

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ БІОСФЕРОСУМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2022

УДК 691.12

П64

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 07 від 31.03.2022 р.)

Автори:

Ю. С. Бікс, Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, О. Г. Ратушняк

Рецензенти:

В. М. Желих, доктор технічних наук, професор

А. С. Моргун, доктор технічних наук, професор

Потенціал енергоефективності огорожувальних конструкцій із біосферосумісних матеріалів : монографія [Електронний ресурс] / Ю. С. Бікс, Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, О. Г. Ратушняк. — Вінниця: ВНТУ, 2022. — (PDF, 133 с.)

ISBN 978-966-641-902-9

Розглянуто чинники впливу на потенціал енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель з теплоізоляційних матеріалів на засадах біосферосумісності. Наведено результати аналітичних та експериментальних досліджень визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження. Запропоновано математичну модель оцінки надійності забезпечення ефективності теплоізоляційних будівельних виробів. Наведено результати чисельного дослідження з використанням методів аналізу ієрархій, сірого реляційного аналізу, теорії критерійного значення та з врахуванням показника теплової інерції з обґрунтування оптимального типу й матеріалу огорожувальних конструкцій будівель за умов біосферосумісності.

УДК 691.12

ISBN 978-966-641-902-9

© Ю. Бікс, Г. Ратушняк, О. Лялюк, О. Ратушняк, 2022

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
РОЗДІЛ 1 ЧИННИКИ ВПЛИВУ НА ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ	8
1.1 Основні вимоги до енергоефективності будівель.....	8
1.2 Оцінювання енергоефективності огороджувальних конструкцій будівель при забезпеченні мікроклімату приміщень	12
1.3 Еколого-економічні механізми реалізації біосферо- сумісного будівництва з використанням матеріалів відходів виробництва.....	20
1.4 Оцінка ризиків при виборі механізму реалізації енергозберігаючого проекту	34
1.5 Напрямки подальшого розвитку досліджень з оцінювання потенціалу енергоефективності огороджувальних конструкцій із біосферосумісних матеріалів.....	38
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ ДО 1 РОЗДІЛУ	41
РОЗДІЛ 2 ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ОРГАНІЧНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ	51
2.1 Фактори впливу на теплотехнічні властивості теплоізоляційних матеріалів рослинного походження	51
2.2 Методи та обладнання для дослідження теплопровідності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження	57
2.3 Установка для дослідження теплопровідності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження	64
2.4 Експериментальні дослідження теплопровідності соломи, як теплоізоляційного матеріалу рослинного походження.....	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ ДО 2 РОЗДІЛУ	85
РОЗДІЛ 3 БАГАТОФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ БІОСФЕРОСУМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	88
3.1 Моделювання надійності забезпечення ефективності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження	88

3.1.1	Методи оцінки надійності забезпечення ефективності матеріалів при влаштуванні теплоізоляційної оболонки будівель	88
3.1.2	Моделювання надійності забезпечення ефективності теплоізоляційних будівельних виробів із соломи з використанням лінгвістичних змінних	91
3.2	Багатокритеріальна оцінка потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель	99
3.2.1	Теоретичні засади багатокритеріальної оцінки потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель ...	99
3.2.2	Чисельний аналіз моделювання оцінки потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель ...	105
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ ДО 3 РОЗДІЛУ	124
	ВИСНОВКИ.....	131

ПЕРЕДМОВА

Зменшення світових запасів енергоносіїв та збільшення їх вартості спонукає впровадження прогресивних технологій при влаштуванні теплоізоляційної оболонки енергоефективних будівель для забезпечення комфортного режиму мікроклімату приміщень. Розвиток енергоефективних систем і технологій в будівельній галузі повинен відповідати сучасним вимогам енергозбереження, екологічності та економічності. Вектор стратегії розвитку суспільства при будівництві житла – це впровадження біосферосумісних технологій, що ґрунтуються на засадах дотримання принципу збереження та відновлення природних ресурсів.

