2) \wedge \\ & \mu_e(x_3) \vee \mu_e(x_1) \wedge \mu_{ec}(x_2) \wedge \mu_{ec}(x_3) \vee \\ & \vee \mu_e(x_1) \wedge \mu_e(x_2) \wedge \mu_e(x_3). \end{aligned} \quad (7)$$

Отримані нечіткі логічні рівняння на відповідному ієрархічному рівні (3-7) дозволяють виявити функції належності вхідних і вихідних змінних та побудувати аналітичні моделі функцій належності параметрів впливу на енергетичну ефективність огорожувальних конструкцій будівель.

Висновки. Запропонований інструментарій експертного оцінювання енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель нечіткими множинами та лінгвістичними змінними, який на відміну від наявних моделей дозволяє враховувати інтегрально вплив кількісних та якісних параметрів на прогнозовану величину сумарних енерговитрат теплоізоляційної оболонки за умови забезпечення оптимального мікроклімату приміщень.

Отримані результати у вигляді нечітких логічних рівнянь дозволяють характеризувати поверхню належності лінгвістичних змінних, що описує відповідні параметри впливу як витрати енергії на капітальне будівництво, експлуатацію та рециклінг матеріалів за відповідними термами, на цільову функцію, за яку прийнято прогнозовані сумарні витрати на підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель.

Новизна дослідження полягає в тому, що з використанням результатів моніторингу, формалізації та ієрархічної класифікації параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель, яка характеризується сумарними витратами на капітальне будівництво, експлуатацію та рециклінг матеріалів, запропоновано концепцію вирішення науково-практичної задачі оцінювання енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель з урахуванням впливу кількісних та якісних чинників, а також дістали подальший розвиток методологічні основи математичного моделювання прогнозованої енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель з використанням математичного апарату нечіткої логіки та лінгвістичних змінних. Це сприятиме в перспективі розробленню системи інтелектуального підтримання прийняття організаційно-технологічних рішень щодо підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель.

Практичне значення виявляється у можливості впровадження отриманих результатів при проектуванні енергоефективних нових або термомодернізації наявних огорожувальних конструкцій будівель, що сприятиме зменшенню використання енергоносіїв на забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату приміщень та декарбонізації систем теплозабезпечення.

References

1. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2118-19>
2. Pro enerhozberezhennia: Zakon Ukrainy vid 01.07.94 r. № 74/94-VR. Data onovlennia: 23.07.2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>
3. DBN V.6-31:2021. Teplova izoliatsiia ta enerhoeffektyvnist budivel. Chynnyi vid 2022-09-01.
4. Ratushniak H. S., Ratushniak O. H. “Upravlinnia proektamy enerhozberezhennia shliakhom termorenovatsii budivel”, 2006.
5. Ratushniak H.S., Biks Yu.S., Lialiuk A.O. “Orhanizatsiino-tekhnologichni chynnyky vplyvu na enerhoeffektyvnist ohorodzhuvalnykh konstruktsii budivel” Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi. №2, 2022. s. 203-210.
6. Fareniuk H.H. “Osnovy zabezpechennia enerhoeffektyvnosti budivel ta teplovoi nadiinosti ohorodzhuvalnykh konstruktsii budivel”, 2019.
7. Fareniuk H.H., Filonenko O.I., Tymofeiev M.V. “Enerhoeffektyvnist hromadskykh budynkiv z vrakhuvanniam erhonomiky teplovoho seredovyscha”. Nauk.-tekhn. zb. «Komunalne hospodarstvo mist», 2017. Vyp. 135. s. 119-124.
8. Podolets R.Z. “Enerhetychne modeliuvannia: inozemnyi dosvid inozemnykh perspektyvnykh doslidzhen v Ukraini”. Zb. Ekonomiko-matematychni metody i modeli prohozuvannia, 2006, pp. 126-140. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/19804/09--Podolec.pdf?sequence=1>
9. Deshko V.I., Sukhodub I.O., Serdechnyi P.Iu. “Vykorystannia enerhetychnoho modeliuvannia budivel pry rozrobsi proektiv z pidvyshchennia enerhoeffektyvnosti” Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu. Seriia tekhnichnykh nauk, №4 (136), 2019, pp. 86-96.
10. Tytiuk A.A. ta in. “Vykorystannia BIM-modeliuvannia dlia rozrakhunku teplovtrat ta zahalnoi enerhoeffektyvnosti na etapi proektuvannia”. Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury, №6 (018), 2023, pp. 119-124. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.118.1014>
11. Nakhodov V.F., Ivanko D.O., Holovko A.V. “Vybir metodiv matematychnoho

modeliuvannya protsesiv enerhospozhyvannya v systemakh operatyvnoho kontroliu enerhoefektyvnosti” Enerhetyka, ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia, Spetsvypusk, 2013 pp. 20-27.

