

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ “ЕКОФІБЕР”

Л.М. Несен, к.т.н., О.Г. Ратушняк

Вінниця

За оцінкою Єгора Фаранюка, голови представництва UAB Paros, в 2006 р. об'єм українського ринку теплоізоляційних матеріалів склав приблизно 4 млн. м³ (без врахування технічної ізоляції). В грошовому виразі – це біля 120 млн. євро. В цьому році потреба України значно перевищить цю цифру.

В результаті проведення в м. Вінниці опитування експертів з проектних, архітектурних та будівельних організацій була визначена наступна пріоритетність використання теплоізоляційних матеріалів. (рис.1).

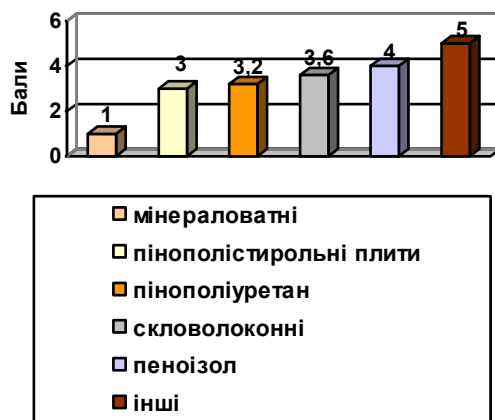


Рис. 1. Шкала пріоритетності вибору теплоізоляційного матеріалу

Пріоритетність вибору теплоізоляційного матеріалу визначалась за п'яти бальною шкалою: перше місце посідає матеріал, який за оцінкою експертів набрав менше балів. Експерти основну перевагу віддають мінераловатним теплоізоляційним матеріалам на базальтовій основі (1 бал). Ці мате-

ріали є негорючими в поєднанні з високими тепло- і звукоізоляційними властивостями, що дає можливість використовувати їх для термореновації багатоповерхових будівель. Вони також стійкі до температурних деформацій, негігроскопічні, хімічно і біологічно стійкі, екологічні і легкі при монтажі. Основним недоліком мінераловатних плит є те, що коли в них потрапляє волога, вони втрачають свої теплоізоляційні властивості.

На другому місці – пінополістиролові плити (3 бали). Пінополістиролові плити не змінюють своїх властивостей і розмірів за тривалого контакту з водою та за умов багаторазової різкої зміни температур. При горінні пінополістиролу утворюються вода і вуглекислий газ. Недоліком пінополістиролу є те, що його не можна використовувати в багатоповерхових будівлях через низькі вогнетривкі властивості і він не є біологічно стійким. Далі за досвідом експертів визначена наступна пріоритетність: пінополіуретан (3,2 бали), скловолоконні (3,6 бали), піноізол (4 бали) інші, менш розповсюдженні матеріали, 5 балів.

Сьогодні на українському ринку теплоізоляційних матеріалів, зокрема компанією “Теплоізоляція” в м. Вінниця, впроваджується новий теплоізоляційний матеріал – “Екофібер” (Ековата) (рис. 2). Він складається приблизно з 82% целюлози (деревинне волокно) і 18% з солей бору. Теплоізоляційні матеріали з целюлозної маси виготовляються в Канаді та США вже більше 60 років. Розробка і застосування “Екофіберу” зародилося в Канаді, звідки почалось його розповсюдження в 1950 - 1970 роках. У ряді країн частка “Екофібера” складає вже

приблизно 30% на ринку збуту будівельних теплоізоляційних матеріалів.



Рис. 2. Структура “Екофіберу”

“Екофібер” є гігієнічно чистим теплоізоляційним матеріалом, який має високі теплоізоляційні властивості. Він використовується як утеплювач в будівництві різних приміщень: житлових будинках, промислових, торгових, сільськогосподарських будівлях, складах, ангарах та ін.

Високі теплоізолюючі властивості “Екофіберу” (теплопровідність $\lambda=0,037$ Вт/мК, для порівняння, мінвата - $0,040$ Вт/мК) пояснюються гарною ізолюючою здатністю заключеного в матеріалі повітря, малим потоком повітря через шар “Екофіберу” (повітропроникність $\sim 65 \times 10^{-6}$ м³/МсПа, для порівняння мінвата $\sim 120...160 \times 10^{-6}$ м³/МсПа), що пояснюється тонковолокнистою структурою “Екофіберу” і хорошою теплоізолюючою здатністю целюлозного волокна. Справжня теплоізолююча здатність істотно вище, ніж мінеральних плит, зважаючи на відсутність швів, стиків, щілин і щільного прилягання матеріалу до основи.