Матеріали для влаштування непрозорих огорожувальних конструкцій будівель характеризуються різноманітними кількісними та якісними параметрами. Досягнення методів системного аналізу з використанням імітаційного та математичного моделювання є конструктивним інструментом комплексної оцінки матеріалів, що використовуються для влаштування теплоізоляційної оболонки будівель із заданими оптимальними теплотехнічними, екологічними та економічними властивостями.

Перспективним напрямком досліджень потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій на засадах біосферосумісності є кластерний підхід, що дозволяє об'єднати декілька однакових або подібних факторів впливу, які можуть розглядатися як самостійна одиниця з визначеними властивостями. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є використання багатокритеріальних методів аналізу впливу факторів при прийнятті рішень відносно конструктивно-технологічного рішення влаштування теплоізоляційної оболонки будівлі.

Інноваційним рішенням в будівництві малоповерхових енергоефективних житлових будинків є використання багат шарових огорожувальних конструкцій, в яких при влаштуванні теплоізолюючого шару доцільно використовувати біопозитивні матеріали органічного походження. На теперішній час відсутній аналіз надійності їх енергоефективності на системному рівні за кількісними та якісними теплофізичними, механічними, екологічними та економічними показниками. Ви-

рішення актуальної проблеми будівництва нового та термомодернізації існуючого малоповерхового житла потребує теоретичного та експериментального обґрунтування науково-методологічного механізму досліджування потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій на засадах біосферосумісності.

В роботі наведено основні нормативні вимоги до енергоефективності будівель з врахуванням чинників забезпечення економічної та екологічної безпеки. Виконано аналіз досліджень оцінювання потенціалу енергоефективності біосферосумісних огорожувальних будівель, призначених для забезпечення комфортності середовища приміщень шляхом управління параметрами мікроклімату. Це дозволило окреслити основні фактори впливу параметрів мікроклімату, що повинні забезпечувати огорожувальні конструкції енергоефективних будівель. Визначено основні напрямки науково-методологічного механізму дослідження енергоефективності потенціалу непрозорих огорожувальних конструкцій на засадах біосферосумісності.

Розглянуто шляхи вдосконалення еколого-економічних механізмів біосферосумісного будівництва з використанням матеріалів з відходів виробництва. Запропоновано структурно-логічну модель управління відходами виробництва при біосферосумісному будівництві. Оцінено можливі ризики при реалізації проектів з підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій із біосферосумісних матеріалів.

Наведено результати аналітичних та експериментальних досліджень теплопровідності органічних теплоізоляційних матеріалів рослинного походження. За результатами аналітичного аналізу факторів впливу на теплотехнічні властивості теплоізоляційних матеріалів рослинного походження підтверджено кореляційний зв'язок теплопровідності із щільністю та напрямком розташування волокон матеріалів відносно вектору теплового потоку та вологості матеріалу. Охарактеризовано методи та обладнання для дослідження параметрів теплопровідності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження.

Запропоновано інноваційну конструкцію установки для визначення параметрів теплопровідності теплоізоляційного матеріалу рослинного походження. Конструкція виготовленого експериментального зразка установки дозволяє забезпечувати гомогенний розподіл тепло-

вого потоку по площі поперечного перерізу досліджуваного зразка теплоізоляційного матеріалу та автоматично реєструвати температуру в характерних місцях зразка. Отримані результати експерименту досліджень підтверджують висновки інших авторів про однозначний домінуючий вплив щільності матеріалів рослинного походження на коефіцієнт теплопровідності.

Розроблено математичну модель оцінки надійності забезпечення ефективності теплоізоляційних будівельних виробів із соломи з використанням математичного апарату нечіткої логіки та лінгвістичних змінних, яка дозволяє здійснювати інтелектуальну підтримку конструктивно-технологічних рішень при влаштуванні теплоізоляційної оболонки будівель. Наведено результати чисельного дослідження з використанням методів аналізу ієрархій, сірого реляційного аналізу, теорії важливості критеріїв, а також з врахуванням показника теплової інерції з обґрунтування оптимального типу й матеріалу стін та їх товщини за умов біосферосумісності. Такий багатокритеріальний аналіз дозволяє оцінити потенціал енергоефективності різних типів конструктивного виконання огорожувальних конструкцій з врахуванням їх теплофізичних, економічних та екологічних параметрів.

