

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 692.23

DOI 10.31649/2311-1429-2023-2-98-103

Г. С. Ратушняк
Ю. С. Бікс
А. О. Лялюк

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ІЄРАРХІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВПЛИВУ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

За результатами аналізу досліджень з розвитку науково-методичних основ та практичного досвіду організації її управління технологічним процесом із підвищення енергоефективності будівель виявлено основні чинники впливу на величину енергетичних витрат протягом життєвого циклу на забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів приміщень. Підкреслена необхідність виявлення закономірностей методологічних основ оптимізації чинників впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель. Вказано на доцільність при визначенні енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель враховувати сумарні енерговитрати протягом всіх етапів життєвого циклу будівель.

Математичне моделювання багатопараметричної оцінки енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель доцільно виконувати за допомогою методу нечіткої логіки та лінгвістичних змінних. Наведено запропоновану ієрархічну класифікацію та формалізацію параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель, які є нечіткою базою знань, що поєднують лінгвістичні оцінки вхідних і вихідних чинників, які впливають на цільову функцію.

Сумарні витрати енергії за весь життєвий цикл на забезпечення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель на системному рівні як лінгвістичну змінну характеризується функціональною залежністю від лінгвістичних змінних, що характеризують витрати енергії на капітальне будівництво, експлуатацію та рециклінг матеріалів. Узагальнену модель взаємозв'язку між параметрами впливу на системному рівні на забезпечення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель як їх ієрархічну класифікацію представлено у вигляді дерева логічного висновку. Корінь дерева логічного висновку визначає сумарні витрати енергії на забезпечення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель, а всіячі вершини є визначальними параметрами впливу, варіювання якими дозволяє знайти оптимальне значення цільової функції за визначеними критеріями.

Ключові слова: енергоефективність, огорожувальні конструкції, моделювання, лінгвістичні змінні, ієрархічна класифікація.

Вступ

Реалізація заходів з вирішення проблеми підвищення енергоефективності в будівельній галузі та житлово-комунальному господарстві відповідно до закону «Про енергозбереження» [1] передбачає вдосконалення теплоізоляційної оболонки будівель [2]. Енергоефективність огорожувальних конструкцій визначається сукупністю чинників, які характеризуються кількісними та якісними параметрами [3]. Розроблення організаційно-технологічних рішень з удосконалення теплоізоляційної оболонки будівель передбачає використання сучасних BIM-технологій. При обґрунтуванні оптимального управлінського рішення стосовно підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель доцільно при моделюванні використовувати методи багатфакторного аналізу, які дозволяють враховувати кількісні та якісні фактори після їх відповідної класифікації за відповідними ознаками [4,5,6].

Актуальність та аналіз останніх досліджень і публікацій

Теплоізоляційна оболонка будівель призначена забезпечувати нормативні санітарно-технічні параметри мікроклімату приміщень з дотриманням вимог стосовно надійності огорожувальних конструкцій будівель при мінімальних енергетичних витратах на її влаштування та експлуатацію [3]. Енергоефективність будівлі, як одна із її властивостей, визначається кількістю енергії, необхідної для створення нормативних умов життєдіяльності людей або виробничих технологічних процесів. Одним із визначальних чинників енергоефективності будівель в цілому є енергоефективність огорожувальних конструкцій, які призначені регулювати витрати або надходження теплової енергії в приміщення. Моделювання багатопараметричної оцінки енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель з врахуванням змінних у часі параметрів у взаємозв'язку з їх величинами присвячено ряд наукових робіт [7, 8, 9, 10, 11].

© Г. С. Ратушняк, Ю. С. Бікс, А. О. Лялюк, 2023

При визначенні енергетичної ефективності будівлі як її властивості забезпечувати необхідною кількістю енергії для створення оптимальних умов життєдіяльності людей та технологічних процесів рекомендується враховувати інформацію про визначальні чинники. Основними визначальними чинниками є: кліматичні умови місцевості; функціональне призначення; архітектурно-планувальні та конструктивні особливості будівель; геометричні, теплотехнічні та енергетичні характеристики огорожувальних конструкцій будівель та їх нормативний строк експлуатації; технічні характеристики інженерних мереж та обладнання; нормативні санітарно-гігієнічні та мікрокліматичні умови приміщень будівель [1, 2, 3, 4, 12].

