

ІЄРАРХІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Проаналізовано існуючі системи нормування, проектування та прогнозування енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівлі. Проведено класифікацію факторів, які впливають на характеристики енергоефективності теплозахисної оболонки житлових будівель, що може бути покладено в основу методики, яка буде враховувати кількісні і якісні показники при оцінюванні теплоізоляційної оболонки будівлі. Визначено, що для побудови діагностичної моделі можливо застосувати теорію нечітких множин, апарат нечіткої логіки та логічного виведення за нечіткими базами знань. Визначено принципи, за якими будуються діагностичні моделі в будівництві з застосуванням нечіткої логіки. Оцінка енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівлі представлена через лінгвістичну змінну. Проведено формалізацію лінгвістичних змінних і відповідно терм-множини, які можуть використовуватися для оцінки технічного стану теплоізоляційної оболонки. Ієрархічний взаємозв'язок між параметрами стану та оцінкою технічного стану теплоізоляційної оболонки графічно представлено у вигляді дерева логічного висновку та математично описано системою співвідношень.

Ключові слова: енергоефективність, теплоізоляційна оболонка будівель, лінгвістичні змінні, нечітка логіка, дерево логічного висновку.

Вступ

Зменшення наслідків енергетичної кризи потребує вирішення проблеми заощадження енергоресурсів при створенні оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях будівлі [1, 2, 3]. Дослідженнями зарубіжних та вітчизняних авторів виявлено ряд проблем при теплозабезпеченні енергоефективності будівлі та запропоновано технічні заходи із підвищення енергоефективності [4, 6]. Сьогодні серед житлових будівель, які експлуатують, достатньо велика частка не є енергоефективними, але більшість з них мають потенціал для покращення показників енергоефективності. Постійне зростання вартості енергоносіїв, і як наслідок, зростання тарифів, змушує шукати оптимальні шляхи підвищення енергоефективності будинку.

Основними заходами які підвищують енергоефективність будинків, що введені в експлуатацію, є варіювання параметрів (зміна або заміна): огорожувальних конструкцій будинку (стін, горища, покриття, підвального перекриття); дверних та віконних конструкцій; системи опалення та гарячого водопостачання; системи холодного водопостачання; системи електропостачання і освітлення; джерел енергії, особливо з врахуванням використання нетрадиційних джерел енергії.

Проте аналіз досліджень [2, 4, 6] свідчить про подальшу необхідність їх продовження з метою розроблення математичних моделей оцінювання якісних та кількісних факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівель.

Мета роботи полягає у визначенні факторів впливу на підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівлі, їх формалізації та ієрархічній класифікації як лінгвістичних змінних, визначенні їх значень як універсальних множин та термів для оцінки кожного із класифікованих факторів.

Результати дослідження

Теплоізоляційна оболонка будинку як система його огорожувальних конструкцій повинна забезпечувати оптимальний мікроклімат в приміщеннях шляхом збереження теплоти та зменшення витрат енергії будівлі. Неефективна теплоізоляційна оболонка будинку є головною причиною його високої енерговитратності. Питання підвищення якості теплоізоляційної оболонки будівель досліджувалось і розглянуто у вітчизняних і зарубіжних роботах [5,6,7,8]. Потенціал енергозбереження в результаті реалізації енергоефективних проектів залежить від конструктивного елементу теплоізоляційної оболонки. Так для стін він складає до 25%, для вікон, зовнішніх вхідні двері 15-20%, горища та горищного перекриття 5-10%, підвального перекриття 5-10%. Таким чином, сумарно маємо до 65% можливого енергозбереження та усереднений термін окупності 8-12 років [8].

Реалізація заходів, які підвищують енергоефективність будинку, сприяє не тільки суттєвому покращенню комфортності умов проживання, але й збільшує термін ефективної експлуатації будинків приблизно на 30 років та ринкову вартість таких будинків.