РОЗДІЛ 1 ЧИННИКИ ВПЛИВУ НА ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

1.1 Основні вимоги до енергоефективності будівель

Правові, соціально-економічні та організаційні засади діяльності в різних галузях економіки щодо забезпечення енергетичної ефективності будівель регулює Закон України «Про енергозбереження» [1] та Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [2]. Енергетична ефективність будівель визначається кількістю енергії для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов мікроклімату для життєдіяльності людей. Енергетична ефективність будинку – це властивість його теплоізоляційної оболонки та інженерного обладнання забезпечувати оптимальні умови мікроклімату в приміщеннях при фактичних або розрахункових витратах теплової енергії на опалення [3]. Економічно доцільний рівень енергетичного забезпечення ефективності будівель досягається мінімальними експлуатаційними та ліквідаційними втратами протягом всього життєвого циклу проекту з урахуванням вкладу інвестицій та доходу від можливої генерації відновлювальної енергії інженерних систем. Відповідно до «Національного плану дій з енергоефективності на період до 2030 року», затвердженого Кабміном України в 2021 році передбачено комплексний підхід з термомодернізації у всіх сферах економіки.

Клас енергетичної ефективності будівель, як рівень її енергетичної ефективності за інтервалом значень питомої витрати теплової енергії на опалення будинку за опалювальний період року, регламентується Державними нормами [3] та наведено в табл. 1.1.

В Україні діють жорсткі вимоги до енергетичної ефективності будівель. Нові будівлі необхідно обов'язково проектувати з низьким споживанням енергії, тобто відповідно до вимог класу В або С [3]. При проектуванні пасивних будівель класу А необхідно втілювати інноваційні технології при влаштуванні енергоефективних зовнішніх огороджувальних конструкцій та генерації відновлювальної й альтернативної енергії інженерних систем із забезпечення нормованих параметрів мікроклімату приміщень.

дів MCDA буде залучено до порівняльних досліджень, тим більш об'єктивною буде оцінка результатів визначення потенціалу енергоефективності конкретного типу огорожувальних конструкцій будівель.

Оцінка огорожувальної конструкції з використанням узагальненого індексу потенціалу енергоефективності повинна бути перевірена та вдосконалена в деяких аспектах, наприклад у доповненні, подальшому розвитку та «правильному» виявленні найбільш значущих критеріїв оцінки (кліматичний фактор, термін експлуатації стінової конструкції / цілої будівлі без капітального ремонту тощо). Процедура оцінки потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій може бути застосована також у поєднанні з іншими методами MCDA, такими як комбінований метод зважування. Запропонована модель може стати одним із інструментів, який допомагає проєктантам та інвесторам зробити оптимальний вибір в конкретних задачах.

Беручи до уваги різноманітність фізичних, фізико-механічних та економічних параметрів матеріалу для зведення стін, запропонований узагальнений індекс потенціалу енергоефективності огорожувальної конструкції може бути одним із інструментів при обґрунтуванні типу огорожувальних конструкцій. Проведені дослідження показали, що найкращим типом стін з точки зору узагальненого індексу потенціалу енергоефективності є стіна з арболіту та стінка арболіт + солома, майже втричі менше значення індексу виявлено у стіни із землєбиту. Стіни з саману, чуркобетону та солом'яних панелей мають практично однакове значення узагальненого індексу потенціалу енергоефективності. При аналізі результатів виявлено, що метод аналізу ієрархії (АНР) показав більшу неоднорідність результатів, ніж метод сірого реляційного аналізу (GRA). Можливою причиною цього є різниця в техніках оцінювання - АНР позиціонується як суб'єктивний метод оцінювання з матрицями парних порівнянь, тоді як GRA є об'єктивним методом порівняння.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ ДО 3 РОЗДІЛУ

