

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА АУДИТ ENERGY MANAGEMENT AND AUDIT

УДК 699.86:658.26

А.А. Маліновський, д-р. техн. наук, проф., ORCID 0000-0001-9765-3494

В.Г. Турковський, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-1869-8139

К.Б. Покровський, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-4151-5820

А.З. Музичак, канд. техн. наук., ORCID 0000-0002-6330-1076

Національний університет «Львівська політехніка»

ПРОГРАМНА ТА АЛГОРИТМІЧНА ПІДТРИМКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ БУДІВЕЛЬ ТА ЇХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ

Недостатня забезпеченість України власними енергоресурсами зумовлює актуальність потреби зменшення енергоспоживання, зокрема у житлово-комунальній сфері. Цьому повинні сприяти енергетичний аудит та енергетична паспортизація і сертифікація будівель згідно з чинною нормативною базою, яка в останні роки зазнала значних змін. Внесені зміни формують нові вимоги, яким повинне відповідати програмне забезпечення енергетичного менеджменту, та є основою для формування базових об'єктів програмного забезпечення, які надалі можна доповнювати іншими необхідними компонентами, що наведено у статті на прикладі опису цих об'єктів засобами UML. Також програмне забезпечення повинне містити підсистеми як нижнього рівня так і інформаційного забезпечення, які забезпечують спеціалізацію програмного пакету. Згідно описаної архітектури у Львівській політехніці було модернізовано програму «Енергоефективна будівля», що входить до складу спеціалізованого пакету. Ця програма дозволяє виконувати основні завдання виконання енергетичного аудиту будівель, обґрунтування системи енергоощадних заходів та розроблення енергетичного паспорту і енергетичного сертифікату будівлі.

Ключові слова: енергетичний сертифікат, енергетичний паспорт, енергетичний аудит, енергопотреба, програмне забезпечення.

Вступ

Енергетична безпека є одним із найважливіших пріоритетів розвитку будь-якої держави. Для України проблема енергетичної безпеки є тим більш актуальною, що вона належить до країн з недостатньою забезпеченістю власними енергоресурсами. Це зумовлює актуальність зменшення енергоспоживання та підвищення ефективності використання енергоресурсів, зокрема у сфері житлово-комунального господарства [1].

26 листопада 2014 року Уряд України схвалив плани заходів із імплементації директив ЄС у сфері енергоефективності, що входять до пакету зобов'язань, узятих Україною в рамках Європейського Енергетичного Співтовариства та Угоди про Асоціацію з ЄС, зокрема директиви 2010/31/ЄС Європейського Парламенту і Ради щодо енергетичної ефективності будівель [2].

Стимулювати зменшення енергоспоживання покликаний також Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [3], який набув чинності 23 липня 2017 року. Цим законом передбачено, зокрема, обов'язкову сертифікацію енергоефективності будівель державної власності. Низкою інших нормативних документів [4, 5, 6] передбачено складання енергетичного паспорта будівлі. Паспортизація дає визначення розрахункових показників для будівель і передбачає присвоєння будівлі відповідного класу енергетичної ефективності. Паспортизація є обов'язковою під час спорудження нових будівель та у випадку капітального ремонту і реконструкції будівель.

Підставою для складання енергетичного паспорту будівлі та її енергетичного сертифікату є проведення енергетичного аудиту, одним із результатів якого після аналізу зібраної інформації є оцінка актуального стану енерговитрат будівлі. Іншим важливим результатом енергетичного аудиту є виважений відбір пріоритетних енергоощадних заходів з обґрунтуванням кожного з них. Підґрунтям для проведення енергетичного аудиту є чинна законодавча та нормативна база України [7].

Зважаючи на великі обсяги вхідної інформації та значні обсяги обчислень, які слід виконувати у процесі енергетичного аудиту, одним із обов'язкових допоміжних засобів енергоаудитора, окрім різноманітної вимірювальної апаратури є відповідне сучасне програмне забезпечення.