При проведенні енергоаудиту, оцінці технічного стану, реконструкції будівель виникає задача діагностування енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель та визначення можливості покращення її характеристик. Для вибору оптимального набору методів та заходів, що сприяють створенню енергоефективної будівлі, постає задача визначення факторів впливу на підвищення енергозберігаючих характеристик теплоізоляційної оболонки будівель. З врахуванням нормативних та літературних джерел [2, 3, 4, 5, 6] та експертного фахового досвіду будівельників, фактори впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі доцільно розділити на такі основні напрямки: теплозахист стін та перекриття і теплозахист дверних та віконних конструкцій. За результатами аналізу літературних джерел з дослідження шляхів зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції будівлі виконано формалізацію та ієрархічну класифікацію факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі, яку наведено на рисунку 1.

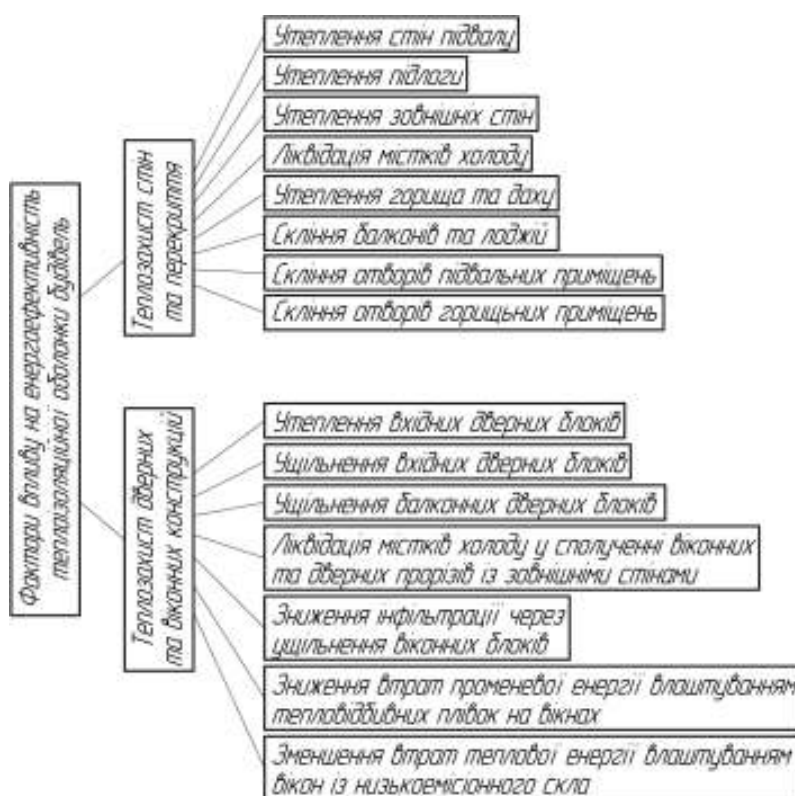


Рисунок 1 – Формалізація та ієрархічна класифікація факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі

Запропоновану класифікацію факторів впливу може бути покладено в основу методики, яка буде враховувати кількісні і якісні показники при оцінюванні теплоізоляційної оболонки будівлі. В задачах технічного діагностування в будівництві останні два десятиліття поширення набула теорія нечітких множин, апарат нечіткої логіки та логічного виведення по нечітким базам знань. [7,8,9]. Використання такого підходу в системах технічного діагностування в будівництві дозволяє врахувати причинно-наслідкові зв'язки між параметрами впливу і виконати оцінку (прогнозування) за допомогою параметрів, які характеризують кількісні та якісні показники.

При застосуванні нечіткої логіки в діагностиці будівельних конструкцій та оцінці стану інженерних мереж доцільно дотримуватися таких принципів [9]:

- принцип лінгвістичності вхідних і вихідних змінних;
- принцип формування структури діагностичної залежності; «входи – вихід» у вигляді нечіткої бази знань;
- принцип ієрархічності діагностичних знань;
- принцип трьох варіантної оцінки значень параметрів стану;

- принцип навчання нечітких баз знань.

