

УДК 004.021:004.92: 514.18

Христина Миколаївна Чуприна

Аспірант кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ***ІНТЕГРОВАНА ЄДИНА ЕНЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ БУДІВЛІ**

Розроблено концептуальну модель формування енергоефективності будівлі. Згідно принципам системного аналізу створено комплекс моделей як основи інтегрованої єдиної енергетичної моделі будівлі з врахуванням впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на енергоефективність огороджувальної оболонки будівлі. Описано взаємодію параметрів цієї моделі.

Ключові слова: енергоефективні будівлі, системний аналіз, інтегрована єдина енергетична модель будівлі, енергетичний вплив зовнішнього клімату

Разработана концептуальная модель формирования энергоэффективности здания. Согласно принципам системного анализа создан комплекс моделей как основы интегрированной единой энергетической модели здания с учетом влияния внешних и внутренних факторов на энергоэффективность ограждающей оболочки здания. Описано взаимодействие параметров этой модели.

Ключевые слова: энергоэффективные здания, системный анализ, интегрированная единая энергетическая модель здания, энергетическое воздействие внешнего климата

Design of energy efficient buildings proposed to be considered as the optimization of interconnected and balanced energy subsystems. Developed the conceptual model of formation the energy efficient buildings. According to the principles of system analysis created complex models as the basis of a single integrated energy model of the building, taking into account the influence of external and internal factors on the energy efficiency of the building envelope. Reported interactions of parameters and determined the composition of energy models which are considered. The list of components of energy-efficient models include: a group of climate models, group of architectural – constructive models and group of thermotechnical models.

Proposed integration of the unified energy model of the building with BIM for import architectural - constructive model building. And integration with software tool Retscreen to obtain accurate climate indicators in the region of construction. Determined basic parameters of the external climate to form a comfortable temperature and humidity regime the building.

According to the methodology of systematic analysis of the mathematical model of the thermal regime of the building as a single the thermotechnical system should be presented in the form of three interrelated models: thermotechnical model influence of the external climate on the building, thermotechnical model of enclosing constructions, thermotechnical model of microclimate. Developed the functional structure of the applications of the mathematical model of the thermal regime of the building to determine the energy efficiency index enclosing constructions.

Keywords: energy efficient building, systems analysis, integrated single energy model of the building, the energy impact of the external environment

Постановка проблеми

Використання енергоефективних технологій є одним з основних напрямів розвитку сучасних технологій. Рациональне використання енергоресурсів є важливою проблемою в усіх галузях сучасного життя, зокрема в будівництві. Отже, необхідність широкого впровадження енергозаощаджувальних

технологій у будівництві, є актуальною проблемою.

Енергоефективність стає узагальненою характеристикою функціонування будівлі, закладеної при проектуванні і реалізованій в процесі експлуатації. За такого підходу для визначення енергоефективності виникає потреба розробки наукових основ, методів і засобів підвищення енергоефективності будівель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основні принципи системного аналізу енергоефективності будівлі, що використовуються при проектуванні і розробки технології створення і підтримки енергоефективних моделей будівлі, були сформульовані Ю.А. Табунщиковим, М.М. Бродач, Н.В. Шилкіном в [1; 2]. Вони полягають у такому:

1). Будівля розглядається як дві незалежні енергоефективні підсистеми: зовнішній клімат як джерело енергії і будівля як єдина енергетична система.

2). Аналіз першої підсистеми дозволяє визначити методи його використання для тепло- і холодопостачання будівлі. Аналіз другої підсистеми дозволяє визначити характеристики архітектурно-конструктивних, теплотехнічних або енергетичних показників будівель як єдиної енергетичної системи.

3). Декомпозиція будівлі як єдиної енергетичної системи може бути представлена як три основні енергетично взаємозв'язані підсистеми:

– енергетичним впливом зовнішнього клімату на оболонку будівлі;

– енергія, що надходить від систем акліматизації будівлі і внутрішніх джерел тепла.

4). Проектування енергоефективної будівлі полягає в оптимізації трьох енергетично взаємозв'язаних підсистем, наведених вище [2; 5].

