

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-1-65-67>  
УДК 690.9

**Шовкалюк Ю.В.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ РІЗНИХ ТИПІВ

**Анотація.** Виконано огляд можливостей різних програмних продуктів, що використовуються для побудови системи енергоменеджменту та аналізу енергетичних витрат у будівлях. Виконано моделювання енергетичних характеристик існуючих житлових багатоквартирних будівель до та після термомодернізації.

**Ключові слова:** енергозбереження, енергоефективність, витрати енергії, будівлі, моделювання.

**Shovkaliuk Yuriy**

National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

## TOOLS FOR ANALYSIS AND MONITORING OF ENERGY CONSUMPTION OF BUILDINGS OF DIFFERENT TYPES

**Summary.** A review of the capabilities of various software products used to build a system for energy management and analysis of energy costs in buildings. Modeling of energy characteristics of existing residential multi-apartment buildings before and after thermo-modernization.

**Keywords:** energy saving, energy efficiency, energy consumption, buildings, modeling.

**Вступ.** Побудова системи енергоменеджменту включає в себе регулярний моніторинг енергоспоживання будівель, аналіз тепловтрат і потоків енергії, техніко-економічні розрахунки та аналіз екологічних показників. Для виконання даних завдань існують програмні продукти та ресурси, що можуть застосовуватись залежно від поставлених задач.

**Постановка проблеми.** Наявність структурованої бази даних по енергоспоживанню об'єктів ЖКГ є надійним джерелом інформації і надає ряд додаткових можливостей: наприклад, дозволяє складати статистичні звіти та аналізувати показники у графічному і табличному вигляді. До того ж систематизований і постійний енергетичний моніторинг забезпечує довгострокову поліпшену експлуатацію інженерних систем будівлі і зниження витрат. Обов'язковою вимогою під час впровадження комплексних проектів термомодернізації в будівлях є виконання енергетичних обстежень і розрахунків потенціалу енергозбереження від рекомендованих заходів.

**Метою** даного дослідження є огляд можливостей, переваг та недоліків існуючих програмних продуктів, що можуть використовуватись фахівцями для вирішення зазначених вище завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відповідно до ISO 50001 [1] для виявлення фактів нераціонального використання енергії моніторинг та аналіз енергопостачання будівельного фонду потрібно виконувати систематично, а при проведенні енергообстежень та складанні звіту з енергоаудиту [2; 3] з оцінкою технічних та економічних можливостей реалізації енергоефективних заходів кожному будівлю потрібно розглядати комплексно з урахуванням джерел енергії та інженерних систем [4; 6].

Програмне забезпечення може використовуватись під час проектування будівель; планування та аналізу показників енергоспоживання будівель, що експлуатуються; оцінювання енергетич-

них, фінансово-екологічних показників енергозберігаючих проектів та моделюванні теплових потоків [7-11]. Далі більш детально розглянемо особливості застосування програмних продуктів фахівцями у сфері енергоефективності.

### Огляд можливостей програмних продуктів ENSI Енергомонітор

– програмний продукт для систематизованого моніторингу та управління енергоспоживанням під час експлуатації будівель, що дозволяє виконувати порівняння вимірюваного споживання з розрахунковим у графічному вигляді з метою запобігання понаднормового витрачання енергоресурсів і забезпечення оптимальної експлуатації інженерних систем. ENSI Енергомонітор є інструментом, що дозволяє розраховувати енергоспоживання, тижневі та накопичені витрати на енергоносії, воду і витратні матеріали; «нормалізувати» виміряні величини, дозволяючи провести порівняння з бюджетом для нормативного кліматичного року. Інструмент дозволяє будувати графіки у вигляді порівняльної характеристики, зокрема наносити дані на ЕТ-діаграму і визначати відхилення (рис. 1).

Інший програмний продукт ENSI «Муніципальне планування енергоефективності: база даних по енергоспоживанню муніципальних об'єктів» розроблений на базі Microsoft Access 2003 для муніципалітетів з метою збору інформації про енергоспоживання та основні характеристики основних секторів ЖКГ та їх долю в бюджеті, а також вуличного освітлення міста. Програма адаптується під конкретну структуру муніципалітету з можливістю групування об'єктів по районах (територіям), секторам та цільовим групам (типам будівель) [12]. База містить основну інформацію про об'єкт (технічні дані, споживання енергії та води, грошові витрати) та дозволяє відбирати будівлі для енергоефективних проектів і генерувати звіти в табличному і графічному вигляді в форматах Excel, Word (рис. 2).