Практичне застосування теорії нечітких множин передбачає представлення параметрів стану у вигляді лінгвістичних змінних. Входи об'єкта, що діагностується, і його вихід розглядаються як лінгвістичні змінні, які оцінюються нечіткими термами. Значення універсальної множини, лінгвістичних змінних факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки характеризується величинами термічного опору та умовними одиницями [9].

Формалізацію лінгвістичних змінних і відповідно терм-множини, які можуть використовуватися для оцінки технічного стану теплоізоляційної оболонки, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Фактори впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки Y як лінгвістичні змінні

Фактор	Лінгвістична змінна	Універсальна множина	Терм для оцінки
Теплозахист стін та перекриття, X_1	X_{11} – утеплення стін підвалу	[0,5... 4,5] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{12} – утеплення підлоги	[0,5... 4,5] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{13} – утеплення зовнішніх стін	[0,5... 4] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{14} – ліквідація містків холоду	[0,01...3] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{15} – утеплення горища та даху	[0,2... 5,7] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{16} – скління балконів та лоджій	[0... 1,5] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{17} – скління отворів підвальних приміщень	[0... 1,5] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{18} – скління отворів горищних приміщень	[0... 1,5] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
Теплозахист дверних та віконних конструкцій, X_2	X_{21} – утеплення вхідних дверних блоків	[0,05... 1,5] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{22} – ущільнення вхідних дверних блоків	[0, 1] у. о.	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{23} – ущільнення балконних дверних блоків	[0, 1] у. о.	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{24} – ліквідація містків холоду у сполученні віконних та дверних прорізів із зовнішніми стінами	[0,01...3] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{25} – зменшення інфільтрації через ущільнення віконних блоків	[0, 1] у. о.	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{26} – зменшення втрат променевої енергії влаштуванням тепловідбивних плівок на вікнах	[0,01... 1,5] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).
	X_{27} – зменшення втрат теплової енергії влаштуванням вікон із низької емісійного скла	[0,01... 1,5] $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$	Незадовільне (н); задовільне (з); добре (д).

Застосовуючи принцип ієрархічності діагностичних знань [9], оцінку енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівлі представлено через лінгвістичну змінну Y , а укрупнені показники факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі як X_1 - теплозахист стін та перекриття; X_2 - теплозахист дверних та віконних конструкцій. Ієрархічний взаємозв'язок між параметрами стану та оцінкою технічного стану теплоізоляційної оболонки графічно представлено у вигляді дерева логічного висновку на рисунку 2.

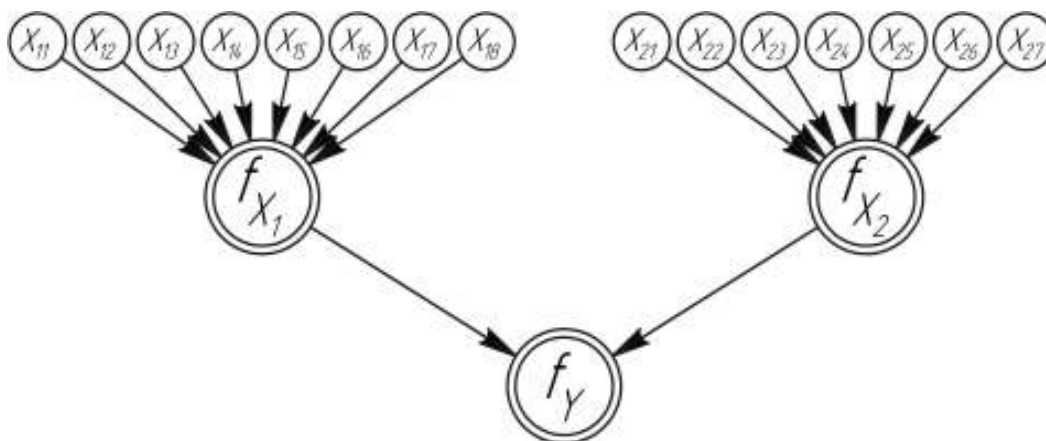


Рисунок 2 – Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків параметрів стану теплозахисної оболонки будівель