Ця оптимізація полягає у:

– визначенні оптимальних архітектурно-планувальних рішень, теплотехнічних або енергетичних параметрів окремих елементів будівлі з врахуванням взаємозв'язку між ними;

– визначенні оптимальних архітектурно-планувальних, теплотехнічних або енергетичних параметрів будівлі як єдиної енергетичної системи.

Мета роботи

Метою роботи є розробка комплексу моделей інтегрованої єдиної енергетичної моделі будівлі, з врахуванням впливу навколишнього середовища, та визначенням теплових характеристик огорожувальних конструкцій будівлі.

Виклад основного матеріалу досліджень

В ході дослідження предметної області проектування енергоефективних будівель (ЕБ) розроблена концептуальна модель формування енергоефективності будівлі (рис. 1).

Відповідно до принципів системного аналізу проектування енергоефективної будівлі можна розглядати як оптимізацію взаємозалежних збалансованих енергетичних підсистем.

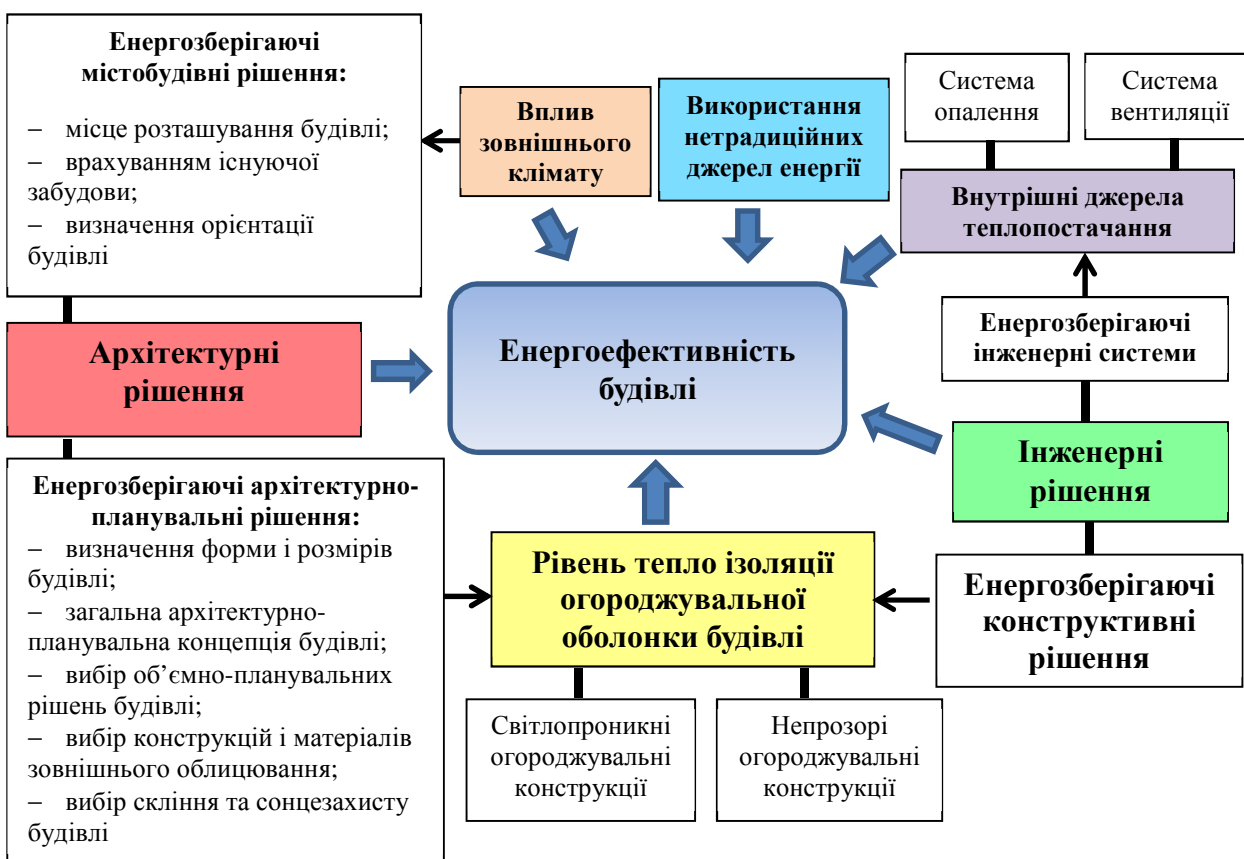


Рис. 1. Концептуальна модель формування енергоефективності будівлі

Під поняттям будівлі як єдиної енергетичної системи будемо розуміти три основні енергетично взаємопов'язані підсистеми:

- енергетичний вплив зовнішнього клімату на оболонку будівлі;
- енергія, що накопичена в оболонці будівлі, тобто зовнішні огорожувальні конструкції будівлі;
- енергія, що надходить від систем кліматизації будівлі і внутрішніх джерел тепла.