Рис. 1. Тижневі результати аналізу енергоспоживання будівель у вигляді ET-діаграми з відповідними відхиленнями

Джерело: [12]

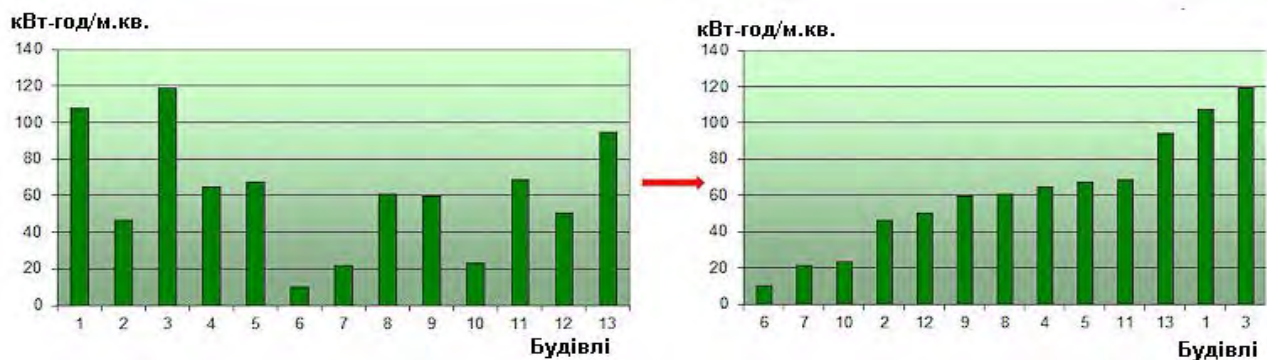


Рис. 2. Ранжування будівель для енергоефективних проєктів

Джерело: [12]

Енергоменеджери багатьох українських міст використовують для енергомоніторингу **програмний продукт EnergyPlan**, що дозволяє виконувати аналіз значних масивів інформації, їх обробку, структурування та виведення у зручному форматі для керівників проєкту, енергоменеджерів та споживачів (відвідувачів, мешканців) будівлі. Введення інформації чітко структуроване і містить шаблони звітів, таблиць, діаграм та графіків, що дозволяє оперативно приймати управлінські рішення для оптимізації енергоспоживання.

Початок проєкту передбачає внесення даних: тип об'єктів, рік побудови, загальні та детальні дані про будівлю; енергоресурси, що споживаються (теплова, електроенергія, холод, вода), джерела енергії, паливо, система обліку. Передбачено збір показів лічильників через онлайн інтерфейс.

Шаблони звітів дозволяють [13]: визначити та порівнювати ефективність використання енергії та споживання усіх ресурсів будівлі; ідентифікувати різкі зміни динаміки споживання; складати рейтинг будівель для проведення енергетичного аудиту, оцінювати вплив погод-

них умов на споживання енергії; контролювати дотримання лімітів.

**Програмний продукт RETScreen**, розроблений урядом Канади, надає можливість оцінювати та оптимізувати технічні та фінансові показники енергоефективних проєктів при новому будівництві або термомодернізації будівель і включає проведення енергетичного аналізу; аналізу собівартості; аналізу емісії парникових газів; фінансового аналізу; аналізу ризиків. В якості об'єкта дослідження обрано багатоквартирний житловий будинок, побудований у 1966 році, площею що розташований по бул. Вацлава Гавела. Попередньо виконане енергетичне обстеження, виконані необхідні розрахунки та визначено термін окупності енергозберігаючих заходів, що призводять до економії теплової та електричної (табл. 1) енергії для даної будівлі.