Мета та завдання

У літературі можна знайти багато згадок про різноманітні програми, які виконують ті чи інші функції та автоматизують обчислення на різних стадіях енергетичного аудиту. Однак значні зміни, які з метою адаптації вітчизняної нормативної бази до міжнародної останніми роками було внесено в нормативну базу виконання енергетичного аудиту будівель, формують низку нових вимог до таких програмних продуктів.

Метою статті є опрацювання нових вимог, яким повинен відповідати програмний супровід енергетичного аудиту будівлі та формування системи базових об'єктів, що слід покласти в основу таких програм.

Матеріал і результати досліджень

Першою принциповою зміною є зміна підходу до визначення класу енергоефективності будівлі. Згідно ДБН В 2.6-31-2006 [9] його слід було визначати за питомими тепловитратами на опалення будівель, а згідно ДБН В 2.6-31-2016 [6] – за річною енергопотребою будівлі на опалення, охолодження та гаряче водопостачання. Останнє вимагає побудови енергетичного балансу будівлі, що неможливо без попереднього формування теплових балансів для опалювального та неопалювального сезонів.

Друга принципова зміна полягає у тому, що основним розрахунковим параметром є енергопотреба EP будівлі як для опалення так і для охолодження

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}) / A \quad (1)$$

де $Q_{H,nd}$, $Q_{C,nd}$, $Q_{DHW,nd}$ – річна енергопотреба будівлі для опалення, охолодження, та гарячого водопостачання відповідно; A – кондиціонована (опалювана) площа для житлової будівлі чи кондиціонований об'єм для громадської будівлі.

Енергопотреби на опалення $Q_{H,nd}$ та на охолодження $Q_{C,nd}$ слід визначати за енергетичними балансами усіх зон будівлі

$$Q_{H,nd} = \sum_z Q_{H,nd,z}, \quad Q_{C,nd} = \sum_z Q_{C,nd,z}, \quad (2)$$

де $Q_{H,nd,z}$ – річна енергопотреба для опалення z -ої зони, $Q_{C,nd}$ – річна енергопотреба для охолодження z -ої зони.

Будівля розділяється на декілька зон за умови, щоб кожна зона обслуговувалась не більше ніж однією системою опалення та однією системою охолодження. Окрім цього для кожної зони повинна витримуватись умова неперевищення максимальної різниці температур 4 К. Межа зони будівлі складається з усіх елементів будівлі, що відокремлюють кондиціонований об'єм чи об'єми, які розглядають, від довкілля (повітря, ґрунт чи вода), від суміжних кондиціонованих зон, будівель чи некондиціонованих об'ємів тощо.

Ці зміни є основою для формування трьох базових об'єктів програмного забезпечення, а саме:

- будівля – інтегруючий об'єкт, навколо якого групуються усі інші об'єкти;
- зона будівлі – множина таких об'єктів лежить в основі математичної моделі теплового режиму будівлі в цілому,
- енергетичний баланс – базова одиниця, стосовно якої формуються усі результати роботи програми.

Далі кожен з базових об'єктів доповнюється іншими необхідними компонентами. Зокрема будівлю слід доповнити інформацією про її місце знаходження (кліматичні умови), системи енергозабезпечення (електропостачання, тепlopостачання, водопостачання тощо) та енергосистеми будівлі (опалення, освітлення, тощо). Кожна кондиціонована зона будівлі доповнюється компонентами (стіни, перекриття, вікна двері тощо), які формують її межі, та конструктивними особливостями цих компонентів. Енергетичний баланс складається на основі теплових балансів для опалювального та неопалювального періодів а також енергоспоживання решти устаткування протягом року.

Як на етапі створення програмного забезпечення, так і в процесі його експлуатації необхідною складовою його супроводу є засоби візуального конструювання структур даних. Таким ефективним засобом є метод графічного опису структури бази даних, що опирається на специфікацію UML [10]. Він дозволяє конструювати об'єктну архітектуру системи і відображати її на графічних схемах.