“Екофібер” має ще ряд переваг, на яких варто зупинитися особливо. По-перше, застосування “Екофіберу” є безвідходним. Це означає, що ніяких зайвих обрізків, які, як правило йдуть

у відходи, при укладанні “Екофіберу” не залишиться. Дослідження показують, що правильно встановлене утеплення з будь-якого матеріалу утворює шовні порожнечі в 4%, що приводить до 50% втрат тепла і до подальших додаткових витрат енергії. Улаштування “Екофіберу” сильно відрізняється від інших способів утеплення. Целюлозний утеплювач наноситься на будь-які поверхні шляхом укладання, засипки або напилена за допомогою видувної установки. Мокре нанесення, яке використовується при утепленні конструкцій, дає незрівнянну перевагу споживачу “Екофіберу”. При цьому “Екофібер” міцно схоплюється зі всіма навколишніми конструкціями і замикає в собі, наприклад, електропроводку, що проходить усередині конструкцій, утворюючи тим самим цілісний і щільний покривний шар утеплювача. Сухе укладання - застосовується для горизонтальних верхніх і нижніх перекриттів, похилих верхніх перекриттів, коробчатих конструкцій. “Екофібер” призначений для розпилювання на будь-яку поверхню: дерево, метал, бетон, цеглу, скло.

Покриття з “Екофіберу” для стін, підлоги і стелі повністю заповнює всі порожнечі, усуваючи втрати тепла. При цьому “Екофібер” проникає навіть в найдрібніші зазори, і шар ізоляції виходить щільним та безшовним. Крім того, при реконструкції або перебудові будівлі є можливість видалити укладений утеплювач з ніші між лагами, і потім повторно використовувати його. По-друге, при утепленні будинку за допомогою “Екофіберу” не застосовується додатковий пароізолятор, завдяки структурі целюлозного волокна. Під дією пари на матеріалі утворюється гігроскопічна

плівка, яка служить паробар'єром. Будучи органічним розсипним утеплювачем, "Екофібер" в поєднанні з дерев'яною конструкцією будівлі складає єдине ціле. Крім того, сполуки бору, як складові "Екофіберу" захищають дерев'яні конструкції будівлі, що покриваються, від мікроорганізмів і цвілевих та дереворуйнівних грибів і гризунів. Загалом будинок "дихає", а забудовник забуває, що таке вологість в приміщенні. Коливання відносної вологості повітря не впливають на теплоізолюючу здатність матеріалу. При аваріях в мережах водопостачання "Екофібер" здатний поглинати воду в 5-6 разів більше за свою масу, внаслідок чого вода не потрапляє в інші частини конструкції, а при наступному швидкому висиханні "Екофібер" не втрачає своїх фізико-хімічних якостей.

Велика кількість звукової енергії передається через зазори і порожнечі в стінах, стиках підлоги і стелі. Розпорошений по місцю покриття, "Екофібер" створює звукоізоляційну

стінку. "Екофібер" має велику звукопоглинаючу здатність. Наприклад перегородка з гіпсокартону 12,5 мм, яка утеплена шаром "Екофіберу" 50 мм – звукопоглинання становить 63дБ. "Екофібер" є вогнестійким теплоізоляційним матеріалом. При пожежі він ефективно уповільнює розповсюдження вогню через конструкцію і не виділяє токсичних газів.

Для проведення еколого-економічної оцінки теплоізоляційного матеріалу за допомогою апарата нечітких множин було розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити оптимальний теплоізоляційний матеріал для утеплення будівлі з врахуванням економічних, екологічних, теплофізичних параметрів.

Структурна модель інтелектуальної підтримки прийняття організаційного рішення експертною системою, щодо еколого-економічної доцільності (ЕЕД) теплоізоляційного матеріалу, наведено на рис. 3 у вигляді дерева нечіткого логічного висновку.