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» - К.: ВВР. 2017, №3, с. 5.
2. Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г. Управління проектами енергозбереження шляхом термореновації будівель: навч. посіб. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2006. 120 с.
3. ДБН В.6 – 31:2016. Теплова ізоляція будівель.[Чинний від 2017-05-01]. Вид. Офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. – 33 с. (Державні будівельні норми).
4. Семко О. В., Філоненко О. І., Панченко С. П., Мякий Є. І. Спорудження малоповерхових житлових будинків із солом'яних блоків та визначення їх теплотехнічних характеристик. Вісник Придніпр. держ. академ. буд. та арх. Дніпро: ПДАБА. 2013. №8. С. 47–52.
5. Каркасна стінова панель із теплозвукоізоляційних солом'яних блоків, пат. 127505 Україна: МПК Е04/С 2/16 заявл. 02.02.2018, опубл. 10.08.2018. Бюл. №15, 7 с.
6. Brojan L., Petric A., Clouston Peggi L. A comparative study of brick and straw bale wall systems from environmental, economical and energy perspectives. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2013. Vol. 8, No. 11. P. 920–926.
7. Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Київ: Гамма-Принт, 2009. 137 с.
8. Ратушняк Г. С. Фактори надійності забезпечення енергоефективності багат шарових теплоізоляційних будівельних виробів із застосуванням соломи // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2018. - №2. – с. 25-30.
9. Stankevicius V. The Effect of stochastically dependent physical parameters on the materials thermal receptivity coefficient / Vytautas Stankevicius, Liutauras Kairys // Materials Science (Medziagton). – Vol. 11. - №2. – 2005. – P. 188-192.
10. Uncertainty in the thermal conductivity of insulation materials / F. Domingues-Munoz, B. Anderson, I.M. Cejudo-Lopez, A. Carrillo-Andres // Eleventh International IBPSA Conference, July 27-30,

2009. – Glasgow. Scotland. – 2009. – P. 1008-1013.
11. Матюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Матюшкин, Б. И. Мокин, А. Л. Ротштейн. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2002. – 145 с.
 12. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация системы пер. сант. / М.: Радко и связь, 1991. – 224 с.
 13. Wang J. J., Jing Y. Y., Zhang C. F., Zhao J. H. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2009. Vol. 13. №9. P. 2263-2278. doi:10.1016/j.rser.2009.06.021.
 14. Bläsi W. Bauphysik. Bibliothek des technischen Wissens. 3 Auflage. Haan: Verlag Europa Lehrmittel, 2001. 536 p.
 15. Stazi F. Thermal Inertia in Energy Efficient Building Envelopes. Butterworth-Heinemann, 2017. doi: 10.1016/B978-0-12-813970-7.00001-7.
 16. Shimray B. A., Singh, K. M., Mehta, R. K. A survey of multi-criteria decision making technique used in renewable energy planning. *International Journal of Computer*. 2017. Vol. 4523. P. 124-140.
 17. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий: монография. Москва: АВОК, 2012. 204 с.
 18. Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Київ: Гамма-Принт, 2009. 137 с.
 19. Wang J. J., Jing Y. Y., Zhang C. F., Zhang X. T., Shi G. H. Integrated evaluation of distributed triple-generation systems using improved grey incidence approach. *Energy*. 2008. Vol. 33. № 9. P. 1427-1437. doi: 10.1016/j.energy.2008.04.008.
 20. Biks Y., Ratushnyak G., Ratushnyak, O. Energy performance assessment of envelopes from organic materials. *Architecture Civil Engineering Environment*. 2019. № 3: 55-67. doi: 0.21307/ACEE-2019-036.