Домінантною із забезпечення енергетичної ефективності будівлі є оптимізація енергоефективності огорожувальних конструкцій як її теплоізоляційної оболонки [6]. Шляхи підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій та будівель в цілому та при розробленні інноваційних архітектурно-будівельних рішень з вдосконалення теплоізоляційної оболонки будівель розглянуто в працях зарубіжних та вітчизняних дослідників [7, 8, 9, 10].

Енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель розглядається як співвідношення між обсягом затрат енергії на підтримання нормативних санітарно-гігієнічних та мікрокліматичних умов в приміщеннях (температура та вологість повітря, повітрообмін, освітленість тощо) до затрат енергії на будівництво, експлуатацію, реконструкцію та термомодернізацію, рециклінг матеріалів на протязі життєвого циклу будівлі [1, 2, 3, 14].

Таким чином, пошук способів підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель для створення нормованого комфортного приміщення за результатами висновків із результатів математичного моделювання взаємозв'язків визначальних чинників є актуальною задачею. Вихідною базою даних для математичного моделювання може бути формалізація та ієрархічна класифікація кількісних та якісних параметрів впливу на цільову функцію.

Формування мети та постановка задачі статті

Експурс розвитку науково-методичних основ моделювання методів прогнозування енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель дозволив сформулювати мету та задачі статті. Метою роботи є дослідження за результатами аналізу літературних джерел та практичного досвіду реалізації організаційно-технологічних заходів з підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівель параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій для їх формалізації та ієрархічної класифікації. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- означити параметри впливу на енергоефективність теплоізоляційної оболонки будівель та здійснити їх формалізацію;
- виконати ієрархічну класифікацію параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель з врахуванням означених параметрів та критеріїв.

Результати досліджень

Реалізація заходів з підвищення нормативних вимог стосовно енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель вимагає вдосконалення методів математичного та фізичного моделювання їх теплозахисних властивостей та енергетичних витрат протягом їх життєвого циклу. Розроблення моделі мінімізації сумарних витрат на влаштування огорожувальних конструкцій, експлуатацію, реконструкцію та утилізацію з можливістю рециклінга матеріалів передбачає визначення оптимальних значень окремих параметрів балансового рівняння

$$\sum E = E_B + E_E + E_P \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $\sum E$ – сумарні витрати енергії за весь життєвий цикл огорожувальних конструкцій будівель; E_B, E_E, E_P – відповідно затрати енергії на будівництво, експлуатацію та рециклінг матеріалів.

Процес прийняття управлінських рішень щодо вибору та реалізації організаційно-технологічних заходів з підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель передбачає виявлення, формалізацію та ієрархічну класифікацію факторів впливу. Формалізація дозволяє виконати опис системи факторів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель за допомогою існуючих різноманітних кількісних та якісних параметрів [4]. Це є підґрунтям для математичного моделювання при визначенні оптимальних значень цільової функції для відображення

проблемної ситуації при прийнятті управлінського організаційно-технологічного рішення в умовах ризику забезпечення надійності теплоізоляційної оболонки будівель. Використання методу ієрархічної класифікації дозволяє здійснити послідовний поділ множини параметрів впливу на величину енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель на підлеглі класифікаційні угруповання [5, 14]. Це сприяє зручному використанню значного обсягу інформації для логічної побудови взаємозв'язку між визначальними параметрами впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель за чітко визначеними ознаками [3].

З врахуванням того, що на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель за весь період їх життєвого циклу впливають кількісні та якісні фактори при моделюванні, з метою визначення мінімальних витрат сумарної енергії на забезпечення їх функціонування рекомендується виконувати за допомогою методу нечіткої логіки та лінгвістичних змінних [4, 15]. Модель об'єкта задається нечіткою базою знань, яка складається із сукупності правил, що поєднують лінгвістичні оцінки вхідних і вихідних змінних, які впливають на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель.

Сумарні витрати енергії за весь життєвий цикл на забезпечення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель відповідно до досліджень [12, 14] на системному рівні як лінгвістичну змінну (Y) можна описати у вигляді співвідношення

$$Y = f(X_1, X_2, X_3), \quad (2)$$

де X_1 – лінгвістична змінна (ЛЗ), що характеризує витрати енергії на капітальне будівництво або реконструкцію,

X_2 – лінгвістична змінна, що визначає витрати енергії на експлуатацію.

X_3 – лінгвістична змінна, що визначає витрати енергії на рециклінг.