Покажемо це на прикладі опису базових об'єктів «Будівля», «Зона будівлі», «Енергетичний баланс» та «Система енергозабезпечення» засобами UML. Ієрархія цих об'єктів, з точки зору підсистеми варіантного аналізу наведена на рис. 1. Навколо базового об'єкту «Будівля» формується набір інших об'єктів та їх ієрархічних віток. Одну з віток становить ієрархія окремих зон, на які поділена будівля. Первинний клас «Зона будівлі» описує базові властивості кожної зони: тип (внутрішня чи зовнішня), якщо зона внутрішня, то неопалювана чи опалювана. Іншими основними характеристиками кожної зони є температура, вологість тощо. Далі кожна зона поєднана із масивом об'єктів «Огорожа», яка описує конструктивні особливості оболонки будівлі, такі як геометричні розміри окремих огорожувальних конструкцій, матеріал, опір теплопередачі тощо. Похідними від цього класу є такі класи як «Стіна», «Двері», «Вікно» тощо.

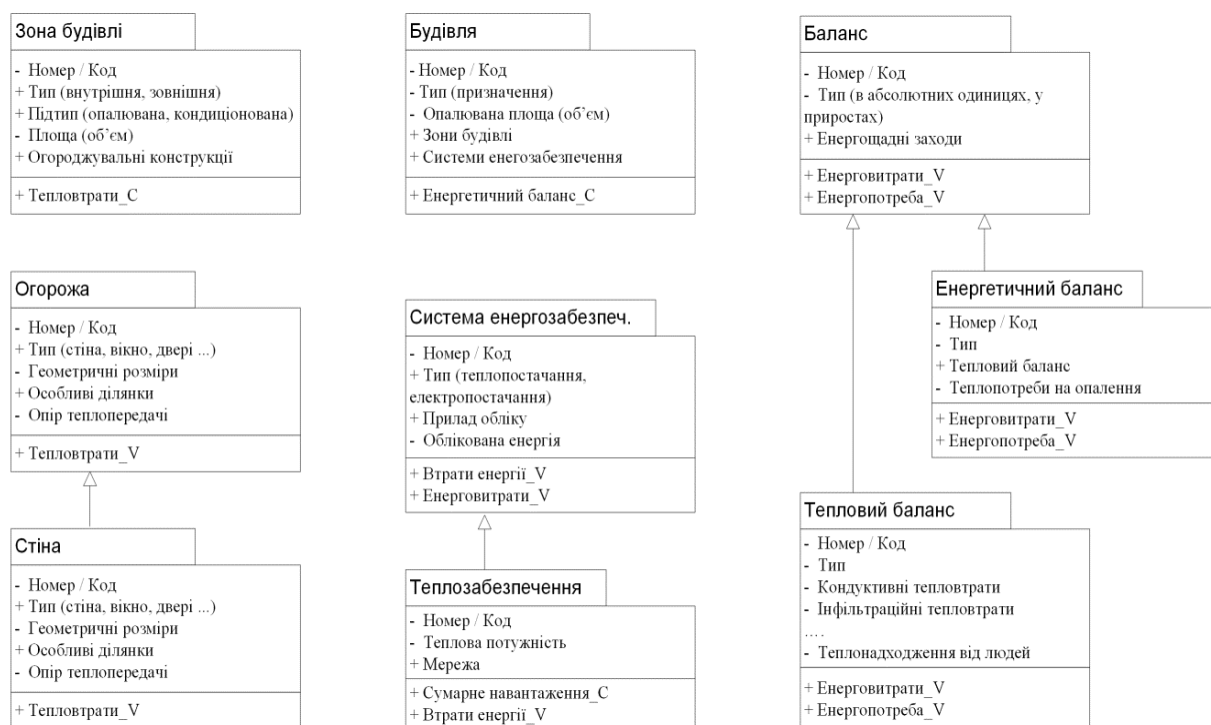


Рисунок 1 – Структурна схема опису основних об'єктів програми супроводу енергетичного аудиту будівлі

Ще одна вітка описує системи енергозабезпечення та їх обладнання (джерело тепла, теплові пункти, прилади опалення, електричний ввід, прилади освітлення, тощо), які є важливою складовою режиму енергозабезпечення/споживання будівлі. Об'єкт «Енергетичний баланс», який містить результати роботи програми, походить від базового об'єкту «Баланс», що містить початковий перелік властивостей спільних як для класу «Енергетичний баланс» так і для класу «Тепловий баланс».

