

ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ПРИ ВИБОРІ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ У ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Шарко О.В., Степанчиков Д.М.

Херсонський національний технічний університет

Обґрунтовано можливість розгляду проблеми теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель як багатокритеріальної задачі в умовах невизначеності. Проведено адаптацію математичних алгоритмів теорії ігор для використання у процесі прийняття рішень при впровадженні заходів з теплозахисту огорожувальних конструкцій житлових будівель. При цьому використано математичні методи нечіткої логіки. За допомогою розробленого методу отримано рейтинг матеріалів для теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель. Отримано низку практично важливих співвідношень. Показано інноваційність і перспективність розробленого підходу.

Ключові слова: нечітка логіка, енергозбереження, матричні ігри, матеріали для утеплення.

Постановка проблеми. Із часу здобуття незалежності в Україні було проведено ряд досліджень, які виявили основні проблеми, що стоять перед енергетичним сектором країни: дуже високий рівень енергоемності; велика залежність від імпорту енергоносіїв; низька ефективність використання енергії [1].

Подолання третьої проблеми передбачає заходи з оптимізації або безпосередньо при виробництві енергії або при її транспортуванні, або при її використанні кінцевим споживачем. Останній напрям практично повністю визначається ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів у житлово-комунальному господарстві. Слід зауважити, що на комунальну сферу припадає 30 % від усього потенціалу енергозбереження в Україні і це друге місце після промисловості. Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів у житлово-комунальному господарстві, передбачає реалізацію трьох напрямків: модернізація теплогенераторів і систем опалення, облік та регулювання, теплозахист будівель.

В умовах зменшення запасів органічного палива у світі та його подорожчання для споживачів необхідність скорочення енергоспоживання будівель не викликає сумніву. І ціна питання для України може сягати щорічно понад декілька млрд. дол. економії при імпорті енергоносіїв. Марнотратство у використанні паливно-енергетичних ресурсів призвело до того, що саме в Україні енергетична криза носить найбільш яскраво виражений характер. Україна зараз є однією з найбільш енерговитратних країн світу. Проте, слід відмітити, що витрати на видобуток або на купівлю органічного палива в 2,5 рази вищі, ніж витрати на забезпечення економії 1т умовного палива за рахунок енергозбереження [1].

Дослідження показали, що при експлуатації традиційного багатоповерхового житлового будинку через зовнішні стіни втрачається до 40 % тепла, через вікна – 18 %, підвал – 10 %, покриття – 18 %, вентиляцію – 14 % [2]. Тому звести тепловтрати до мінімуму можна лише при комплексному підході до енергозбереження від перелічених складових. Але лівова частка цих втрат припадає на стіни, і тому перший і найважливіший крок при реалізації теплозахисту будівель – це утеплення зовнішніх стін. Підвищення рівня теплозахисту огорожувальних конструкцій веде до зменшення трансмісійних втрат теплової енергії. Чим меншими є втрати теплоти у будинку, тим меншу кількість теплової енергії треба підвести до будинку від джерела тепла для їх компенсації. Таким чином, утеплення веде до зменшення енергії, яка споживається у будинку, а отже, до зниження плати за опалення, а також до економії енергоресурсів. На цьому принципі ґрунтується економічний ефект, викликаний впровадженням даного заходу з енергозбереження [3–6].

Задача про вибір оптимального матеріалу утеплювача та його товщини потребує врахування багатьох факторів: вартість теплоізоляції та вартість теплових втрат, період окупності теплозахисних заходів, широка номенклатура сучасних матеріалів для утеплення фасадів, різні типи капітальних стін будинків, кліматична зона розташування будинку, тип джерела теплової енергії, вологісний режим експлуатації, конструкція та конфігурація зовнішніх стін. Крім того, при виборі типу утеплювача необхідно розглядати такі фактори як довговічність матеріалу, міцність, можливість зовнішньої обробки, безпека для здоров'я, горючість, паропроникність, вага утеплювача, шумоізоляція. Отже, маємо типову задачу з різними за характером невизначеностями, що передбачає багато розв'язків при варіюванні різних вихідних показників.