Математичну модель оцінки енергоефективності теплоізоляційну оболонки будівель (Y) можна відобразити у вигляді співвідношень:

$$Y = f(X_1, X_2), \quad (1)$$

$$X_1 = f(X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}), \quad (2)$$

$$X_2 = f(X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{25}, X_{26}, X_{27}), \quad (3)$$

де - X_1 X_2 укрупнені показники факторів впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівлі (табл.1);

$f(\dots)$ - логічний висновок, що виконується по нечітким базам знань.

Запропоновані ієрархічні зв'язки параметрів стану теплоізоляційної оболонки будівлі (рис.2) та відповідно система співвідношень (1-3) дозволяє побудувати функції належності нечітких оцінок впливу параметрів на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівель.

Висновок

На підставі аналізу проблеми енергозбереження в житлово-комунальному секторі виявлено:

1. Існуюча система нормування, проектування та прогнозування підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівлі потребує подальшого вдосконалення.
2. Для повноцінної оцінки факторів впливу на підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель запропоновано їх ієрархічну класифікацію з врахуванням якісних та кількісних параметрів. Запропонована ієрархічна класифікація буде підґрунтям для розроблення математичної моделі інтелектуальної підтримки управлінських рішень щодо оцінки проектів підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель з врахуванням кількісних та якісних параметрів елементів огорожувальних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
- [2] Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності та теплової надійності огорожувальних конструкцій : монографія. К:Гамма-Принт, 2009 -137 с.
- [3] Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2013. – 236 с.

- [4] Ратушняк Г. С. Оцінка діяльності підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій багатоповерхових житлових будинків / Г. С. Ратушняк, А. М. Очеретний // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. - №6. – с.11-18.
- [5] Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів :Національний університет «Львівська політехніка», 2013. – 236 с.
- [6] Максимов А. С., Передумови та потенціал оптимізації теплової оболонки будівлі Теорія і практика будівництва №14, 2014 р
- [7] Ратушняк Г. С. Управління енергозберігаючими проектами термореновації будівель [Текст] : навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, О. Г. Ратушняк. - Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. - 130 с.
- [8] 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.
- [9] Панкевич О. Д., Штовба С. Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 108 с.

REFERENCES

- [1] Pro enerhetychnu efektyvnist' budivel': Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
- [2] Farenjuk H. P. Osnovy zabezpechennya enerhoefektyvnosti ta teplovoyi nadiynosti ohorodzuval'nykh konstruktсий : monohrafiya. K.:Hamma-Prynt, 2009 -137 s.
- [3] Sanyts'kyi 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.
- [4] Ratushnyak H. S. Otsinka diyal'nosti pidvyshchennya termichnoho oporu ohorodzuval'nykh konstruktсий bahatopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv / H. S. Ratushnyak, A. M. Ocheretnyy // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. – 2016. - №6. –с.11-18.
- [5] Enerhozberihayuchi tekhnolohiyi v budivnytstvi: navch. posibnyk. L'viv :Natsional'nyy universytet «L'viv's'ka politekhnika», 2013. – 236 s.
- [6] Maksymov A. S. Peredumovy ta potentsial optymizatsiyi teplovoyi obolonky budivli Teoriya i praktyka budivnytstva №14, 2014 r
- [7] Ratushnyak H. S. Upravlinnya enerhozberihayuchymy proektamy termorenovatsiyyi budivel' [Tekst] : navchal'nyy posibnyk / H. S. Ratushnyak, O. H. Ratushnyak. - Vinnytsya : UNIVERSUM-Vinnytsya, 2009. - 130 s.
- [8] Lyalyuk O. H. Upravlinnya faktoramy, yaki vplyvayut' na vybir finansovoho mekhanizmu enerhozberihayuchoho proektu / O. H. Lyalyuk, O. H. Ratushnyak, A. O. Lyalyuk, V. V. Pankevych // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktсийi v budivnytstvi. - 2018. - № 1. - S. 87-94. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmbk_2018_1_16.
- [9] Pankevych O. D., Shtovba S. D. Diahnostuvannya trishchyn budivel'nykh konstruktсий za dopomohoyu nechitkykh baz znan'. Monohrafiya. Vinnytsya: UNIVERSUM-Vinnytsya, 2005. – 108 s.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор кафедри інженерних систем у будівництві, декан факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет. ORCID: 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratusnag@gmail.com.