При поданні енергоефективної будівлі як декількох незалежних інноваційних енергозаощаджувальних рішень, виявляється, що ці незалежні рішення можуть взаємно знижувати їх первинну ефективність, а в деяких випадках навіть призводити до негативного ефекту [5; 6; 7].

За результатами досліджень постала задача – побудова інтегрованої єдиної енергетичної моделі будівлі (ЄЕМБ) (рис. 2) та розробка на її основі базових об'єктно-орієнтованих моделей: архітектурно-конструктивної, кліматичної та моделі теплового балансу будівлі.

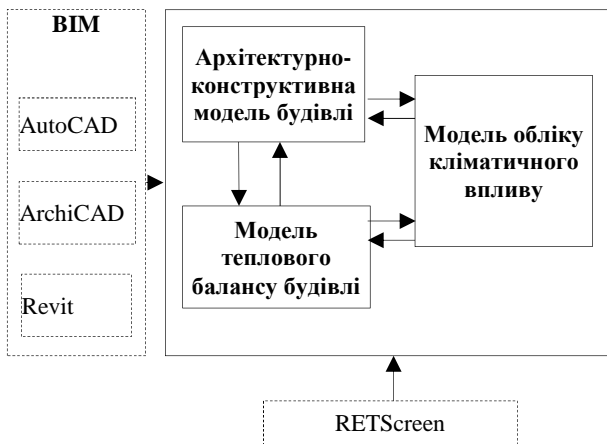


Рис. 2. Інтегрована єдина енергетична модель будівлі

Основу BIM складають об'єктно-орієнтовані параметричні моделі. На різних етапах проектування будівель використовується спеціалізована модель подання даних про об'єкт, яка описує певний розділ проектування [11].

Інформаційна модель будівлі несе в собі таку інформацію:

- геометричні параметри об'єктів (розміри, об'єм і т.д.);
- фізичні параметри об'єктів (маса, матеріал, фізичні константи і т.д.);
- присвоєні (атрибутивні) параметри об'єктів (ім'я, перетин, маркування, ДСТУ і т.д.);
- топологічні параметри об'єктів (описують взаємозв'язки між елементами);
- часові параметри об'єктів.

Особливістю інформаційної моделі є те, що всі її складові частини можуть бути виконані в різних BIM-програмах, обмін даними між якими здійснюється за допомогою формату IFC [11].

Інтеграція з RETScreen необхідна для розрахунків узагальненого показника енергоефективності клімату. Значення всіх показників зовнішнього клімату викликаються із БД NASA зовнішнього програмного засобу RETScreen в модуль, що виконує розрахунок. При цьому можуть бути викликані значення показників зовнішнього клімату всього періоду або його окремих частин.

Системний аналіз енергоефективних будівель як єдиної системи передбачає її функціональні моделі і забезпечення їх необхідними компонентами. В задачу системного аналізу входить:

1). Визначення складу енергетичних моделей, що розглядаються. В список компонентів таких енергоефективних моделей входять:

- група кліматичних моделей $C_i(T_i), i = 1...N_C$;
 - група архітектурно-конструктивних моделей $K_i(P_i), i = 1...N_K$;
 - група теплотехнічних моделей $E_i(L_i), i = 1...N_E$,
- N_C, N_K, N_E – кількість кліматичних, архітектурно-конструктивних та теплотехнічних моделей;

– T_i, P_i, L_i – параметри, що характеризують конкретні

- елементи цих моделей;
- C_i, K_i, E_i – функції просторових координат або їх апроксимація заданими множинами.

2). Визначити взаємозв'язки між параметрами всередині окремої енергоефективної моделі і компонентами інших енергоефективних моделей. Предметом системного аналізу не може бути компонента енергоефективної моделі, якщо відсутні її параметричні зв'язки з компонентами інших енергоефективних моделей.