Розв'язок задачі. В умовах невизначеності основна складність полягає у побудові моделей, адекватних реальній обстановці, а також у виборі математичних засобів прийняття рішень. У теорії прийняття рішень термін «невизначеність» відображає не стільки невизначеність реальної обстановки, скільки рівень наших знань, розуміння, вивченості різних процесів, їх взаємозв'язку. Це означає, що слід говорити не про невизначеність реальної ситуації, а про невизначеність моделі, на підставі якої приймається рішення. Одним з ефективних методів вирішення подібних задач є математичні алгоритми нечіткої логіки [7].

Мета та задачі роботи – використання математичного апарату нечіткої логіки як засобу прийняття рішення в умовах невизначеності при виборі стратегії енергозберігаючих заходів на прикладі визначення оптимального теплозахисту огорожувальних конструкцій житлових будівель.

Об'єкт дослідження – вибір і використання сучасних методів і матеріалів для теплозахисту зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будівель та їх вплив на підвищення енергетичної, економічної та екологічної ефективності теплозахисних заходів.

Предмет дослідження – застосування математичних алгоритмів теорії ігор у прийнятті рішень при виборі матеріалу для теплозахисту зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будівель.

Прийняття рішень в умовах невизначеності та ризику починається з побудови платіжної матриці. Платіжна матриця являє собою спрощену формалізовану модель реальної конфліктної ситуації. Термін «платіжна матриця» є синонімом терміна матриця ефективності [7]. Позначимо через m – число можливих стратегій, що визначають правила дії особи, яка приймає рішення A_1, A_2, \dots, A_m , і через n – число можливих станів зовнішнього середовища $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$. Тоді аналітичне представлення вибору оптимальної стратегії функціонування виробництва в умовах динамічних змін зовнішнього середовища буде виглядати у формі матриці $m \times n$, де число рядків $i = 1, \dots, m$, а число стовпчиків $j = 1, \dots, n$.

$$A = \begin{pmatrix} & \Pi_1 & \Pi_2 & \dots & \Pi_n \\ A_1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & \alpha_1 \\ A_2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & \alpha_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & \alpha_m \\ & \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_n & \end{pmatrix} \quad (1)$$

де a_{ij} – значення переваг від прийнятого рішення в умовах невизначеності, $\alpha_i = \min a_j$, $\beta_j = \max a_i$.

Модель реальної конфліктної ситуації можна представити й у вигляді матриці ризиків $R = \|r_{ij}\|_{m,n}$, яка побудована з платіжної матриці шляхом перетворень $r_{ij} = \beta_j - a_{ij}$ [7].

Аналіз отриманих матриць проводять за критеріями Лапласа, Вальда, Севіджа, Гурвіца, Байеса [7]. Кожен з цих критеріїв вказує на перевагу певної стратегії. Шляхом перехресного порівняння отриманих результатів та підрахунку кількості стратегій, що збігаються за різними критеріями та при різних наборах елементів a_{ij}, r_{ij} матриць, визначають ту стратегію (тип та товщину утеплювача), яка буде найбільш оптимальною при даних фіксованих зовнішніх входних показниках. Подібні дії повторюють для іншого набору фіксованих зовнішніх показників. Таким чином, маємо складне (позиційне або багатоетапне) рішення.

Для розв'язку задачі про знаходження оптимальної товщини та типу утеплювача у якості стратегій A_1, A_2, \dots, A_m можна обрати тип утеплювача. У нашому дослідженні було розглянуто такі матеріали для створення теплозахисту: пінопласт, мінеральна вата, пінополістирол, скловолокно, пінополіуретан, ековата, піноізол, піноскло.

У якості можливих станів $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ можна обрати головні теплофізичні, екологічні, експлуатаційні, інформаційні характеристики матеріалу утеплювача (таб. 1). При такому підході елементи матриці (1) треба подати у балах (наприклад, за п'ятибальною шкалою), керуючись при цьому корисністю з точки зору поставленої задачі. Якщо з точки зору теплозахисту корисним є мінімальне (або максимальне) значення певної характеристики x , то переведення у п'ятибальну шкалу здійснюємо відповідно за формулами:

$$x_5^{\min} = \frac{5x_{\min}}{x} ; \quad x_5^{\max} = \frac{5x}{x_{\max}} \quad (2)$$

де x_{\min}, x_{\max} – мінімальні та максимальні значення відповідної фізичної величини серед порівнюваних матеріалів.

У випадку, коли певна характеристика не вимірюється у числових одиницях, переведення у п'ятибальну шкалу здійснюється на підставі порівняння її з ідеальним значенням для реалізації теплозахисту і присвоєння певного балу.