Панкевич Володимир Вячеславович – інженер ТОВ «Подільський проектний інститут». ORCID: 0000-0002-1929-8172, e-mail: pankova82@gmail.com.

**G. Ratushnyak
V. Pankevych**

HIERARCHICAL CLASSIFICATION OF IMPACT FACTORS FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDING HEAT INSULATION

Vinnitsa National Technical University

The existing systems of regulation, design and forecasting the energy efficiency of the building's insulation shell are analyzed. The classification of factors affecting the energy efficiency characteristics of the heat-insulating shell of residential buildings is carried out, it can be the basis of the methodology, which will take into account quantitative and qualitative indicators when assessing the heat-insulating shell of a building. It is determined that for constructing a diagnostic model it is possible to apply the theory of fuzzy sets, the apparatus of fuzzy logic and logical inference from fuzzy knowledge bases. The principles on which diagnostic models are built in construction using fuzzy logic are determined. The energy efficiency assessment of the heat-insulating shell of a building is presented through a linguistic variable. The formalization of linguistic variables and corresponding term sets, which can be used to assess the technical condition of the insulating shell. The hierarchical relationship between the state parameters and the technical state assessment of the heat-insulating shell is graphically represented in the form of a logical inference tree and mathematically described by a system of relations.

Keywords: energy efficiency, thermal insulation shell of buildings, linguistic variables, fuzzy logic, inference trees.

Ratushniak Georgiy – candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Engineering Systems in Construction, Dean of the Faculty of Civil Engineering, Heat and Gas, Vinnytsia National Technical University, e-mail: ratusnakg@gmail.com.

Volodymyr Pankevych – Postgraduate Student, Vinnitsa National Technical University, e-mail: pankvova82@gmail.com.

Г. С. Ратушняк

В. В. Панкевич

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЙ

Винницкий национальный технический университет

Проанализированы существующие системы нормирования, проектирования и прогнозирования энергоэффективности теплоизоляционной оболочки здания. Проведена классификация факторов, влияющих на характеристики энергоэффективности теплозащитной оболочки жилых зданий, она может быть положена в основу методики, которая будет учитывать количественные и качественные показатели при оценке теплоизоляционной оболочки здания. Определено, что для построения диагностической модели можно применить теорию нечетких множеств, аппарат нечеткой логики и логического вывода по нечетким базам знаний. Определены принципы, по которым строятся диагностические модели в строительстве с применением нечеткой логики. Оценка энергоэффективности теплоизоляционной оболочки здания представлена через лингвистическую переменную. Проведено формализацию лингвистических переменных и соответственных терм-множеств, которые могут использоваться для оценки технического состояния теплоизоляционной оболочки. Иерархическая взаимосвязь между параметрами состояния и оценки технического состояния теплоизоляционной оболочки графически представлены в виде дерева логического вывода и математически описаны системой соотношений.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоизоляционная оболочка зданий, лингвистические переменные, нечеткая логика, дерево логического вывода.

Ратушняк Георгий Сергеевич – к.т.н., профессор кафедры инженерных систем в строительстве, декан факультета строительства, теплоэнергетики и газоснабжения, Винницкий национальный технический университет, e-mail: ratusnakg@gmail.com.

Панкевич Владимир Вячеславович – аспирант, Винницкий национальный технический университет, e-mail: pankvova82@gmail.com.