Базуючись на системному підході, доцільно подати модель енергоефективної будівлі як сукупність трьох моделей: кліматичної, конструктивної та теплотехнічної (рис. 3):

$$M_{EB} = M_{CI} \cup M_{AK} \cup M_T,$$

до $M_{CI} \subset C_i(T_i), i = 1...N_C$ належить група кліматичних моделей $C_i(T_i)$;

до $M_{AK} \subset K_i(P_i), i = 1...N_K$ належить група архітектурно-конструктивних моделей $K_i(P_i)$;

до $M_T \subset E_i(L_i), i = 1...N_E$ – група теплотехнічних моделей $E_i(L_i)$.

Для розв'язання задачі побудови моделі будівлі як єдиної енергетичної моделі будівлі опишемо взаємодію параметрів, що входять в модель середовища за відомими ефектами і сформульованими законами для характерних процесів (або параметрів процесів) енергетичної моделі.

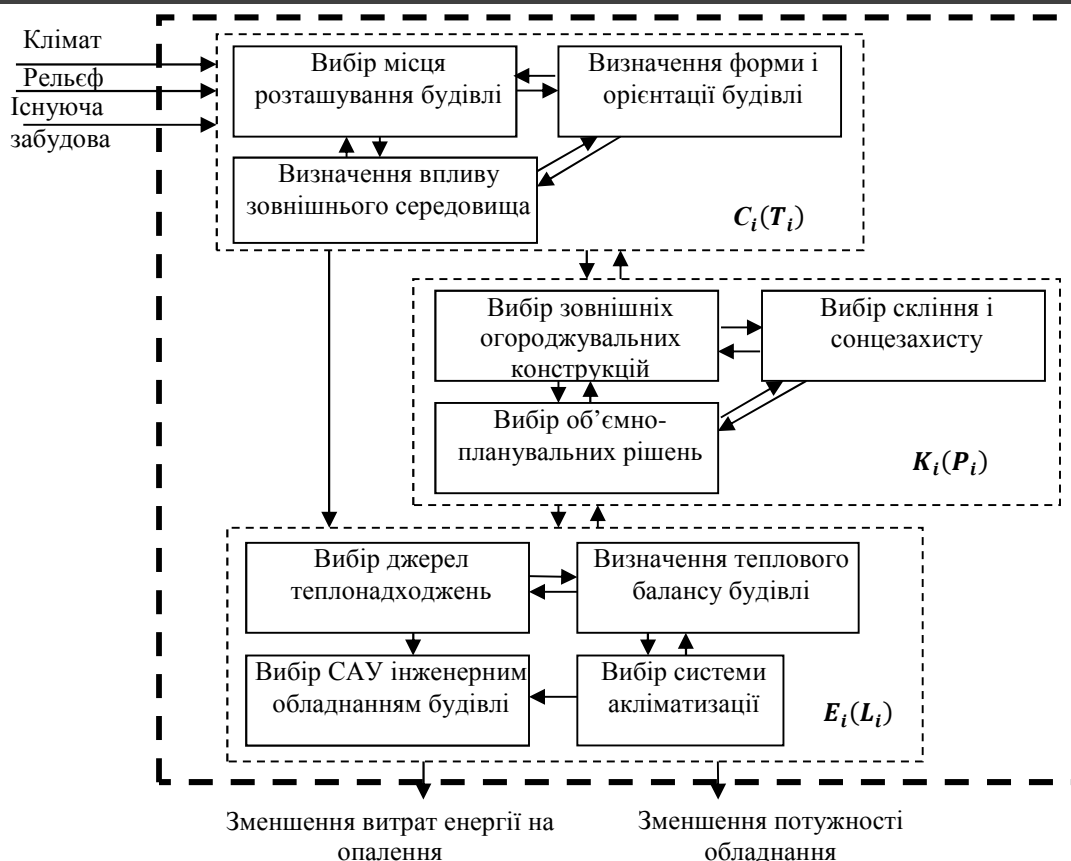


Рис. 3. Функціональна схема інтегрованої енергетичної моделі будівлі

Рівняння математичної фізики, що пов'язують параметри фізичних компонент моделі:

$$A_i(\sigma_i) = u_i, i = 1 \dots N,$$

де σ_i - фізичні компоненти моделі; u_i - відповідні фізичні поля.