Таблиця 1 – Головні характеристики матеріалів утеплювача, які аналізуються в роботі

<i>Теплофізичні</i>	<i>Екологічні</i>	<i>Експлуатаційні</i>	<i>Інформаційні</i>
густина	горючість	мінімальна товщина	популярність серед споживачів
теплопровідність	займистість	довговічність	доступність на ринку
теплоємність	димоутворення	простота монтажу	номенклатура типів
теплотасвоєння	токсичність	можливість зовнішньої обробки	
паропроникність	безпека для здоров'я	заповнення пустот	
вологопроникність		стабільність розмірів	
шумоізоляція			
міцність			

По кожній характеристиці визначається середній бал. По середніх балах сформовано платіжну матрицю (табл. 2) та матрицю ризиків, які аналізувалися на підставі критеріїв, описаних вище. Такий аналіз будемо називати характеристичним.

Іншим підходом до аналізу і вибору матеріалів утеплювача є платіжні матриці і матриці ризиків, де у якості можливих стратегій A_1, A_2, \dots, A_m обирають матеріал, а у якості можливих станів середовища $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ обирають товщину шару утеплювача. Якщо елементами платіжної матриці обрати значення річної ефективної вартості C_{ef}

теплоізоляції, взяту з протилежним знаком (табл. 3), то маємо економічний аналіз. Під ефективною вартістю теплоізоляції слід розуміти суму:

$$C_{ef} = C_{вт} + C_{із} \quad (3)$$

де $C_{вт}$ – вартість річних втрат тепла, $C_{із}$ – питома вартість ізоляції.

Таблиця 2 – Платіжна матриця по головних характеристиках матеріалів утеплювача за п'ятибальною шкалою

Характеристики	Теплофізичні	Екологічні	Експлуатаційні	Інформаційні	min
пінопласт ПСБ-С-25	2,59	2,20	3,54	4,67	2,20
мінеральна вата	2,06	3,50	3,32	3,83	2,06
пінополістірол екструзійний	2,20	2,10	2,80	2,83	2,10
скловолокно	2,89	4,50	3,49	3,17	2,89
пінополіуретан	2,87	3,00	3,40	2,17	2,17
ековата	2,36	3,70	3,42	1,50	1,50
піноізол	2,67	3,40	3,34	1,67	1,67
піноскло	2,56	4,80	3,79	1,00	1,00
max	2,89	4,80	3,79	4,67	

Таблиця 3 – Платіжна матриця по ефективній вартості теплоізоляції (елементи матриці – C_{ef} (грн.), стіна – керамзитобетон 335 мм, центральне опалення, 3500 градусо-діб)

Матеріал / товщина	L=20 мм	L=50 мм	L=80 мм	L=110 мм	L=140 мм	L=170 мм	min
пінопласт ПСБ-С-25	-36,197	-26,843	-23,644	-22,820	-23,159	-24,153	-36,197
мінеральна вата	-35,389	-27,128	-25,290	25,808	-27,452	-29,720	-35,389
пінополістірол екструзійний	-36,426	-31,348	-32,840	-36,664	-41,584	-47,103	-47,103
скловолокно	-33,956	-25,173	-22,960	-23,079	-24,294	-26,108	-33,956
пінополіуретан	-34,648	-38,364	-48,884	-61,401	-74,773	-88,589	-88,589
ековата	-34,822	-28,540	-28,916	-31,601	-35,358	-39,700	-39,700
піноізол	-30,763	-21,167	-18,365	-17,805	-18,261	-19,262	-30,763
піноскло	-43,667	-46,381	-55,363	-66,713	-79,213	-92,359	-92,359
max	-30,763	-21,167	-18,265	-17,805	-18,261	-19,262	

Якщо елементами платіжної матриці обрати ККД теплоізоляції, то маємо енергетичний аналіз. При цьому під ККД розуміємо співвідношення:

$$\eta = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} \quad (4)$$

де Q_0 – втрати тепла крізь 1 м^2 стіни без ізоляції, Q – втрати тепла крізь 1 м^2 стіни при наявності ізоляції.