Далі в програмний продукт вносяться вихідні дані для моделювання: тип об'єкту, температурний графік і режим експлуатації, теплотехнічні характеристики конструкцій, характеристики інженерних систем, характеристики енергоносіїв. Аналіз вихідних даних дозволить оцінити рентабельність проєкту відповідно до горизонту пла-

нування та терміну роботи конкретного обладнання. Програма дозволяє провести комп'ютерне моделювання впровадження комплексу енергозберігаючих заходів у заданій будівлі та проаналізувати результати роботи з енергетичної, екологічної, фінансової точки зору. В процесі моделювання було визначено базову лінію енергоспоживання, економічний ефект від впровадження комплексу енергоефективних заходів та аналіз доцільності впровадження проекту. В результаті отримали термін окупності 6,3 років, що показує доцільність проведення проекту термомодернізації (рис. 3).

**Програмний продукт EnergyPlus** застосовується для моделювання енергоспоживання будівель та оцінки теплових балансів і враховує наступні впливові фактори: огорожувальні конструкції (рис. 4); опалення, вентиляція та кондиціонування; додаткові теплонадходження; електропостачання; освітлення та обладнання; альтернативні джерела та ін. Програма має широку базу шаблонів типових інженерних систем, а методики розрахунків здійснюються відповідно до європейських стандартів. Користувач має можливість задати симуляцію розрахунку по добі, місяцю, року або декількох роках [14].

Для введення та виведення інформації у програмі не передбачено графічного інтерфейсу, що ускладнює роботу всередині програмного середовища. Проте існує можливість внесення даних через сторони програми (наприклад Google Sketch Up, DesignBuilder та ін.) [15]. Результати розрахунків виводяться у файлі HTML та структуровані в табличних формах. Наявність моделі енергоспоживання будівлі в програмі EnergyPlus дозволяє в перспективі прийняти оптимізаційні рішення

Таблиця 1

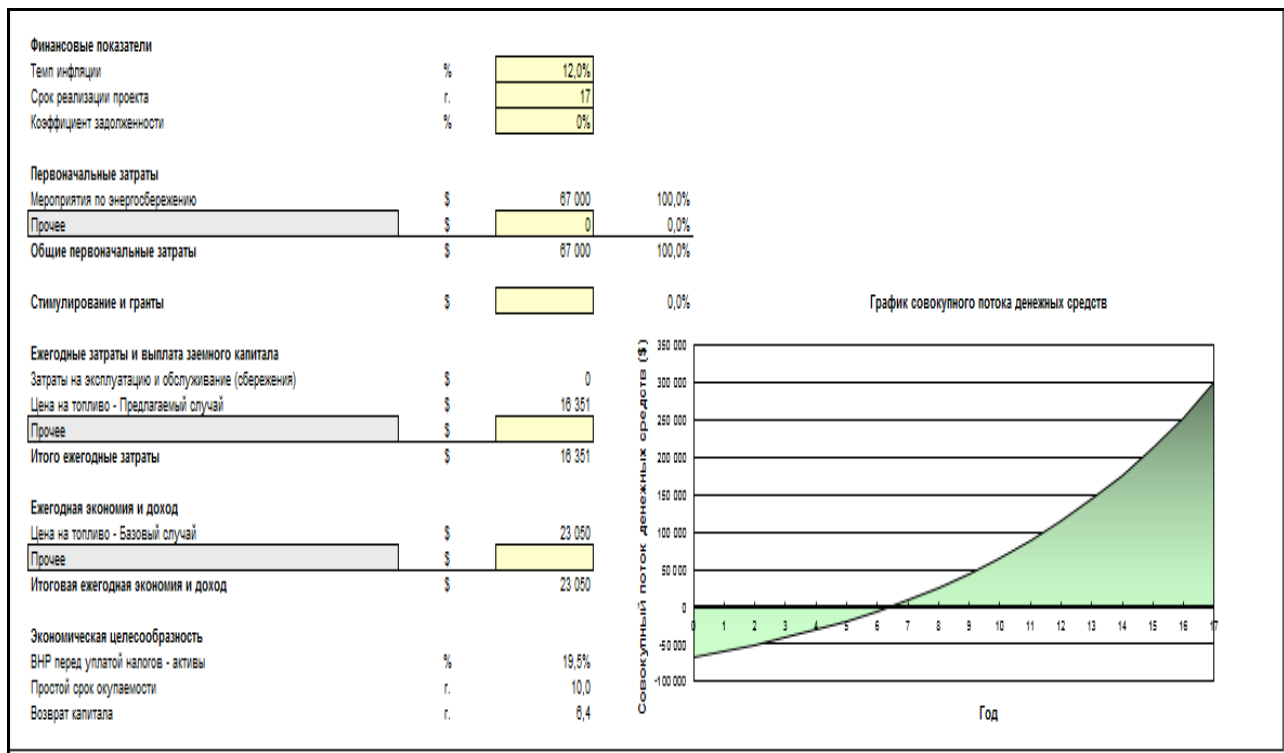
**Енергозберігаючі заходи (теплова та електрична енергія)**