Дослідження перетину множин параметрів СЕМБ дали можливість класифікувати інформацію за змістом. Виявлено шість основних категорій даних, що використовуються на різних етапах проектування ЕБ: С – конструктивні дані, СІ – кліматичні дані, G – геометричні дані, Т – топологічні дані, А – атрибутивні дані, Q – теплотехнічні дані, F – кошторисні дані.

Описану структуру задачі взаємодії параметрів єдиної енергетичної моделі будівлі, подано схематично (рис. 4).

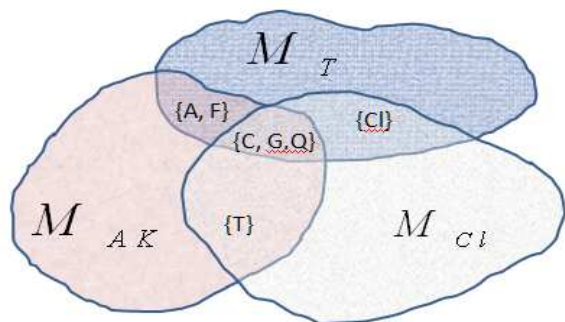


Рис. 4. Діаграма Вена для множини даних єдиної енергетичної моделі будівлі

Архітектурно-конструктивна модель створюється в BIM-орієнтованих засобах. Схематично взаємозв'язки моделі енергоефективної будівлі з моделями BIM показані на рис. 5. *Архітектурно-конструктивна модель M_{AK}* . Її головна ознака – суворая відповідність форми елементів моделі тому, що повинно бути зведено в реальності.

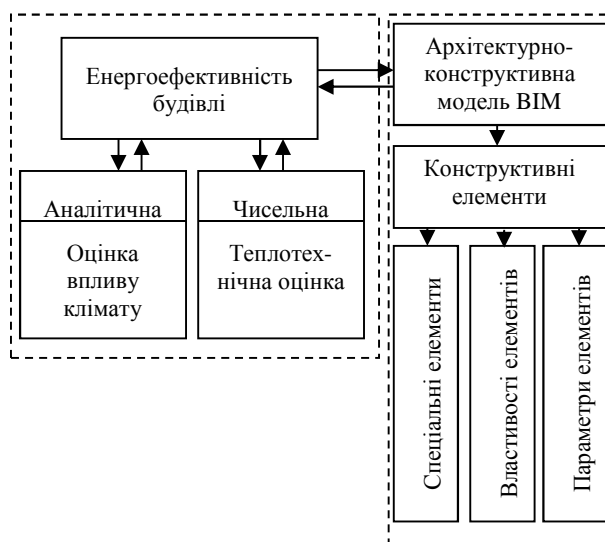


Рис. 5. Взаємозв'язки моделі енергоефективної будівлі з моделями BIM

$$M_{AK} = M_{Фіз} \cup M_{Констр.}$$

де $M_{Фіз}$ – фізична модель це результат моделювання конструкцій у BIM з усіма атрибутами (перегородки, стіни, обладнання, навіть меблі);

$M_{Констр.}$ – конструктивна модель складається з конструктивних елементів (колони, балки, пластини, ґрунтові масиви і т.д.), спеціальних елементів (зв'язків, жорстких вставок, нуль-елементів, шарнірів і безлічі залежних від середовища реалізації тонкощів) і цілого набору властивостей і параметрів для аналізу. Це абстракція, що найкращим і найпростішим чином передає механічні особливості конструкції.

Конструктивну модель потрібно розглядати як об'єднання моделей даних, що використовуються на різних етапах проектування:

$$M_{Констр.} = K_A \cup K_C \cup K_E \cup K_S \cup K_F \cup F_M$$

Складовими моделі M є:

K_A – архітектурна модель будівлі;

K_C – конструктивно-розрахункова модель будівлі;

K_E – модель представлення (подання) даних про внутрішні електротехнічні мережі та прилади будівлі; K_S – модель представлення даних про внутрішні сантехнічні мережі та прилади будівлі;

K_F – кошторисно-фінансова модель будівлі;

K_M – модель представлення даних про етап управління будівництвом об'єкта [9].

