

Є. М. Опря
А. О. Лялюк
О. Г. Лялюк

АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ ТА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ПОКРИТТЯ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто ключові аспекти вдосконалення теплоізоляційних властивостей будівельних покриттів з позицій енергозбереження, довговічності та економічної ефективності. Наведено аналіз фізичних і математичних моделей, що описують процеси теплопередачі та оптимізацію організаційно-технологічних рішень під час впровадження енергозберігаючих технологій. Запропоновано системний підхід до прийняття рішень, який поєднує чисельні методи розрахунку з реальними умовами будівельного виробництва.

Ключові слова: теплоізоляція, енергозбереження, теплопередача, математичне моделювання, організаційно-технологічні рішення, покриття будівлі.

Abstract

The theses consider key aspects of improving the thermal insulation properties of building coatings from the standpoint of energy saving, durability and economic efficiency. An analysis of physical and mathematical models describing heat transfer processes and optimization of organizational and technological solutions during the implementation of energy-saving technologies is presented. A systematic approach to decision-making is proposed, which combines numerical calculation methods with real conditions of construction production.

Key words: thermal insulation, energy saving, heat transfer, mathematical modeling, organizational and technological solutions, building covering.

Вступ

Сучасне будівництво вимагає впровадження інноваційних технологій, спрямованих на підвищення енергоефективності та зниження тепловтрат будівель. Теплоізоляційні властивості огорожувальних конструкцій значною мірою визначають рівень енергоспоживання та комфортні умови проживання. Ефективне вирішення цієї проблеми потребує використання фізичних моделей процесів теплопередачі та математичних методів оптимізації організаційних і технологічних рішень [1-3]. Для точного розрахунку енергозбереження центру обробки даних після енергозберігаючої реконструкції та оцінки ефекту енергозбереження розроблені технології побудови базової моделі енергоспоживання та створено моделі «Факторів енергоспоживання», засновану на теорії нечіткого та грубого зменшення атрибутів, яка відсіює основні енергетичні фактори з метою забезпечення точності базової моделі та зменшення кількості вхідних змінних [4].

1. Фізичні моделі теплопередачі

Фізичні моделі базуються на законах теплопровідності, конвекції та випромінювання. Для багат шарових систем теплоізоляції процес описується рівнянням Фур'є:

$$q = -\lambda \times dT/dx, \quad (1)$$

де q — густина теплового потоку, λ — коефіцієнт теплопровідності матеріалу, dT/dx — градієнт температури. Дослідження показують, що комбінування полімерних і мінеральних утеплювачів дозволяє знизити втрати тепла на 25–35 % порівняно з традиційними матеріалами.

2. Математичне моделювання

Математичні моделі використовуються для оцінювання енергетичної ефективності та оптимізації витрат. Застосовуються методи скінченних різниць, регресійного аналізу та оптимізації за критерієм мінімізації сумарних витрат:

$$E = \Sigma(C_i + \alpha_i \times t_i) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де C_i — витрати на матеріали, t_i — трудомісткість робіт, α_i — коефіцієнт вагомості параметра.

Модель енергозбереження на основі TRIZ — це підхід до підвищення енергоефективності об'єктів (будівель, технологічних процесів, систем тощо) із використанням методології (TRIZ — Теорія розв'язання винахідницьких задач), розробленої Генріхом Альтшуллером [5].

TRIZ — це системний метод пошуку інноваційних технічних рішень, заснований на: виявленні та усуненні технічних протиріч; використанні закономірностей розвитку технічних систем; застосуванні стандартів і прийомів винахідницьких рішень.

Модель енергозбереження на основі TRIZ передбачає:

1. Виявлення проблеми — наприклад, надмірні втрати тепла через огорожувальні конструкції будівлі.
2. Формулювання протиріччя — якщо посилити теплоізоляцію, зростає вартість і вага конструкцій; якщо зменшити вартість, падає ефективність.
3. Застосування принципів TRIZ — вибір типових прийомів (наприклад, “перехід у надсистему”, “додатковий вимір”, “динамічність”), щоб знайти оптимальне рішення.
4. Побудову моделі енергозбереження, що включає: аналітичні залежності між енергетичними втратами, характеристиками матеріалів та умовами експлуатації; оцінку ефективності за критеріями мінімізації енергоспоживання, витрат і екологічного впливу (рис.1).