МЕЗ	Економія, грн/рік	Термін окупності, роки
Утеплення стін	427507	5
Заміна вікон	45390	5,4
Утеплення даху	31840	4,5
Хімічна очистка системи опалення	83043	7,9
Заміна ламп на сходових клітинах	29200	1,3
Датчики руху	12000	1,6
Заміна кондиціонерів	2300	8
Заміна електроплит	3970	4,2

шляхом дослідження зміни енергетичних характеристик будівлі при зміні технічних характеристик обладнання, огорожувальних конструкцій, режимів роботи інженерних систем тощо.

**Програма ENSI EAB Software** призначена для проведення енергоаудитів та розрахунку показників енергоефективності новобудов та існуючих будівель.

Як об'єкт дослідження для моделювання у ENSI EAB було обрано 9-поверхову житлову будівлю у м.Києві, 1975 року побудови та площею 2700 м<sup>2</sup> з кількістю мешканців 115 осіб. Зовнішні огороження будівлі: стіни – з червоної цегла монолітної кладки товщиною 640 мм, частково присутне утеплення зовнішніх стін; вікна – металопластикові склопакети, частина старих дерев'яних вікон – подвійне скління в спарених плетіннях;



**Рис. 3. Робоче вікно «Фінансовий план» програмного продукту RETScreen (моделювання енергоспоживання багатоквартирної житлової будівлі до та після комплексної термомодернізації)**