Модель обліку впливу зовнішніх факторів на енергоефективність будівлі M_{Cl} . Схема впливу навколишнього середовища на енергетичний баланс будівлі наведена на рис. 6.

Теплоенергетичний вплив зовнішнього клімату на тепловий баланс будівлі може бути оптимізовано за рахунок вибору форми будівлі, розташування і площі заповнення світлових отворів, регулювання фільтраційних потоків, а також за рахунок інших заходів.

$$M_{Cl} = T_{\lambda} \cup T_{Cl}; (t_d, t_y).$$

Математична модель враховує такі фактори:

– теплопровідність зовнішніх огорожувальних конструкцій T_{λ} ;

– клімат (температурно-вологісний режим, рельєф, сонячна радіація) T_{Cl} ;

– час доби t_d , і пору року t_y .

Основними параметрами зовнішнього клімату для формування комфортного температурно-вологісного режиму є температура зовнішнього середовища T_i , швидкість вітру W_i , сонячна радіація J_i , рельєф Rl_i .

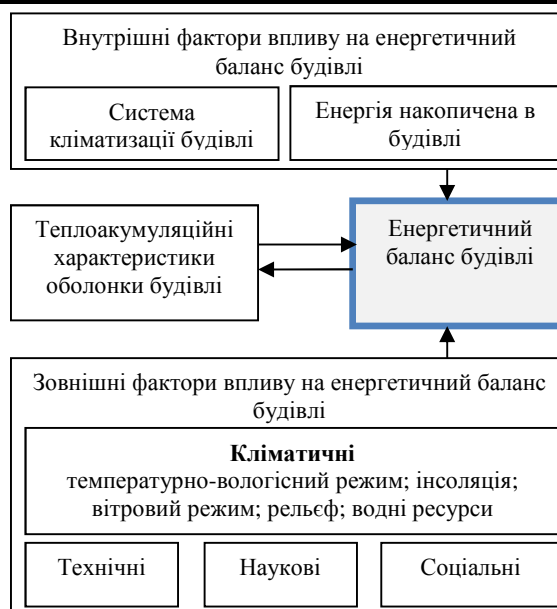


Рис. 6. Схема впливу навколишнього середовища на енергетичний баланс будівлі

Відповідно до методології системного аналізу математичну модель теплового режиму будівлі як єдиної теплоенергетичної системи доцільно подати у вигляді трьох взаємопов'язаних моделей, більш зручних для вивчення (рис. 7).

З урахуванням прийнятого поділу математичної моделі теплового режиму будинку як єдиної теплоенергетичної системи на три взаємозалежних під моделі можна записати так:

$$M_T = M_{Cl} \cup M_{TZ} \cup M_{TV},$$

де M_{Cl} – модель теплоенергетичного впливу зовнішнього клімату на будівлю;

M_{TZ} – теплоенергетичну модель огорожувальних конструкцій;

M_{TV} – теплоенергетичну модель мікроклімату [12].

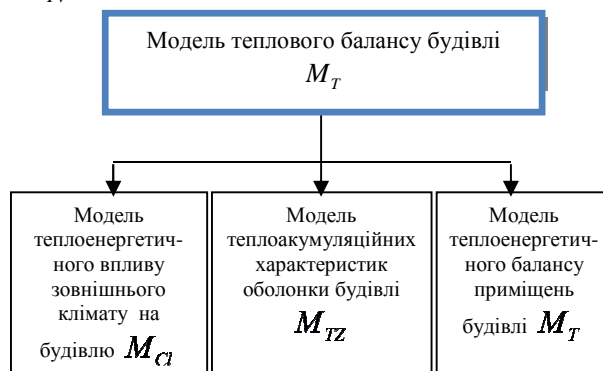


Рис.7. Модель теплового балансу будівлі

Функціональна структура математичної моделі теплового режиму будівлі забезпечує її ефективне застосування для визначення показника енергоефективності огорожувальних конструкцій (рис. 8).