Рисунок 1 - Схема TRIZ - моделі енергозбереження

Приклад застосування: Технічне протиріччя: потрібно зменшити теплопровідність покрівлі, але не збільшити товщину.

Модель енергозбереження, побудована за TRIZ, допомагає: системно аналізувати енергетичні втрати; знаходити інноваційні, неочевидні рішення; оптимізувати організаційно-технологічні процеси утеплення; формувати алгоритм вибору матеріалів та технологій для мінімізації енергоспоживання будівлі. Рішення за TRIZ: використання комбінованої структури (наприклад,

нанопористих або вакуумних панелей), що дозволяють зберегти теплову ефективність без збільшення маси та габаритів.

3. Організаційно-технологічне забезпечення процесу

Організаційно-технологічне забезпечення полягає у виборі оптимальної послідовності монтажу теплоізоляційних елементів, забезпеченні якості виконання робіт і скороченні простоїв. Використання цифрових технологій (BIM-моделювання) дає змогу поєднати розрахункові дані фізико-математичних моделей з реальними умовами будівництва, що підвищує ефективність планування, контролю та управління ресурсами. У BIM-середовищі можна змодельовати поведінку конструкцій у різних фізичних умовах — наприклад, при зміні температури, вологості, навантажень. Це дає змогу перевірити достовірність математичних моделей до початку реального будівництва. У процесі будівництва модель можна постійно оновлювати на основі фактичних даних (з датчиків, дронів, сканерів). Таким чином, фізико-математичні моделі залишаються актуальними й відображають реальний стан об'єкта. Поєднання розрахункових даних з BIM-моделлю дозволяє проводити сценарний аналіз — прогнозувати енергоспоживання, вартість експлуатації, терміни служби конструкцій, що підвищує ефективність прийняття проектних рішень. Результати складних математичних розрахунків можна наочно представити у вигляді 3D-моделі, що полегшує аналіз, координацію між фахівцями та прийняття замовником.

Висновки

Застосування фізичних і математичних моделей у системі організаційно-технологічного забезпечення дозволяє оптимізувати процес удосконалення теплоізоляційних властивостей енергозберігаючих покриттів будівель. Такі рішення сприяють зменшенню тепловтрат, підвищенню комфорту та довговічності конструкцій, а також забезпечують економічний ефект за рахунок скорочення експлуатаційних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ouyang, Jianjun; Ju, Peng, The choice of energy saving modes for an energy-intensive manufacturer under non-coordination and coordination scenarios. Energy. Vol. 126. P. 733-745.
2. Wang, Qiankun; Huang, Qian. Research on the Technical and Economic Evaluation Model of Energy-saving Buildings. Optical, electronic materials and applications. 2012. Vol. 529. P. 424-430.
3. Kuei-Chen; Chen, Chien-Lung; Lin, Hsin-Fa; Wu, Yung-Hsun. Which Is the Priority for the Public while Adopting Energy-saving Facilities? An Analysis of Association between Acceptance and Attitudes toward Using Energy-saving Facilities. International conference on industrial engineering and engineering management. 2019. P.1506-1511.
4. Li, Gang; Zhang, Qingpu; Feng, Zhengqian. Research on method for calculating energy saving in data centre. Oxidation communication. 2016. Vol. 39. P. 1962-1973.
5. Luo, Jia Luo, Jia. Study of Building Energy-Saving Based on TRIZ. Smart materials and intelligent system. 2012. Vol. 442. P. 58-61.

Кафедри будівництва міського господарства та архітектури

Опря Євгеній Михайлович – аспірант, Вінницький національний технічний університет. Eugenopria@gmail.com. +380931188544

Лялюк Андрій Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет. 1b16b.lyalyuk@gmail.com

Лялюк Олена Георгіївна – к. т. н., доцент кафедри будівництва міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, науковий керівник. e-mail: Lyalyuk74@gmail.com

Opria Yevgen - post-graduate studen, post-graduate studen, Vinnitsa National Technical University (VNTU)/ [Eu-genopria@gmail.com](mailto:Eugenopria@gmail.com)

Lyalyuk Andrey - -graduate studen, VNTU, 1b16b.lyalyuk@gmail.com

Lyalyuk Elena - Ph. D., assistant professor of construction of urban economy and architecture VNTU, e-mail: Lyalyuk74@gmail.com