Кожне поле у таблиці (рис. 1) може мати простий тип (позначене символом «-») чи бути посиланням на іншу таблицю (позначене символом «+»), де його властивості детально описані. Окрім цього властивості можуть бути обчислювальними (позначені суфіксом «_C») чи віртуальними (позначені суфіксом «_V»), що перекриваються в інших типах устаткування.

На підставі наведеної схеми (рис. 1) можна описати взаємозв'язки між об'єктами в поняттях схеми UML згідно властивостей об'єктного типу (рис. 2). У результаті в багатьох з об'єктів утворюється додатковий перелік властивостей типу «Перелік» (наприклад перелік зон, на які поділена будівля чи перелік огорожувальних конструкцій які є межею кожної зони).

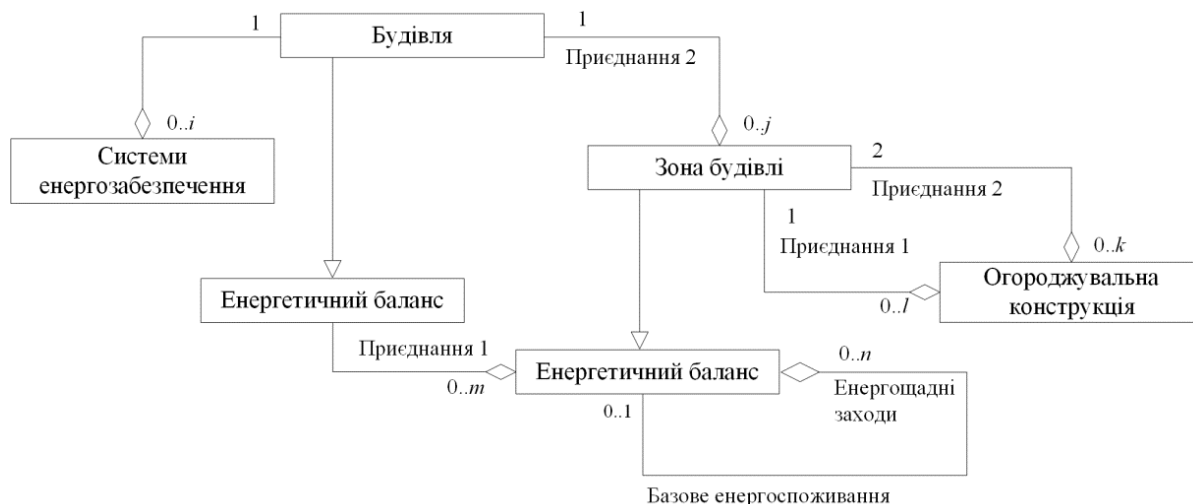


Рисунок 2 – Структурна схема опису основних об'єктів програми супроводу енергетичного аудиту будівлі

□ – успадкування властивостей, ◇ – перелік піделементів

Кожна будівля містить список підпорядкованих компонентів (0..j) типу «зона будівлі», яка поєднана із такими основними елементами як «огороджувальні конструкції» (0..l, 0..k) та «енергетичний баланс» (0..1), який визначається в абсолютних одиницях за базового енергоспоживання та в відносних одиницях для множини енергоощадних заходів (0..n). На підставі запропонованої технології роботи з даними надалі створюються програмні модулі з використанням алгоритмічних мов високого рівня.