21. Hopfe C. J., Augenbroe G. L., Hensen J. L. Multi-criteria decision making under uncertainty in building performance assessment. *Building and environment*. 2013. № 69, P. 81-90. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.07.019.
22. Kheiri F. A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 92. P. 897-920. doi: 10.1016/j.rser.2018.04.080
23. Коршунов О. В., Зуев В. И. Время тепловой инерциии термическое сопротивление слоистых стен. *Энергоресурсосбережение и энергоэффективность*. 2011. №4(40). С.23–26.
24. ДБН В.6 – 31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Вид. Офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 33 с. (Державні будівельні норми).
25. Коршунов О. В., Зуев В. И. Время тепловой инерциии термическое сопротивление слоистых стен. *Энергоресурсосбережение и энергоэффективность*. 2011. №4(40). С.23–26.
26. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. Москва: К. дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.
27. Liu S., Yang Y., Forrest J. Grey data analysis. *Springer Singapore*. Singapore, 2017. Vol. 10. №1007. P. 978-981.
28. Daniel S. A. A., Pugazhenthir R., Kumar R., Vijayananth, S. Multi objective prediction and optimization of control parameters in the milling of aluminium hybrid metal matrix composites using ANN and Taguchi-grey relational analysis. *Defence Technology*. 2019. Vol. 15. № 4. P. 545-556. doi: 10.1016/j.dt.2019.01.001.
29. Sarpkaya C., Sabir E. C. Optimization of the sizing process with grey relational analysis. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2016. №1(115). P. 49-55. doi: 10.5604/12303666.1172087.
30. ДСТУ-Н. Б. В. 2.6-190:2013. Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплосвоєння огорожувальних конструкцій [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального

- господарства України, 2014. 40 с. (Державний стандарт України).
31. De Saulles T. Thermal mass explained. Concrete Centre, 2009.
32. Філоненко О. І., Юрін О. І. Будівельна теплофізика огорожувальних конструкцій будівель: навч. посібник. Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2015. 328 с.
33. ДСТУ Б В.2.6. – 189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ, Мінрегіон України, 2014. 55 с. (Державний стандарт України).
34. Композиційний будівельний теплоблок: пат. 130276 Україна: МПК (2006): E04B 1/00, E04C 2/16 (2006.01). № u201808845; заявл. 20.08.2018; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 22. 8 с.
35. Куліченко І. І. та ін. Економічна ефективність використання місцевих екологічних матеріалів в малоповерховому будівництві доступного житла. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения.* 2013. №.69. С.257-264.
36. A brief guide and free tool for the calculation of the thermal mass of building components. URL: <https://www.htflux.com/en/free-calculation-tool-for-thermal-mass-of-building-components-iso-13786/> (дата звернення 20.09.2020).
37. Clarke J. A., Yaneske P. P., Pinney A. A. The Harmonisation of Thermal Properties of Building Materials. URL: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/89/thermop_rep.pdf (дата звернення 26.09.2020).
38. Подіновський В. В., 1976. Багатокритеріальні проблеми з упорядкованими за значимістю критеріями. Автоматизація та дистанційне управління, вип. 37: 1728-1736.
39. Подіновський В. В., 1994. Теорія важливості критеріїв. Математичні соціальні науки, вип. 27: 237-252.

40. Подіновський В. В., 2019. Ідеї та методи теорії важливості критеріїв у багатокритеріальних проблемах прийняття рішень (Наука, Москва) 103 с.
41. Подіновський В. В., 2002. Кількісне значення критеріїв для MCDA. Журнал аналізу багатокритеріальних рішень, вип. 11: 1-15. <https://doi.org/10.1002/mcda.312>.
42. Нелюбін А. П., Подіновський В. В., 2017. Багатокритеріальний вибір на основі методів важливості критеріїв з невизначеною інформацією про переваги. Обчислювальна математика та математична фізика, вип. 57: 1475-1483. <https://doi.org/10.1134/S0965542517090093>.
43. Подіновський В. В., 2009. Про використання інформації про важливість у задачах MCDA з критеріями, вимірними за першою впорядкованою метричною шкалою. Журнал аналізу багатокритеріальних рішень, вип. 15: 163-174. <https://doi.org/10.1002/mcda.433>.
44. Нелюбін А. П., Подіновський В. В., 2012. Аналітичні правила прийняття рішень із використанням впорядкованих критеріїв зі шкалою першої порядкової метрики. Автоматизація та дистанційне управління, вип. 73: 831-840. <https://doi.org/10.1134/S0005117912050074>.
45. Xiaodong C., Dai X., Junjie L., 2016. Побудова статусу споживання енергії у всьому світі та найсучасніші технології для будівель з нульовою енергією протягом останнього десятиліття. Енергетика та будівлі, вип. 128: 198-213. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>.
46. СТАЗІ Ф., 2017. Теплова інерція в енергоефективних конвертах будівель. (Баттерворт-Хайнеман) 367 с.
47. Шимрай Б. А., Сінгх К. М., Мехта Р. К., 2017. Опитування багатокритеріальної техніки прийняття рішень, що використовується у плануванні відновлюваної енергетики. Міжнародний комп'ютерний журнал, вип. 4523: 124-140.
48. Saaty Thomas L., 1996. Багатокритеріальне прийняття рішень: процес аналітичної ієрархії. (Публікації RWS) 479 с.