Джерело: розроблено автором

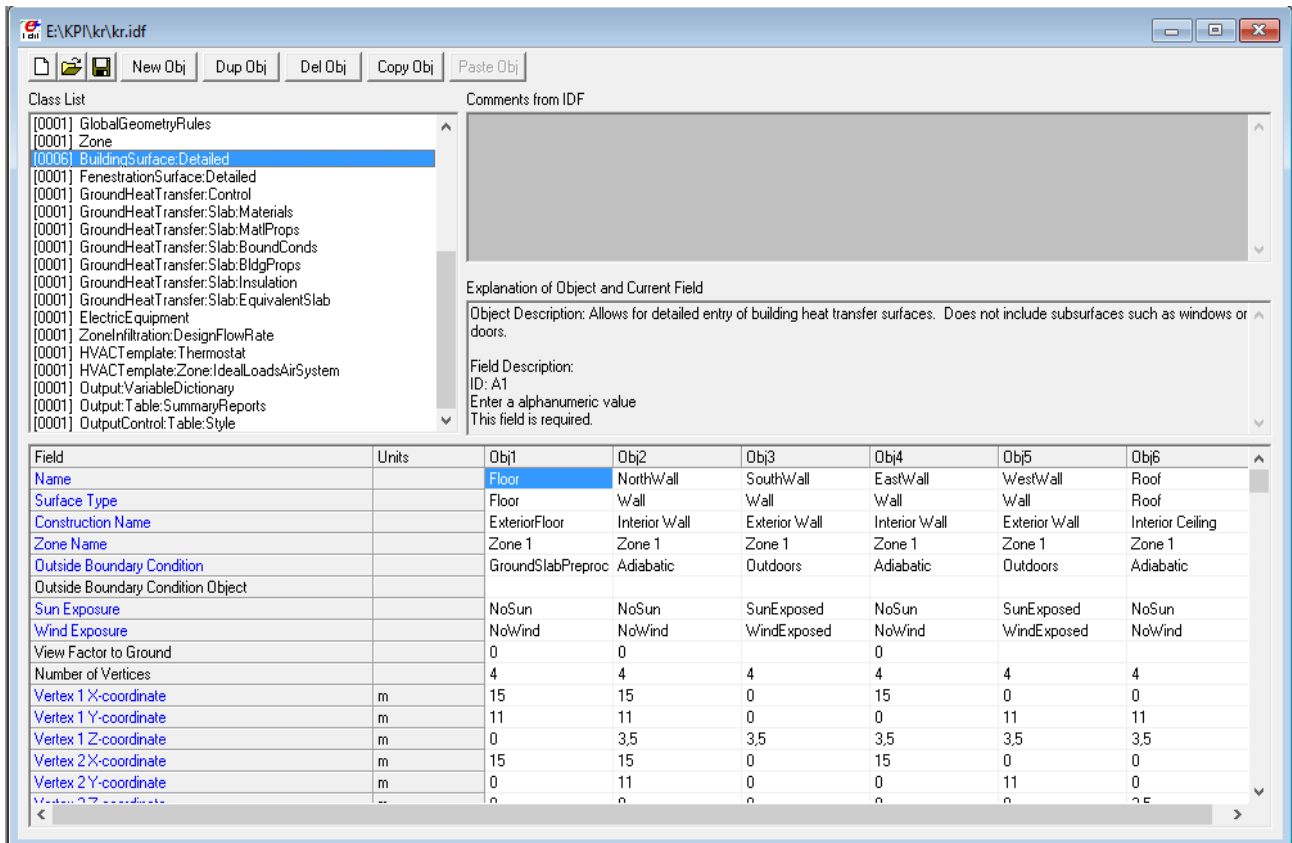


Рис. 4. Внесення параметрів огорожень в інтерфейсі EnergyPlus

Джерело: [14]

зовнішні двері металеві з тамбуром і доводчиком. Квазістаціонарний розрахунок енергоспоживання проводився за наступними статтями: опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, охолодження; вентилятори та насоси; освітлення та інше обладнання з урахуванням ефективності систем розподілу та генерації систем. Інтерфейс програми передбачає введення користувачем попередньо розрахованих теплофізичних параметрів оболонки будівлі. Моделювання та складання балансу відбувається по фактичному рівню споживання, базовому рівню та по споживанню після заходів з енергоефективності (рис. 5). Важ-

ливою особливістю є урахування взаємовпливу заходів з енергоефективності та інженерних систем. У програмі не передбачено можливості виводити повноцінний звіт про енергетичне обстеження будівлі та автоматизувати процес визначення теплотехнічних показників, проте ENSI EAB дозволяє отримати: потенціал економії енергії кожного заходу; фактичне, базове, розрахункове енергоспоживання після заходів (рис. 6); залежність енергоспоживання від зовнішньої температури (ET-крива). Базовий рівень енергопостачання враховує дотримання санітарних вимог по мікроклімату і режимів роботи обладнання і за розра-

Елемент бюджету	Стандартні kWh/m <sup>2</sup>	Фактично		Базова лінія		Після заходів	
		kWh/m <sup>2</sup>	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/a
1. Опалення	55,8	109,5	295 097	145,5	392 338	83,8	226 006
2. Вентиляція (опален.)	36,6	27,0	72 832	32,4	87 225	32,1	86 614
3. Гаряче водопостач.	100,1	30,2	81 453	30,2	81 453	30,2	81 453
4. Вентилятори і насоси	7,8	0,0	0	0,0	0	0,0	0
5. Освітлення	15,3	12,5	33 739	12,5	33 739	12,5	33 739
6. Інше	11,3	11,3	30 365	11,3	30 365	11,3	30 365
7. Охолодження	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
<b>Всього</b>	<b>226,9</b>	<b>190,5</b>	<b>513 485</b>	<b>231,9</b>	<b>625 119</b>	<b>169,9</b>	<b>458 176</b>

Рис. 5. Баланс споживання енергоресурсів будівлі (моделювання за ENSI EAB)