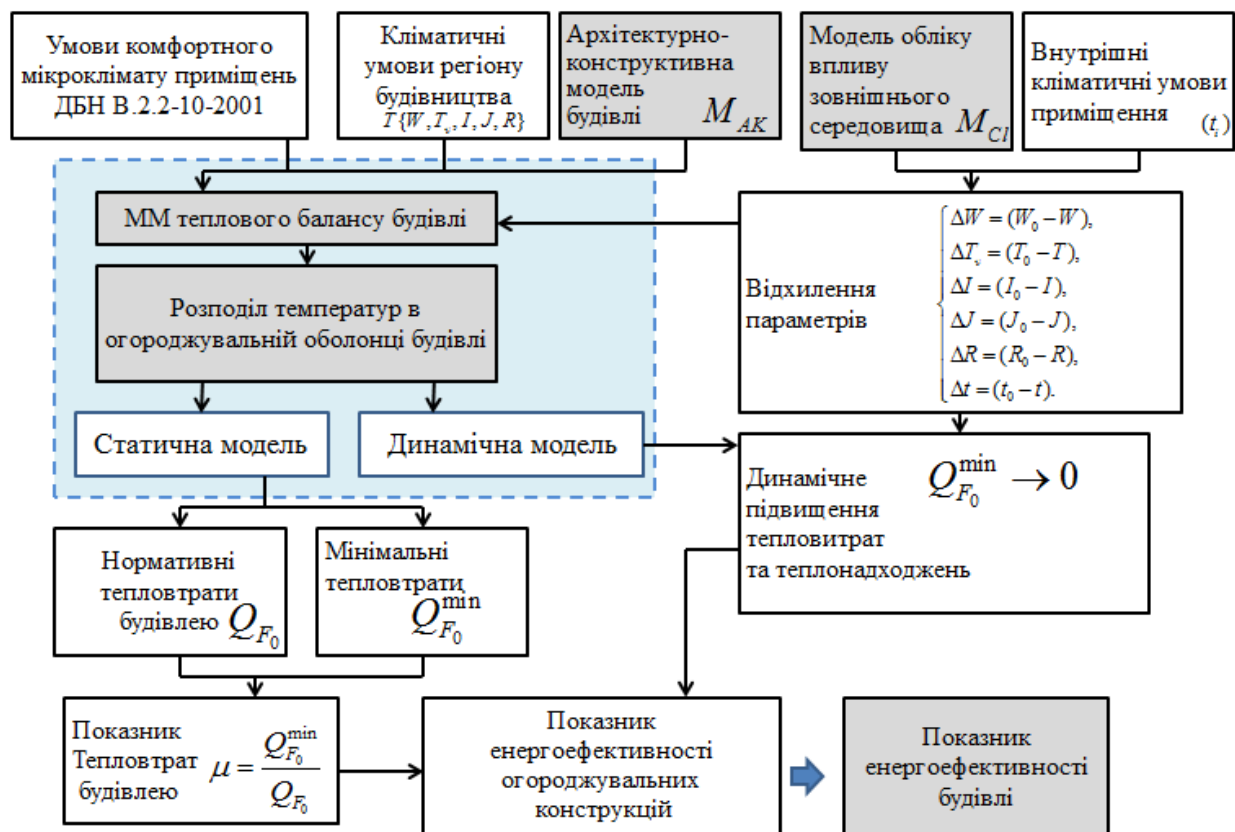


Рис. 8. Функціональна структура математичної моделі теплового балансу будівлі

Висновки

Запропоновано розглядати проектування енергоефективної будівлі як оптимізацію взаємозалежних збалансованих енергетичних підсистем. Розроблено комплекс моделей як основи інтегрованої єдиної енергетичної моделі будівлі з врахуванням впливу зовнішніх факторів (клімат, місце розташування об'єкта будівництва) та внутрішніх факторів (тепловий баланс будівлі, джерела теплонадходжень) на тепловий баланс будівлі.

Запропоновано інтеграцію єдиної енергетичної моделі будівлі з ВІМ для імпорту архітектурно-конструктивної моделі будівлі та з програмним засобом RETScreen, для отримання точних кліматичних показників регіону будівництва.

Розроблена функціональна структура застосування математичної моделі теплового режиму будівлі для визначення показника енергоефективності огороджувальних конструкцій.