12. Kashchenko T.O. "Enerhozberezhennia i prohnostyka v arkhitekturi". Mistobuduvannya. 2007, pp. 51-57. https://vlp.com.ua/files/11_5.pdf

13. Netesa K.M. "Vdoskonalennia ta vyznachennia ratsionalnykh orhanizatsiino-tekhnolohichnykh rishen vlashtuvannya fasadnykh system bahatopoverkhovykh tsyvilnykh budivel" avtoref. dys...., kand. tekhn. nauk. 05.23.08. 2021.

14. Biks Yu. S., Ratushniak H. S., Lialiuk O. H., Ratushniak O. H. "Potentsial enerhoefektyvnosti ohorodzhuvalnykh konstruksii iz biosferosumisnykh materialiv" 2022.

15. Trach R.V. "Informatsiine modeliuvannya v budivnytstvi (VIM). Sutnist, stan stanovlennia ta perspektyvy rozvytku." Hlobalni ta natsionalni prolemy ekonomiky, Iss. 16, 2017. pp. 490-495. <http://global-national.in.ua/issue-16-2017/24-vipusk-16-kviten-2017-r/2966-trach-r-v-informatsijne-modelyuvannya-v-budivnitstvi-bim-sutnist-etapi-stanovlennya-ta-perspektivi-rozvitku>

16. H.S. Ratushniak, Yu.S. Biks, A.O. Lialiuk. "Formalizatsiia ta iierarkhichna klasyfikatsiia parametriv vplyvu na enerhoefektyvnist ohorodzhuvalnykh konstruksii budivel". Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii u budivnytstvi. №2, 2023. pp. 98-103.

17. Tkachenko T.M. "Naukovo-metodolohichni osnovy pidvyshchennia rivnia ekolohichnoi bezpeky urbotsenoziv shliakhom stvorennia enerhoefektyvnykh tekhnolohii «zelenoho budivnytstva»" avtoref. dys. d-ra tekhn. Nauk: 21.06.01, 2018.

18. Khennynheen S. "Keruiuchy investytsiinym ryzykom". Zeleni hroshi, iss. 82, 2011, pp. 1-4.

19. Forster U., Khoks D., Norton V. "Enerhoefektyvni budivli. Arkhitektura, inzheneriia i navkolyshnie seredovyshe" 2012.

20. Jones P.D., Parker D.E., Oxborn T.I., Brista K.R. "Global and Hemisphenk Temperature Anomaleland and Marine Instrumental Rekorels" In Trends: A Compendium of Pate on Global Change. Oak Ridge. ITSA: Garbon Dioxide Information and Analysis Center. Oak Ringe. National Laboratory / U.S. Departament of Energy, 2001.

21. Ratushniak H.S. Biks Yu.S., Lialiuk A.O., Ratushniak D.A. "Modeliuvannya systemy intelektualnoi pidtrymky pryiniattia rishen z otsiniuvannya enerhoefektyvnosti ohorodzhuvalnykh konstruksii budivel z vykorystanniam linhvistychnykh zminnykh". Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi. №1, 2024. pp. 91-95.

22. Mitiushkin Yu.I., Mokin B.I., Rotshtein O.P. "Soft Computing: ydentyfykatsyia zakonomernostei nechetkymy bazamy znanyi", 2002

UDC 692.82

Professor Heorhiy Ratushnyak,
ratusnakg@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9656-5150,
Postgraduate Student Andriy Lyalyuk,
1b16blyalyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4803-1629
Vinnytsia National Technical University

EXPERT ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF ENCLOSURES OF BUILDING STRUCTURES BY FUZZY SETS AND LINGUISTIC VARIABLES

Abstract. *In accordance with the energy strategy of the European Union, a significant introduction of innovative technologies for decarbonization is planned through the implementation of energy-saving technologies to ensure optimal microclimate parameters in building premises. The relevant legislative framework of Ukraine regarding increasing the energy efficiency of the thermal insulation shell of buildings is dedicated to solving this problem.*

The development of tools for predicting the energy efficiency of external enclosing structures of buildings throughout their life cycle requires an assessment of the influence of determining parameters, which are characterized by quantitative and qualitative values. Determining the values of these parameters experimentally is expensive and in many cases impossible with a given reliability. As a source of necessary information, it is advisable to use expert assessments of the influence of determining parameters on the predicted energy efficiency of the thermal insulation shell of buildings.

To develop a component of the expert modeling system for intellectual support of organizational and technological decision-making on increasing the energy efficiency of building envelopes, the mathematical apparatus of fuzzy logic was used, namely, the method of constructing a system of fuzzy logical equations that characterize the degree of membership of an arbitrary element of universal sets to a fuzzy set. The method is based on the distribution of the degree of membership of the universal set, on which the fuzzy set is given, according to their ranks. The degrees of membership of parameters to a fuzzy set, which is defined by the corresponding term, were calculated using known formulas by composing the corresponding matrices. Fuzzy sets for various linguistic variables of determining parameters of the influence on the predicted energy efficiency of building envelopes are presented in the form of corresponding fuzzy logical equations. These equations characterize the surface of the membership of linguistic variables by the corresponding term to the objective function, namely energy consumption for capital construction or reconstruction, for operation and recycling.

Keywords: *energy efficiency, expert assessment, modeling, linguistic variables, logical equations, fuzzy sets, enclosing structures, thermal envelopment.*