Лінгвістичну змінну (X_1), що характеризує витрати енергії на капітальне будівництво, можна подати виразом

$$X_1 = f_1(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1i}), \quad (3)$$

де ($X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1i}$) – лінгвістичні змінні, як затрати енергії на проектні роботи, матеріали, технологію влаштування тощо.

Лінгвістичну змінну (X_2), що характеризує витрати енергії на експлуатацію, можна описати співвідношенням

$$X_2 = f_2(X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2j}), \quad (4)$$

де ($X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2j}$) – лінгвістичні змінні, як витрати енергії на матеріали, технологічні процеси з експлуатації тощо.

Лінгвістичну змінну (X_3), як затрати енергії на рециклінг, можна охарактеризувати виразом

$$X_3 = f_3(X_{31}, X_{32}, \dots, X_{3k}), \quad (5)$$

де ($X_{31}, X_{32}, \dots, X_{3k}$) – лінгвістичні змінні, як витрати енергії на окремі технологічні процеси рециклінгу.

За результатами аналізу ієрархічної сукупності співвідношень (2-5) виконано узагальнену модель взаємозв'язку між параметрами впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель у вигляді дерева логічного висновку (рис. 1).

Корінь дерева логічного висновку (Рисунок) визначає сумарні витрати енергії на забезпечення енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель, а висячі вершини є визначальними параметрами впливу, варіювання якими дозволяє визначити оптимальне значення цільової функції.

Параметри впливу (X_1, X_2, X_3) як лінгвістичні змінні задаються відповідними універсальними множинами та оцінюються нечіткими термами, які виражаються словом. Для оцінювання лінгвістичних змінних на системному рівні, що описуються співвідношеннями [2-5] та представлені ієрархічними зв'язками у вигляді дерева логічного висновку (Рисунок) можуть бути прийняті кількісні вирази «низька» (Н), «нижче середньої» (НС), «середня» (С), «вище середньої» (ВС) та «висока» (В). Запропоновані формалізація та ієрархічна класифікація параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель можуть бути підґрунтям для розроблення моделі мінімізації сумарних витрат енергії на влаштування теплоізоляційної оболонки будівель.