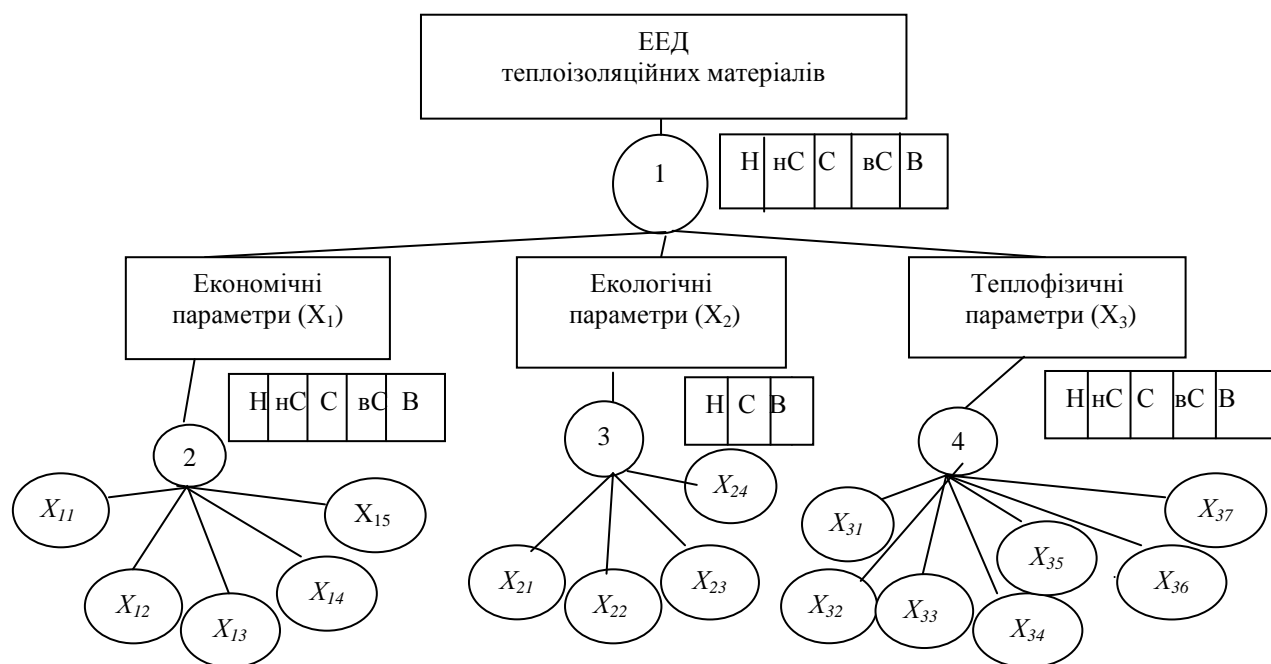


Рис.3. Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на вибір теплоізоляційних матеріалів

Корінь дерева нечіткого логічного висновку відповідає еколого-економічній доцільності теплоізоляційного матеріалу. Параметри розглядаються як лінгвістичні змінні $x_{11} - x_{15}$, $x_{21} - x_{24}$, $x_{31} - x_{37}$ і є входними параметрами експертної системи. Вони приймають значення,

що належать відповідним універсальним множинам, та оцінюються нечіткими термами (табл. 1). Входні параметри можуть бути кількісними (значення задаються числом, що належать універсальній множині) та якісними (значення параметра задається термом).

Таблиця 1

Фактори впливу – як лінгвістичні змінні

Параметри	Позначення та назва лінгвістичної змінної	Універсальна множина	Терми для оцінки
Економічні	X_{11} – вартість матеріалу	110...1000 грн/м ³	низька (Н), менше середньої (нС), середня (С), більше середньої (вС), висока (В)
	X_{12} – вартість робіт	60...300 грн/м ³	низька, середня, висока
	X_{13} – трудомісткість робіт	15-35 люд.-хв./м ³	низька, середня, висока
	X_{14} – довговічність	50...100 років	низька, середня, висока
	X_{15} – експлуатаційні витрати	0...10 грн/м ³	низька, середня, висока
Екологічні	X_{21} – вогнетривкість	100...1400 °С	низька, середня, висока
	X_{22} – хімічна стійкість	0...80 %	низька, середня, висока
	X_{23} – біологічна стійкість	0...10 у. о.	низька, середня, висока
	X_{24} – шкідливість	0...5 у. о.	низька, середня, висока
Теплофізичні	X_{31} – теплопровідність	0,03...0,9 Вт/(м ² К)	низька, менше середньої, середня, більше середньої, висока
	X_{32} – густина	10...1700 кг/м ³	низька, середня, висока
	X_{33} – паро проникність	0,01...0,06 мг(м.год. Па)	низька, середня, висока
	X_{34} – гігроскопічність	0...100 %	низька, середня, висока
	X_{35} – морозостійкість	200...1000 циклів	низька, середня, висока
	X_{36} – міцність на стискування	0,05...20 мПа	низька, середня, висока
	X_{37} – звукопоглинання	10...40 дБ	низька, середня, висока