Зауважимо також, що структурна схема сучасного програмного продукту повинна містити підсистеми як загального призначення нижнього рівня так і інформаційного забезпечення з різним функційним навантаженням, які забезпечують спеціалізацію програмного пакету (підсистеми варіантного аналізу).

Згідно описаної архітектури у Львівській політехніці було модернізовано програму «Енергоефективна будівля», що входить до складу спеціалізованого пакету [8] та розроблення якої було започатковано ще у 2004 р. Ця програма дозволяє виконувати такі основні завдання щодо паспортизації та сертифікації будівель:

- сформуванню математичну модель теплового режиму будівлі з врахуванням теплоенергетичного впливу довкілля; скласти на її основі тепловий баланс будівлі для опалювального та неопалювального періодів року;

- сформуванню розрахунковий енергетичний баланс будівлі з урахуванням реальних умов експлуатації будівлі, порівняти отриманий енергобаланс із фактичним енергоспоживанням за показами лічильників;

- сформуванню базовий енергетичний баланс за дотримання нормативного температурного режиму в приміщеннях, нормативного повітрообміну та забезпечення необхідних обсягів споживання інших енергоресурсів впродовж року;

- скласти на основі математичної моделі теплового режиму будівлі та базового енергетичного балансу енергетичний паспорт будівлі та енергетичний сертифікат.

Додатково програма дозволяє виконувати завдання, що стосуються розроблення та обґрунтування енергоощадних заходів:

- визначити потенціал пропонованих енергоощадних заходів та виконати їхнє техніко-економічне обґрунтування;

- сформуванню пакети енергетичних заходів за їхнім пріоритетом та послідовністю впровадження;

- сформуванню енергетичний баланс будівлі після впровадження енергоощадних заходів та екологічну експертизу.

Кілька екранних фотографій, що демонструють можливості програми «Енергоефективної будівлі» наведено на рис. 3.

The screenshot displays the 'Energy Efficient Building' software interface. The main window shows a table of energy-saving measures with columns for item number, measure name, and various energy metrics. A pop-up window titled 'Forming a list of temperature zones' is open, showing a table with columns for zone code, name, and temperature ranges. Below the main window, a detailed table titled 'Thermal balance for the heating season, MWh/year' is visible, showing energy consumption and savings for different building zones.

№п/п	Енергоощадний захід	К, тис. грн	В, тис. грн	Т, проків	Тек, років	Тд, о/Тд, п. років	IRR, %	NPV, тис. грн	NPVQ
1	утеплення стін	899,15	149,7	6	30	8,5 / 9,5	16,5	1269,35	1,412
2	утеплення даху	227,66	30,93	7,4	30	10,7 / 12,6	13,3	220,38	0,968
3	утеплення фундаменту	77,82	10,73	7,3	30	10,5 / 12,3	13,5	77,63	0,997
4	заміна вікон (балконнік дверей)	634,5	46,76	13,6	25	26,8 / 35	5,4	-9,13	-0,014
5	встановлення доводжачів відкриття дверей	1,4	1,02	1,4	5	2,5 / 2,5	67,2	2,95	2,105
6	встановлення захарактерних екранів	5,4	5,23	1	6	2,1 / 2,1	95	20,68	3,83
				0	0	0 / 0	0	0,0	0,0
				6,2	25	8,9 / 10	15,6	1199,78	1,143

Тепловий баланс за опалювальний сезон, МВт·год				
	розрахунок	лічильник	базовий	після ТМБ
Витрати теплової енергії за опалювальний сезон				
на потреби опалення	199,67	199,27	242,06	123,22
на потреби інфільтрації	35,25		43,66	36,68
теплонакопичення від ГВП	0,0	0,0	0,0	0,0
теплонакопичення від людей	22,29		22,29	22,29
сонячні теплонакопичення	5,97		5,97	5,97
теплонакопичення від джерел освітлення, Рпоб	0,59	0,0	0,59	0,59
теплонакопичення від інших електроприладів, Рпоб	14,55	15,39	14,55	14,55
теплотребності від СО	191,5	183,87	242,31	116,5
Енергетичний баланс за рік, МВт·год				
Складові енергетичного балансу				
опалення	191,5	183,87	242,31	116,5
окопичення	0,0	0,0	0,0	0,0

Рисунок 3 – Екранні фотографії, що демонструють можливості програми «Енергоефективної будівлі»

Розроблена програма відповідає вимогам чинної вітчизняної нормативної бази та є ефективним засобом виконання енергетичного аудиту будівель. Програму було верифіковано під час проведення енергетичного аудиту низки адміністративних будівель.