49. Система підтримки прийняття рішень DASS [комп'ютерна програма] Доступ за адресою: URL <http://mcodm.ru/soft/dass/> [Доступ: дата 25.02.2021].
50. Бікс Ю., Ратушняк Г., Ратушняк О., 2019. Оцінка енергетичної ефективності конвертів з органічних матеріалів. Архітектура Середовище цивільного будівництва, вип. 3: 55-67. <https://doi.org/10.21307/АСЕЕ-2019-036>.
51. Бікс Ю., Ратушняк Г., Ратушняк О., Ряполов П., 2020. Застосування методів АНР та GRA в оцінці потенціалу енергоефективності конвертів з природних матеріалів. Теорія та будівельна практика, № 2: 48-62. <https://doi.org/10.23939/jtbp2020.02.048>.
52. Короткий посібник та безкоштовний інструмент для розрахунку теплової маси будівельних елементів, [онлайн]. Доступно за адресою: <https://www.htflux.com/en/free-calculation-tool-for-thermal-mass-of-building-components-iso-13786/>. [Доступ: дата 17.02.2021].
53. ISO 13786: 2017 Теплова характеристика будівельних компонентів - Динамічні теплові характеристики - Методи розрахунку, [онлайн] Доступно за адресою: <https://www.iso.org/standard/65711.html> [Доступ: дата 16.02.2021].
54. Бікс Ю.С., Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г., Композиційний будівельний термоблок. Україна. ІРС: Е04В 1/00 Е04С 2/16 (2006.01). Корисна модель u201808845. Доступно за адресою: URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=253299> [Доступ: дата 09.05.2021].
55. Gan W. et al., 2019. «Енергозберігаючий дизайн огорожувальних конструкцій на основі багатопараметричної оптимізації». Математичні проблеми в техніці, вип. 2019: 1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/5261869>.
56. Hopfe C. J., Augenbroe G. L., Hensen J. L., 2013. Багатокритеріальне прийняття рішень в умовах невизначеності в оцінці ефективності будівлі. Будівництво та навколишнє середовище, № 69: 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.019>.

57. Національний стандарт ДСТУ Б.В. 2.6-189: 2013, 2014. Методи вибору ізоляційного матеріалу для утеплення будівель (Мінрегіон Київ) 46 с.
58. Kheiri F. 2018. Огляд методів оптимізації, що застосовуються в енергоефективній геометрії будівель та дизайні конвертів. Огляди відновлюваних джерел та стійкої енергетики, вип. 92: 897-920. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.080>.
59. Arce M. E. et al., 2015. Використання методів, заснованих на сірому кольорі, у багатокритеріальному аналізі рішень для оцінки стійких енергетичних систем: огляд. Огляди відновлюваних джерел та стійкої енергетики, вип. 47: 924-932. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.010>.