Наступним етапом моделювання еколого-економічної доцільності теплоізоляційного матеріалу є фазифікація факторів, що передбачають вибір нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів і формалізація цих термів за допомогою функцій належності. Далі будують-

ся нечіткі матриці знань. До нечіткої матриці знань відносять результати віртуального експерименту. Експерт відповідає на питання: якою буде лінгвістична оцінка вихідного показника при поєднанні лінгвістичних оцінок факторів. Після побудови матриць знань пи-

шеться нечіткий логічний висновок. Техніка нечіткого логічного висновку, яка застосована до інформації, що зібрана на попередніх етапах, дозволяє обчислити показник, який прогнозується, у вигляді нечіткої множини за допомогою системи висловлювань "ЯКЩО - ТО". Ця система пов'язує нечіткі терми вхідних і вихідних змінних за допомогою операції І та АБО, які прийняті в теорії нечітких множин і відповідають операціям \min та \max . Лінгвістичним висловлюванням відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних відповідному терму. Останнім етапом моделювання є дефазифікація вихідного показника. Щоб перейти від одержаної нечіткої множини до кількісної оцінки, необхідно виконати процедуру дефазифікації, що означає перетворення нечіткої інформації в чітку форму.

Отримуємо у вигляді нечіткої множини якісну оцінку теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівлі:

$$EED_m = \left\{ \frac{\mu_{q_1}(EED_m)}{d_1}, \frac{\mu_{q_2}(EED_m)}{d_2}, \dots, \frac{\mu_{q_n}(EED_m)}{d_n} \right\}, \quad (1)$$

де n - число нечітких термів для змінної EED_m (в даному випадку $n=5$);

q_i - назва i -го терму, $i = \overline{1, n}$;

$\mu_{q_i}(EED_m)$ - ступінь належності змінної EED_m терму q_i ;

d_i - кількісне значення, яке відповідає терму q_i .

Ця нечітка множина визначає еколого-економічну доцільність вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівлі для фіксованого вектора впливаючих фак-

торів. Відповідно методу дефазифікації - "центру ваги" нечіткої множини відповідає наступна кількісна оцінка еколого-економічної доцільності теплоізоляційного матеріалу:

$$EED_m^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{q_i}(EED_m) \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{q_i}(EED_m)}. \quad (2)$$

Підставив i -тому терму q_i число

$$d_i = \left[\frac{EED_m + \frac{\overline{EED_m} - EED_m}{n-1} \cdot (i-1)}{n-1} \right],$$

де $\overline{EED_m}(EED_m)$ - найменше (найбільше) значення змінної EED_m , рівняння (2) буде мати вигляд:

$$EED_m^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{q_i}(EED_m) \cdot \left[\frac{EED_m + \frac{\overline{EED_m} - EED_m}{n-1} \cdot (i-1)}{n-1} \right]}{\sum_{i=1}^n \mu_{q_i}(EED_m)}. \quad (3)$$

За даною методикою проведено моделювання таких теплоізоляційних матеріалів як пінополістирол, мінеральна вата, скловата і "Екофібер". Було отримано наступні результати: еколого-економічна доцільність пінополістиролу склала 240,32 грн/м³, ЕЕД мінеральної вати складає - 273,43 грн/м³, ЕЕД скловати - 238,62 грн/м³, "екофібер" - 270,24 грн/м³.

Виходячи з проведеної еколого-економічної оцінки "Екофібер" за своїми властивостями можна порівняти до мінераловатних плит на базальтовій основі. Утепивши свій будинок новим сучасним теплоізоляційним матеріалом Ви будете почувати себе затишно і комфортно протягом всього року за порівняно низьку ціну.