Висновки

Актуалізація нормативної бази України у сфері енергоспоживання, енергозаощадження та енергетичного аудиту зумовила появу низки нових вимог, яким повинні відповідати програмні інструменти супроводу енергетичного аудиту у житловій та адміністративній сфері.

Сформовано засади яким повинні відповідати програмні інструменти супроводу енергетичного аудиту будівель. Відповідно до цих засад сформовано базовий набір об'єктів, які лежать в основі програмного продукту.

Розроблено програмний продукт, що відповідає новим вимогам чинної нормативної бази щодо виконання енергетичного аудиту будівель та їх енергетичної сертифікації.

Список використаних джерел

1. Маліновський А.А., Турковський В.Г., Музичак А.З. Децентралізоване тепlopостачання – альтернатива чи хибний шлях // Проблеми загальної енергетики. Науковий збірник Інституту загальної енергетики Національної академії наук України. – 2011. – №4(27). – С.53-56.
2. Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
3. Закон України від 22 червня 2017 року № 2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель».
4. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель – [Чинний від 01-01-2016] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 72 с.
5. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – [Чинний від 01-01-2016] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 202 с.
6. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель – [Чинний від 01-04-2017] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2016. – 33 с.

7. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель – [Чинний від 01-01-2017] – К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2016. – 72 с.
8. Komputerowe wspomaganie audytu energetycznego miejskich systemów ciepłowniczych / A. Malinowski [etc] // IX Międzynarodowe seminarium naukowo-techniczne «Energodom 2008», 2008 – P.321-329.
9. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель – [Не чинний] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 72 с.
10. Object Management Group, 2003. OMG Unified Modeling Language Specification – Режим доступу до вид.: <http://www.omg.org> – Назва з екрану.

УДК 699.86:658.26

А.А. Малиновский, д-р техн. наук, проф., **ORCID** 0000-0001-9765-3494
В.Г. Турковский, канд. техн. наук, доц., **ORCID** 0000-0003-1869-8139
К.Б. Покровский, канд. техн. наук, доц., **ORCID** 0000-0003-4151-5820
А.З. Музычак, канд. техн. наук., **ORCID** 0000-0002-6330-1076
Национальный университет «Львовская политехника»,

ПРОГРАММНАЯ И АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА ЗДАНИЙ И ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ

Недостаточная обеспеченность Украины собственными энергоресурсами обуславливает актуальность потребности уменьшения энергопотребления, в частности в жилищно-коммунальной сфере. Этому должны способствовать энергетический аудит и энергетическая паспортизация и сертификация зданий в соответствии с действующей нормативной базой, которая в последние годы претерпела значительные изменения. Внесенные изменения формируют новые требования, которым должно отвечать программное обеспечение энергетического менеджмента, и являются основой для формирования базовых объектов программного обеспечения, которые в дальнейшем можно дополнять другими необходимыми компонентами, что приведено в статье на примере описания этих объектов средствами UML. Также программное обеспечение должно содержать подсистемы как нижнего уровня так и информационного, обеспечивающих специализацию программного пакета. Согласно описанной архитектуры во Львовской политехнике модернизировано программу «Энергоэффективное здание», входящую в состав специализированного пакета. Эта программа позволяет выполнять основные задачи выполнения энергетического аудита зданий, обоснование системы энергосберегающих мероприятий и разработку энергетического паспорта и энергетического сертификата здания.