При проведенні описаного вище аналізу можна варіювати різні вхідні (зовнішні) показники, такі як різниця внутрішньої та середньої зовнішньої температури протягом опалювального сезону (різні температурні зони країни), кількість градусо-діб, матеріал (керамзитобетон, цегла, газобетон, дерево, тощо) та товщина капітальної стіни будівлі, тип опалювання приміщення (централізоване опалення від теплової мережі, індивідуальне опалення різними типами котлів та палива), тепловолігнісний режим в опалювальний період. Запропонований метод апробовано для двох температурних зон України.

Розглядалося утеплення зовнішніх стін житлових будинків різними типами утеплювача різної (але дискретно змінюваної) товщини, розгляд енергетичних та економічних параметрів огорожувальної конструкції проводився у розрахунку на 1 м² поверхні.

Основні результати та висновки. Таким чином, застосування вище описаних підходів (характеристичний, енергетичний та економічний) дає шість матриць (три платіжні і три матриці ризиків). В результаті їх аналізу отримуємо три групи «рекомендованих» матеріалів (табл. 4), серед яких після перехресного порівняння можна обрати декілька найбільш оптимальних матеріалів. При складанні «рейтингів» враховано кількість попадань у список кожного матеріалу за різними критеріями (Лапласа, Вальда, Севіджа, Гурвіца, Байєса), що дозволило отримати остаточний «рейтинг» у відносному вигляді (рис. 1).

Таблиця 4 – «Рейтинги» матеріалів утеплювача за даними різних аналітичних підходів

<i>Характеристичний аналіз</i>	<i>Енергетичний аналіз</i>	<i>Економічний аналіз</i>
1. скловолокно	1. скловолокно	1. піноскло
2. пінопласт	2. пінополістирол	2. пінополістирол
3. піноізол	3. пінопласт	3. піноізол
4. мінеральна вата	4. пінополіуретан	4. пінополіуретан
5. пінополіуретан	5. піноскло	5. скловолокно

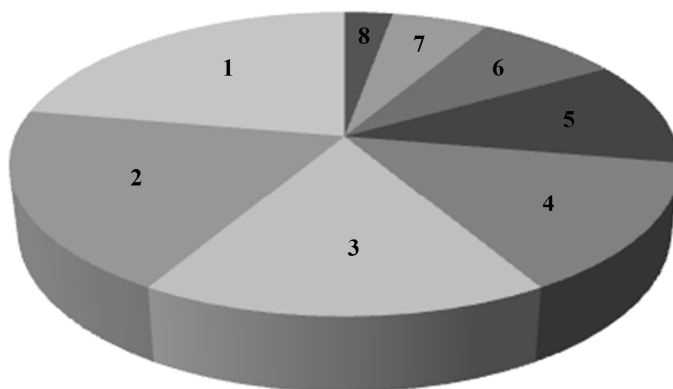


Рисунок 1 – Остаточний «рейтинг» досліджуваних матеріалів для утеплення огорожувальних конструкцій житлових будівель: 1 – скловолокно, 2 – пінопласт, 3 – пінополістирол, 4 – піноізол, 5 – піноскло, 6 – пінополіуретан, 7 – мінеральна вата, 8 – ековата

Для перших трьох матеріалів остаточного «рейтингу» визначено економічну товщину теплоізоляції, за допомогою методу мінімуму приведених витрат [2, 3, 6]. У результаті отримано: скловолокно 100 мм, пінопласт 120 мм, пінополістирол 60 мм.

Серед головних висновків слід виділити наступні:

1. Обґрунтовано можливість розгляду проблеми теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель як багатокритеріальної задачі в умовах невизначеності.

2. Проведено адаптацію математичних алгоритмів теорії ігор для використання у процесі прийняття рішень при впровадженні заходів з теплозахисту огорожувальних конструкцій житлових будівель, запропоновано варіанти побудови платіжної матриці та матриці ризику.

3. Застосовано матричний метод теорії ігор для вибору оптимального матеріалу для теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель. Обрані матеріали утеплювача розглянуто з точки зору чотирьох головних груп характеристик (теплофізичних, екологічних, експлуатаційних, інформаційних), а також на підставі економіко-енергетичного аналізу.

4. Проведено порівняння отриманих результатів, на підставі якого складено «рейтинг» матеріалів для теплозахисту огорожувальних конструкцій житлових будівель.