Список літератури

1. Табуниціком Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табуниціком, М.М.Бродач, Н.В.Шилкин – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
2. Табуниціков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табуниціков, М.М.Бродач – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
3. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учеб. для вузов / В. Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.
4. Сергейчук О.В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків: дис. ... доктора техн. наук: 05.01.01 / Сергейчук Олег Васильович. – Київ, 2008. – 425 с.
5. Дмитриев А.Н. Управление энергосберегающими инновациями: Учебное пособие для вузов по строительным специальностям. Рек.МО РФ. -М.:Изд.-во Ассоциации строительных вузов, 2001.-320 с.
6. Талапов В.В. Основы ВІМ. Введение в информационное моделирование зданий. – М.: «ДМК-пресс». 2011. – 392 с.

7. Ю.А. Табуницков Энергоэффективные здания: мировой и отечественный опыт – http://ecosys.narod.ru/2005_9/art01.htm.
8. Бродач М. М. Повышение тепловой эффективности зданий оптимизационными методами: автореф. дисс. на соиск. науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.03 “Теплоснабж., вентиляц., кондиц. воздуха” / М. М. Бродач. – М., 1988. – 22 с.
9. Гоц Х.М. Використання сучасних технологій САПР для проектування енергоефективних будівель // Управління розвитком складних систем, зб. наук. праць. – К.: КНУБА, 2012- № 11. – С. 100-106.
10. Бородавка Є.В. Способи подання моделі будівельного об'єкта / Є.В. Бородавка // Управління розвитком складних систем, зб. наук. праць. – К.: КНУБА, 2011-№8. – С. 100-106.
11. Chupryna C h.M. METHOD of IMPORTING DATA from a BUILDING INFORMATION MODEL (BIM) // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering Vol. 1, Issue 10, 2013 www.ijirce.com
12. Чуприна Х.М. Методи підвищення енергоефективності будівлі / В.В. Демченко, Х.М. Чуприна, О.В. Невмержицький // Управління розвитком складних систем, зб. наук. праць. – К.: КНУБА, 2013. – С. 98-104.

References

1. Tabunskykov Y.A. (2003.) *The building power effective* / YA Tabunskykov, M.M.Brodach, N.V.Shylkyn – Moscow: AVOK Press– 200 p.
2. Tabunskykov Y.A. (2002) *Matematycheskoe modeling and optimization of thermal effectiveness deposited* / YA Tabunskykov, M.M.Brodach – Moscow: AVOK Pres. – 194 p.
3. Bohoslovskyy V.N. (1982) *Stroitel'naya teplofyzika /Textbook. for high schools /*. – М.: High society. School, – 415 p.
4. Sergeichuk. A (2008). *Geometric modeling of physical processes while optimizing the energy efficiency of buildings forms: dis. Dr. Engineering. sciences: 05.01.01–Kyiv.* – 425 p.
5. Dmitriev A.N. (2001) *Энергосберегающему Innovation Management: Textbook for Universities in stroitel'nyy specialty. Rec. Russia.* – М.: Yzd. – in stroitel Association of Universities.–320 p.
6. Talapov V.V. (2011). *Basics of BIM. Introduction to building information modeling.* Moscow: DMK press, p. 392.
7. Yu.A. Tabunskykov (2005) *Power effective the building: myrovoy and otechestvennyy Experience* – <http://ecosys.narod.ru>
8. Brodach M.M. (1988) *Improving the thermal performance of buildings using optimization methods: Abstract. diss. Sc. sciences specials. 05.23.03 – М.* – 22 p.
9. Gots Kh.M.(2012) *Using modern technology CAD design for energy efficient buildings, Management of complex systems.* Kyiv, Ukraine: KNUCA, 11, 100–106.
10. Borodavka Ie.V. (2011) “*The representation methods of building object*”, *Management of complex systems.* Kyiv, Ukraine: KNUCA, 8, 100–106.
11. Chupryna Ch.M. (2013) *METHOD of IMPORTING DATA from a BUILDING INFORMATION MODEL (BIM) // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering №1, Issue 10* www.ijirce.com
12. Chupryna Kh.M., Demchenko V.V., Nevmerzhytskyy O.V.(2013) *Methods to improve the energy efficiency of the building, Management of complex systems.* Kyiv, Ukraine: KNUCA, 16, 98–104.

Стаття надійшла до редколегії 12.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Михайленко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.