Джерело: розроблено автором



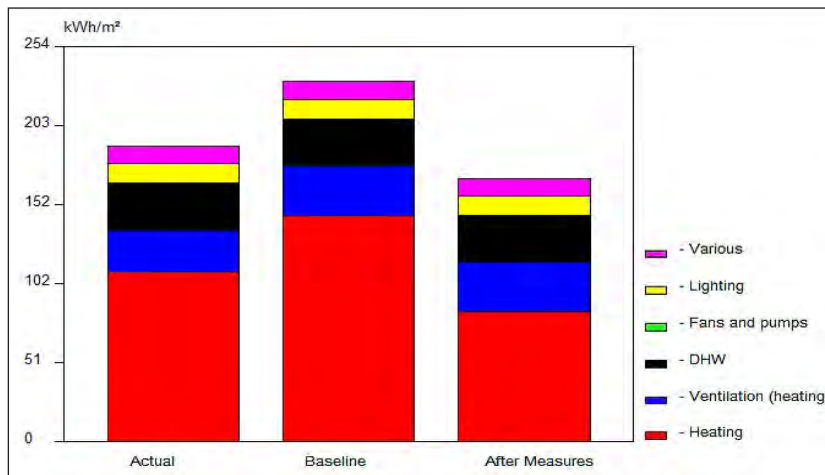


Рис. 6. Структура енергоспоживання будівлі (моделювання за ENSI EAB)

Джерело: розроблено автором

хунками є більшою на 10% від фактичного енергоспоживання.

Таким чином, розрахунки за програмним продуктом ENSI EAB показали, що потенціал економії від впровадження заходів з енергозбереження (утеплення даху і північного фасаду) складає 27% від базового рівня енергоспоживання.

З введенням в дію Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [16] розробка енергетичного сертифікату є обов'язковою для певної категорії будівель, а також у разі термомодернізації будівель за бюджетні кошти. При чому методологія розрахунків класу енергоефективності будівель відповідає європейським підходам, а витрати енергії розглядається на таких рівнях: енергопотреба, підведена енергія та первинна енергія. Для розрахунків класу енергоефективності будівель

розроблено програмні продукти НДІБК та Energy Performance Certification (EPCert), проте на даний час користування ними є обмеженим, тому фахівці самостійно розробляють програмні продукти для вирішення цієї задачі.

**Висновки.** для створення ефективної системи енергоменеджменту з метою підвищення енергоефективності фонду будівель фахівці використовують різні інструменти, в тому числі і програмне забезпечення. Його застосування потребує спеціальних знань та навичок проведення інженерних розрахунків. Проведений огляд можливостей спеціалізованих програмних продуктів буде корисним для фахівців, що працюють у сфері управління енерговикористанням будівель, енергоаудиторів, енергоменеджерів та інженерів-енергетиків.

## Список літератури:

1. ДСТУ ISO 50001:2014 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування. (ISO 50001:2011, IDT).
2. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту.
3. ДСТУ ISO 50002:2016 Енергетичні аудити. Вимоги щодо їх проведення.
4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції та ГВП.
5. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження.
6. Тимофеев М.В., Фаренюк Г.Г. Розрахунки енергоефективності будівель: Навч. пос. – К.: КНУБА, 2015. – 140 с.
7. Шовкалюк Ю.В. Інструменти і методи для підвищення енергоефективності будівельного фонду // Молодий вчений. – № 1(53). – 2018. – С. 573-577.
8. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту / Є.М. Іншеков, Є.Є. Нікітін, М.В. Тарновський, А.В.Чернявський. – К., 2014. – 247 с.
9. Управління ефективністю енерговикористання вищих навчальних закладів / Білоус І.Ю., Дешко В.І. та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 157 с.
10. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання / В.І.Дешко, І.Ю.Білоус // Будівельні конструкції: Міжвід. н.-т. зб. – Вип. 80. – К., 2014. – С. 68-72.
11. Аналіз програмних продуктів для оцінювання показників енергоефективності будівель / Шовкалюк М.М., Зіменко С.В. // Мат. VII Міжн. конф. «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення» [Миколаїв]. – С. 72-77.
12. Офіційний сайт ENSI – Energy Saving International AS. – Режим доступу: <http://www.ensi.no>.
13. EnergyPlan. – Режим доступу: <http://energyplan.com.ua/>.
14. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program / D.B.Crawley, L.K.Lawrie // Energy and Buildings, 2001. – Vol. 33. – P. 319-331.
15. Дешко В.І., Суходуб І.О., Яценко О.І. Програмне середовище ENERGY+ для моделювання енергоспоживання будівель / Тези XIV Міжн. н.-пр. конф. „Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики”. Т. 1. – К., 2016. – С. 199.
16. ЗУ № 2118 від 22.06.2017 «Про енергетичну ефективність будівель».