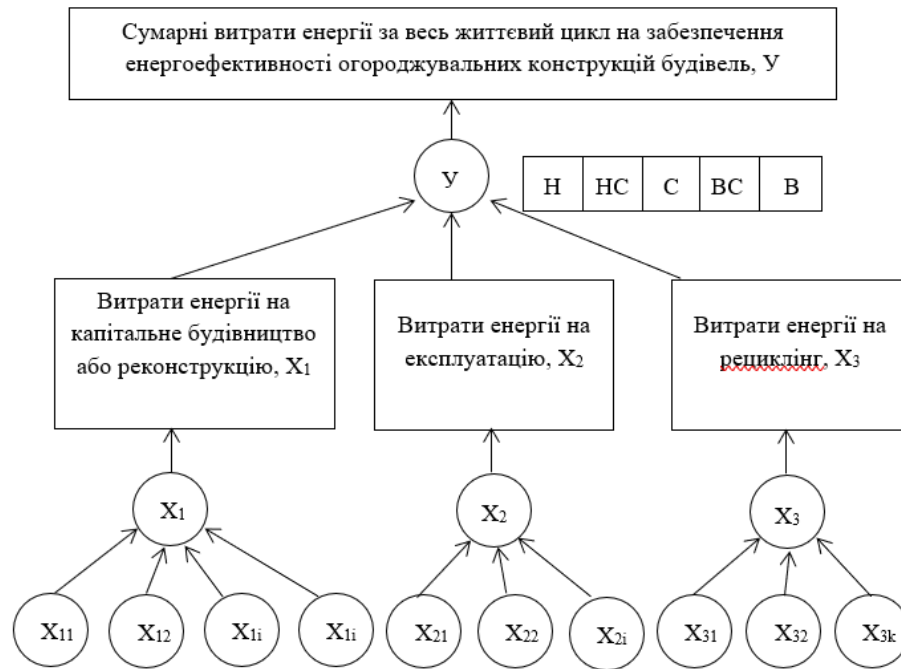


Рисунок 1– Дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель

Висновки

1. Визначальними параметрами впливу на енергетичну ефективність огорожувальних конструкцій будівель на протязі їх життєвого циклу є витрати енергії на їх влаштування, експлуатацію та рециклінг матеріалів, величина яких визначається сукупністю кількісних та якісних параметрів.
2. Використання методу ієрархічної класифікації дозволяє здійснити послідовний поділ множин параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель на підлеглі класифікаційні угруповання. Це буде сприяти зручності використанню значного обсягу інформації, яка характеризується кількісними та якісними величинами, логічній побудові з використанням лінгвістичних змінних взаємозв'язку між визначальними параметрами впливу на енергоефективність за чітко визначеними ознаками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергозбереження: Закон України від 01.07.94 р. № 74/94-ВР. Дата оновлення: 23.07.2017. URL: <https://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр> (Дата звернення: 23.02.2019).
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2118-19>
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. Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г. Управління проектами енергозбереження шляхом термореновації будівель: навч. посіб. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2006. 120 с.
5. Biks Y., Lyalyuk O., Ratushnyak G., Ratushnyak O., Lyalyuk A. Energy efficiency assessment of heat insulation building products: fuzzy-probabilistic approach. Architecture Civil Engineering Environment. 2021. № 1. P. 59-68.
6. Бікс Ю. С., Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г., Ратушняк О. Г. Потенціал енергоефективності огорожувальних конструкцій із біосферосумісних матеріалів: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2022. – 136 с.
7. Басок Б.І., Давиденко Б.В., Гончарук С.М., Новицька М.П. Теплофізичне моделювання теплового режиму будівлі. с. 9-19 (internet) (Управлінські, екологічні, економічні та правові аспекти використання енергоефективних технологій).
8. Олексієнко О. Б. Експлуатаційні властивості та довговічність конструкцій фасадної теплоізоляції з тонкошаровою штукатуркою: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Полтава, 2013. – 20 с.
9. Філоненко О.І., Юрін О.І. Будівельна теплофізика огорожувальних конструкцій будівель. Навч. посібник. Полтава, ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. – 2015. – 328 с.
10. Gloyne A.R. Energy analysis of the support system. New-York-Toronto-London. 1984. 308 p.
11. Morgan R. Energy analysis of industrial activities Glasgow, UK. 1983. 164 p.

12. Ратушняк Г.С., Бікс Ю.С., Лялюк А.О. Організаційно-технологічні чинники впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель. Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». №12. 2022. с. 203-210.
13. Ткаченко Н.П., Розинський Д.Е. Енергоефективність систем акумуляційного електроопалення для ЖКГ України. Ринок інсталяцій. №12. 2008. с. 6-10.
14. Ратушняк Г. С., Лялюк А. О., Гончарук В. С. Енергетична ефективність теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель: тези доп. Наук.-техн. конф. підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ), м. Вінниця, 31 травня 2022 р. <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp-2022/paper/view/14866/12564>
15. Мітюшкін Ю.І., Мокін Б.І., Ротштейн О.П. Soft Computing: ідентифікація закономірностей нечіткими базами знань. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця. 2002. 145 с.