Ключевые слова: энергетический сертификат, энергетический паспорт, энергетический аудит, энергопотребность, программное обеспечение.

A. Malinowski, Doct. Eng. Sc., Prof., **ORCID** 0000-0001-9765-3494
V. Turkovski, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0003-1869-8139
K. Pokrovskiy, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0003-4151-5820
A. Muzychak, Cand. Sc. (Eng.), **ORCID** 0000-0002-6330-1076
Lviv Polytechnic National University,

SOFTWARE AND ALGORITHMIC SUPPORT FOR ENERGY AUDIT OF BUILDINGS AND FOR THEIR ENERGY CERTIFICATION

The insufficient supply of Ukraine with its own energy resources determines the topicality of the reduction of energy consumption, in particular in the housing and communal sector. The important means, which are supposed to promote energy efficiency increasing, are energy passport and energy certificate. Their development requires an energy audit. The basis for carrying out the energy audit and drawing up an energy passport and an energy certificate is the current regulatory framework, which has undergone significant changes in recent years in order to adapt it to international regulatory framework. The changes form new requirements which the software

of energy management should correspond to. The most significant changes are the transition to the estimation of energy efficiency of the building from the specific heat consumption for heating to the annual energy demand for heating, cooling and heat water supply and the need to calculate the energy demand according to the energy balances of all building zones. The changes are the basis for the formation of basic software objects such as building, building zone and energy balance. Next each basic object can be supplemented by other necessary components. This is illustrated in the article on an example of describing the several objects by UML-tools. It allows us to describe the relationships among objects in concepts of UML-scheme according to the properties of an object type. According to the capabilities of modern software the structure scheme of each application should contain subsystems as application software as information provision. The structure of such a structural-functional scheme includes both general-purpose subsystems of the lower level, as well as applications that provide the specialization of the software. According to the described structure the program "Energy efficient building", which is part of the specialized package, is modernized in Lviv Polytechnic. The program allows performing the main tasks such as performance of energy audit of building, substantiation of system of energy-saving measures and drawing up of energy passport and energy certificate of building.

Key words: *energy certificate, energy passport, energy audit, energy demand, software.*

1. Malinowski A., Turkowski V., Muzychak A. (2011) "Decentralized heat supply is an alternative or a false path", Scientific collection of the Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine "Problems of general energy", no. 4(27), p.53-56, (Ukr).

2. Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.

3. About energy efficient of buildings: Law of Ukraine, 22.06.2017, № 2118-VIII.

4. The energy efficiency of buildings. Guide of the energy assessment of buildings: DSTU N B A.2.2-13:2015. – [Valid from 01.01.2016] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2011. –72 p. – (State Standards of Ukraine), (Ukr).

5. The energy efficiency of buildings. The method of calculating the energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply: DSTU B A.2.2-12:2015. – [Valid from 01.01.2016] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2015. – 202 p. – (State Standards of Ukraine), (Ukr).

6. Construction of buildings and facilities. Thermal insulation of buildings: DBN V.2.6-31:2016. – [Valid from 01.04.2017] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2016. – 33 p. – (State Building Standards of Ukraine), (Ukr).

7. Methods and stages of the energy audit of buildings: DSTU B V.2.2-39:2016. – [Valid from 01.01.2017] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2016. – 72 p. – (State Standards of Ukraine), (Ukr).

8. Komputerowe wspomaganie audytingu energetycznego miejskich systemów ciepłowniczych / A. Malinowski [etc] // IX Międzynarodowe seminarium naukowo-techniczne «Energodom 2008», 2008 – P.321-329. (Pol).

9. Construction of buildings and facilities. Thermal insulation of buildings: DBN V.2.6-31:2006. – [Not valid] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2006. – 72 p. – (State Building Standards of Ukraine), (Ukr).

10. Object Management Group, 2003. OMG Unified Modeling Language Specification – Режим доступу до вид.: <http://www.omg.org> – Назва з екрану.

Надійшла 17.04.2018

Received 17.04.2018