5. Показано перспективність та потенціал розробленого теоретичного підходу для застосування у процесі прийняття рішень із технологічного розвитку енергетичного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сапожніков С. В. Енергетичний аудит : навч. посібник / Сапожніков С. В. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 120 с.
2. Андропова О. В. Енергозбереження та утилізація енергетичних відходів : навч. посібник / Андропова О. В., Буряченко В. І., Курак В. В. – Херсон : ХНТУ, 2007. – 165 с.
3. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий / В. Г. Гагарин // АВОК. – 2009. – № 1. – С. 10-16; № 2. – С. 14-23; № 3. – С. 62-67.
4. Ковалев И. Н. Рациональные решения при экономическом обосновании теплозащиты зданий / Ковалев И. Н. // Энергосбережение. – 2014. – № 8. – С. 14-19.
5. Ковалев И. Н. Инвестиционная оптимизация технических систем с непрерывно изменяемыми параметрами при проектировании / И. Н. Ковалев // Энергосбережение. – 2013. – № 6. – С.61-67.
6. Горшков А.С. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий / А. С. Горшков // Энергосбережение. – 2014. – № 4. – С.12-19.
7. Дубров А. М. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе / А. М. Дубров, Б. А. Лагоша, Е. Ю. Хрусталева. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 176 с.

REFERENCES

1. Sapozhnikov S. V. Energetichnij audit : navch. posibnik / Sapozhnikov S. V. – Sumi : Sumsjkiyj derzhavnij universitet, 2011. – 120 s.
2. Andronova O. V. Energozbezheniya ta utilizaciya energetichnih vidkhodiv : navch. posibnik / Andronova O. V., Buryachenko V. I., Kurak V. V. – Kherson : KhNTU, 2007. – 165 s.
3. Gagarin V. G. Metodih ehkonomicheskogo analiza povihsheniya urovnya teplozathitih ograzhdayuthikh konstrukcij zdaniyj / V. G. Gagarin // AVOK. – 2009. – № 1. – S. 10-16; № 2. – S. 14-23; № 3. – S. 62-67.
4. Kovalev I. N. Racionaljnihe resheniya pri ehkonomicheskom obosnovanii teplozathitih zdaniyj / Kovalev I. N. // Ehnergosberezhenie. – 2014. – № 8. – S. 14-19.
5. Kovalev I. N. Investicionnaya optimizaciya tekhnicheskikh sistem s neprerihvno izmenyaemihmi parametrami pri proektirovanii / I. N. Kovalev // Ehnergosberezhenie. – 2013. – № 6. – S.61-67.
6. Gorshkov A.S. Ob okupaemosti investiciyj na uteplenie fasadov suthestvuyuthikh zdaniyj / A. S. Gorshkov // Ehnergosberezhenie. – 2014. – № 4. – S.12-19.
7. 7.Dubrov A. M. Modelirovanie riskovihkh situacij v ehkonomike i biznese / A. M. Dubrov, B. A. Lagosha, E. Yu. Khrustalev. – M. : Finansih i statistika, 2000. – 176 s.

Шарко А.В., Степанчиков Д.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ВЫБОРЕ СТРАТЕГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Обоснована можливість розгляду проблеми теплозащити ограждающих конструкций зданий как многокритериальной задачи в условиях неопределенности. Проведена адаптация математических алгоритмов теории игр для использования в процессе принятия решений при проведении мероприятий по теплозащите ограждающих конструкций жилых зданий. При этом используются математические методы нечеткой логики. С помощью разработанного метода составлен рейтинг материалов для теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Выведены некоторые практически важные соотношения. Показана инновационность и перспективность такого подхода.

Ключевые слова: нечеткая логика; энергосбережение; матричные методы теории игр, материалы для утепления.

Sharko A.V., Stepanchikov D.M. USE OF FUZZY LOGIC METHODS TO SELECT OF AN ENERGY-SAVING STRATEGY IN THE HOUSING AND PUBLIC UTILITIES

The heat-shielding of building envelopes as a multicriteria problem in the conditions of uncertainty is proved. Adaptation of mathematical algorithms of the game theory for a strategy selecting of heat-shielding of building envelopes is featured. The mathematical methods of fuzzy logic are used. By means of a designed method the rating of materials for heat-shielding of fencing constructions of buildings is constituted. Some practically important relations are deduced. Innovation and perspective of such approach are shown.

Keywords: *fuzzy logic; energy-saving; matrix methods of game theory, heat-shielding materials.*

© Шарко А. В., Степанчиков Д. М.

Статтю прийнято
до редакції 09.10.15