REFERENCES

1. Pro enerhozberezhennia: Zakon Ukrainy vid 01.07.94 r. № 74/94-VR. Data onovlennia: 23.07.2017. URL: <https://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-vr> (Data zvernennia: 23.02.2019).
2. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2118-19>
3. DBN V.6 – 31:2016. Teplova izoliatsiia budivel.[Chynnyi vid 2017-05-01]. Vyd. Ofits. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2017. 33 s. (Derzhavni budivelni normy).
4. Ratushniak H. S., Ratushniak O. H. Upravlinnia proektamy enerhozberezhennia shliakhom termorenovatsii budivel: navch. posib. Vinnytsia: Universum-Vinnytsia, 2006. 120 s.
5. Biks Y., Lyalyuk O., Ratushnyak G., Ratushnyak O., Lyalyuk A. Energy efficiency assessment of heat insulation building products: fuzzy-probabilistic approach. Architecture Civil Engineering Environment. 2021. № 1. P. 59-68.
6. Biks Yu. S., Ratushniak H. S., Lialiuk O. H., Ratushniak O. H. Potensial enerhoefektyvnosti ohorodzhuvalnykh konstrukttsii iz biosferosumisnykh materialiv: monohrafiia. Vinnytsia: VNTU, 2022. – 136 s.
7. Basok B.I., Davydenko B.V., Honcharuk S.M., Novytska M.P. Teplofizychne modeliuвання teplovoho rezhymu budivli. s. 9-19 (internet) (Upravlinski, ekolohichni, ekonomichni ta pravovi aspekty vykorystannia enerhoefektyvnykh tekhnolohii).
8. Oleksiienko O. B. Eksploatatsiini vlastyvoli ta dohovichnist konstrukttsii fasadnoi teploizoliatsii z tonkosharovoiu shtukaturkoiu: avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / Poltava, 2013. – 20 s.
9. Filonenko O.I., Yurin O.I. Budivelna teplofizyka ohorodzhuvalnykh konstrukttsii budivel. Navch. posibnyk. Poltava, PNTU im. Yu. Kondratiuka. – 2015. – 328 s.
10. Gloyne A.R. Energy analysis of the support system. New-York-Toronto-London. 1984. 308 p.
11. Morgan R. Energy analysis of industrial activities Glasgow, VK. 1983. 164 p.
12. Ratushniak H.S., Biks Yu.S., Lialiuk A.O. Orhanizatsiino-tekhnolohichni chynnyky vplyvu na enerhoefektyvnist ohorodzhuvalnykh konstrukttsii budivel. Naukovo-tekhnichniy zbirnyk «Suchasni tekhnolohii, materialy i konstrukttsii v budivnytstvi». №12. 2022. s. 203-210.
13. Tkachenko N.P., Rozynskiy D.E. Enerhoefektyvnist system akumulatsiinoho elektroopalennia dlia ZhKH Ukrainy. Rynok instaliatsii. №12. 2008. s. 6-10.
14. Ratushniak H. S., Lialiuk A. O., Honcharuk V. S. Enerhetychna efektyvnist teplozakhystu ohorodzhuvalnykh konstrukttsii budivel: tezy dop. Nauk.-tekhn. konf. pidrozdiliv Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu (NTKP VNTU), m. Vinnytsia, 31 travnia 2022 r. <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp-2022/paper/view/14866/12564>
15. Mitushkin Yu.I., Mokin B.I., Rotshtein O.P. Soft Computing: ydentyfikatsiia zakonomernosti nechetkymy bazamy znanyi. Monohrafiia. – Vinnytsia: UNIVERSUM – Vinnytsia. 2002. 145 s.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, завідувач кафедри Інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, e-mail: ratusnagk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9656-5150

Бікс Юрій Семенович – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: biksuriy@gmail.com, ORCID-0000-0002-5775-2014

Лялюк Андрій Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет.

G. Ratushnyak
Yu. Biks
A. Lyalyuk

FORMALIZATION AND HIERARCHICAL CLASSIFICATION OF THE PARAMETERS OF INFLUENCE ON THE ENERGY EFFICIENCY OF ENCLOSURE STRUCTURES OF BUILDINGS

Vinnytsia National Technical University

Based on the results of the analysis of research on the development of scientific and methodological foundations and practical experience of organizing and managing the technological process to increase the energy efficiency of buildings, the main factors influencing the amount of energy costs during the life cycle to ensure the standard sanitary and hygienic parameters of the

premises were identified. The necessity of identifying the regularities of the methodological foundations of optimization of factors influencing the energy efficiency of the enclosing structures of buildings is emphasized. It is pointed out the expediency of taking into account the total energy consumption during all stages of the life cycle of buildings when determining the energy efficiency of the enclosing structures of buildings.

Mathematical modeling of multi-parameter assessment of energy efficiency of building enclosing structures is expedient to be performed using the method of fuzzy logic and linguistic variables. The proposed hierarchical classification and formalization of the parameters influencing the energy efficiency of the enclosing structures of buildings, which are a fuzzy knowledge base combining linguistic assessments of input and output factors that affect the target function, are given.

The total energy expenditure for the entire life cycle to ensure the energy efficiency of the enclosing structures of buildings at the system level as a linguistic variable is characterized by functional dependence on the linguistic variables that characterize the energy expenditure for capital construction, operation and recycling of materials. The generalized model of the relationship between the parameters of influence at the system level on ensuring the energy efficiency of the enclosing structures of buildings as their hierarchical classification is presented in the form of a logical conclusion tree. The root of the logical conclusion tree determines the total energy consumption to ensure the energy efficiency of the enclosing structures of buildings, and the hanging vertices are the determining parameters of influence, the variation of which allows finding the optimal value of the objective function according to the specified criteria.

Keywords: energy efficiency, enclosing structures, modeling, linguistic variables, hierarchical classification.

Ratushnyak Georgy - Ph.D., Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction of Vinnytsia National Technical University, e-mail: ratusnakg@gmail.com

Biks Yuriy - Ph.D., Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, e-mail: biksuriy@gmail.com

Lyalyuk Andriy - post-graduate student, Vinnytsia National Technical University.