Висновки

1. Жорсткі вимоги до енергетичної ефективності будівель з метою зменшення споживання енергоносіїв передбачають розроблення та впровадження інноваційних технологій при влаштуванні енергоефективних зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель. Вирішення цієї проблеми потребує оцінювання потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель при забезпеченні мікроклімату, про що свідчить виконаний аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень світових тенденцій у вирішенні науково-прикладної проблеми підвищення теплозахисної здатності теплоізоляційної оболонки будівель.
2. Дослідження еколого-економічних механізмів реалізації біосферосумісного будівництва з використанням матеріалів відходів виробництва свідчать про необхідність вдосконалення економічного та екологічного маркетингу в будівництві. Підкреслено необхідність сприянню розвитку рециклінгу при утилізації відходів будівельної галузі та ефективно організованої логістики при управлінні відходами на всіх етапах життєвого циклу створення будівельної продукції. Запропонована структурно-логічна модель управління будівельними відходами при біосферосумісному будівництві.
3. Обґрунтовано необхідність оцінювання ризиків при виборі механізму реалізації енергозберігаючого проекту. З метою інтелектуальної підтримки управління ризиками при реалізації проекту по збільшенню потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій запропоновано структурно-алгоритмічну модель, що передбачає врахування економічних, екологічних, проектно-конструкторських та експлуатаційних ризиків. Наведено науково-методологічні механізми подальшого розвитку досліджень потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель на засадах біосферосумісності.
4. Визначено фактори впливу на теплотехнічні властивості теплоізоляційних матеріалів рослинного походження, які характеризуються кількісними та якісними показниками. Аналіз методів та обладнання для дослідження теплопровідності теплоізоляційних матеріалів рослинного походження дозволив запропонувати авторську конструкцію установки для визначення теплоп-

- ровідності з використанням гомогенного теплового потоку, яка захищена патентом України.
5. Наведено конструктивні особливості установки для визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів та методика експериментальних досліджень. Результати виконаних експериментальних досліджень зразків спресованої соломи свідчать про однозначний вплив щільності та вологості соломи на величину коефіцієнта теплопровідності спресованого солом'яного блока. Отримані результати мають хорошу збіжність з дослідженнями інших авторів.
 6. Обґрунтовано доцільність для ідентифікації складних нелінійних закономірностей впливу на надійність забезпечення потенціалу ефективності теплоізоляційних виробів із соломи використовувати логіко-лінгвістичні моделі та лінгвістичні змінні, які дозволяють враховувати кількісні та якісні фактори. За результатами математичного моделювання отримано систему нечітких логічних рівнянь до лінгвістичних висловлювань, що дозволить здійснювати інтелектуальну підтримку прийняття рішень щодо підвищення надійності забезпечення енергоефективності теплоізоляційних огорожувальних конструкцій із матеріалів рослинного походження.
 7. Розглянуто теоретичні засади багатокритеріальної оцінки потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій, що дозволило вибрати доцільні методи для об'єктивної оцінки різних будівельних конструкцій теплоізоляційної оболонки будівель. Здійснено чисельне моделювання оцінювання потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель методом аналізу ієрархій та методом сірого реляційного аналізу. Інтерпретація результатів чисельного моделювання оцінювання потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій представлена в табличній та графічній формах.
 8. Для проведення чисельного моделювання та аналізу отриманих результатів запропоновано безрозмірний узагальнений індекс потенціалу енергоефективності огорожувальних конструкцій. Цей індекс дозволяє комплексно оцінити рівномірні значення характеристик параметрів, що впливають на потенціал енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель.

Електронне наукове видання

**Юрій Семенович Бікс,
Георгій Сергійович Ратушняк,
Олена Георгіївна Лялюк,
Ольга Георгіївна Ратушняк**

ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ БІОСФЕРОСУМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Монографія

Видається у авторській редакції

Оригінал-макет підготовлено авторами

Підписано до видання 01.07.2022 р.

Гарнітура Times New Roman.

Зам № P2022-045.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
редакційно-видавничий відділ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114. Тел. (0432) 65-18-06.
press.vntu.edu.ua; email: irvc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія
ДК № 3516 від 01.07.2009 р.