

УДК 004.021:004.92: 514.18

В.В. Демченко

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики

Х.М. Чуприна

Аспірант кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики

О.В. Невмержицький

Аспірант кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

Розглянуто методи підвищення рівня енергоефективності будівель на стадії проектування.

Ключові слова: енергоефективна будівля, методи підвищення енергоефективності, тепловий режим будинку, оптимальна орієнтація будівлі, САПР

Рассмотрены методы повышения уровня энергоэффективности зданий на стадии проектирования.

Ключевые слова: энергоэффективное здание, методы повышения энергоэффективности, тепловой режим дома, оптимальная ориентация здания, САПР

Methods of increasing the energy efficiency of buildings in the design stage are considered.

Keywords: energy efficient building techniques to increase energy efficiency, thermal conditions of the building, the optimum orientation of the building, CAD

Постановка проблеми

Підвищення вартості енергоресурсів, стрімка зміна клімату в Україні – все це є причинами для впровадження методів підвищення енергетичної ефективності будівель на стадії їх проектування. На сьогодні велика кількість будинків в Україні не відповідає вимогам енергозбереження. Розробка нових та розвиток наявних методів, що на ранніх стадіях розробки проектів підвищують енергоефективність будівель, є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Енергозбереження є світовою науковою проблемою. Дослідження проводились і проводяться по багатьох напрямках. Проектуванню енергоефективних будинків присвячені роботи М.М. Бродач, А.Н. Дмитриєва, Т.А. Маркуса, Е.Н. Морриса, В.Л. Мартинова, Т.О. Кашченко, М.П. Селіванова, Ю.А. Табунщикова, Н.В. Шилкіна. В методах моделювання теплового режиму будинків цих авторів переважає системний підхід, за якого будинок розглядається як єдина енергетична

система, що складається із взаємозалежних елементів.

У роботах О.В. Сергійчука розроблені методи оптимізації форми енергоефективних будинків та їх окремих елементів засобами прикладної та обчислювальної геометрії на основі моделювання і аналізу фізико-технічних процесів, що відбуваються в огорожувальних конструкціях і середовищах.

Мета роботи

Метою даної роботи є аналіз наявних методів підвищення енергоефективності будівель та їх окремих елементів, визначення основних факторів впливу на формування енергоефективних будівель. Результати аналізу є підґрунтям для реалізації відповідних компонентів систем автоматизованого проектування будівель та споруд.

Виклад основного матеріалу досліджень

Енергоефективність – раціональне використання енергетичних ресурсів – досягнення економічно виправдані ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів при існуючому рівні

розвитку техніки та технології і дотриманні вимог до охорони навколишнього середовища.

Енергоефективний будинок – це будинок, який характеризується раціональним використанням енергетичних ресурсів та покращеними зведеними показниками тепловитрат порівняно з нормативними.

Проектування енергоефективної будівлі спрямовано на побудову об'єкта, що ефективно використовує тепло, є колектором та акумулятором теплової енергії. Всі елементи будинку повинні бути узгоджені з головним принципом, сприяти та регулювати надходження сонячного тепла до будинку.

Задача проектування енергоефективних будівель – можливість отримання в результаті проектування будови, в якій досягнуто мінімального впливу зовнішнього середовища на будинок; будови, що характеризується компактністю забудови, захищеної від несприятливих природних явищ зі сприятливою орієнтацією. Задачею проектування окремого об'єкта є створення будинку, що характеризується максимальним накопиченням тепла всередині, компактністю форми, оптимальною орієнтацією за сторонами світу, диференціацією скління, пасивним та активним використанням сонячної енергії, можливістю сезонної трансформації енергонакопичувальних елементів будинку, температурним зонуванням будинку.

Основними факторами впливу на енергоефективність будівлі є сонячна радіація, температура і вологість повітря, використання поновлювальних джерел енергії. Безпосередньо впливають на енергоефективність будинків нормативні та технологічні вимоги до інсоляції, природного освітлення, акустики, шумозахисту, аерації тощо.

Енергетичні можливості зовнішнього клімату для теплопостачання будівлі

Зовнішній клімат, тепло землі, водні ресурси, біомаса і т.д. є джерелами енергії, тому слід передбачити можливість їх використання за допомогою теплових насосів, сонячних колекторів, енергетичних устаткувань і т.д. (рис. 1).

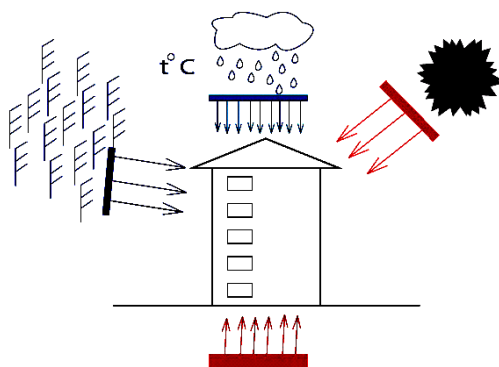


Рис.1. Вплив зовнішнього клімату на будівлю

Методичною основою для дослідження енергетичної здатності зовнішнього клімату (тепла землі, водних ресурсів і т.д.) є статистична обробка результатів метеорологічних спостережень. При побудові математичної моделі сукупності зовнішнього клімату, можна використовувати детермінований або ймовірнісний підходи. **Детермінований підхід** заснований на використанні реального поєднання сукупності показників зовнішнього клімату кожного географічного пункту за багаторічний період, щогодинні і нагальні показники клімату для даного географічного пункту, зібраного в архівах метеостанцій за багато років. У разі **ймовірнісного підходу** до побудови математичної моделі сукупності показників зовнішнього клімату зміна цих показників є випадковим процесом, причому нестаціонарним і багатовимірним. За експериментальними даними можна побудувати як одновимірні функції розподілу показників зовнішнього клімату, так і двовимірні: температура – швидкість вітру, температура – сонячна радіація, температура – відносна вологість, ентальпія зовнішнього повітря – сонячна радіація.

Принципи формування архітектури енергоефективних будівель

Під час проектування енергоефективної будівлі дотримуються декількох основоположних архітектурних і будівельних принципів підвищення енергоефективності:

- оптимізація архітектурних форм будівлі з урахуванням можливого впливу вітру;
- оптимальне розташування будівлі відносно сонця, що забезпечує можливість максимального використання сонячної радіації;
- збільшення термічного опору огорожувальних конструкцій будівлі (зовнішніх стін, покриттів, перекриттів над неопалюваними підвалами) до технічно можливого максимального рівня;
- зведення до мінімуму кількості теплової провідності, наявних в конструкції теплових мостів;
- забезпечення необхідної повітряної щільності конструкції будівлі щодо припливу зовнішнього повітря;
- підвищення до максимального технічно можливого рівня термічного опору світлопрозорих огорожувальних конструкцій;
- створення системи вентиляції для подачі свіжого повітря, видалення відпрацьованого повітря, розподілу тепла в приміщенні і організація регенерації тепла вентиляційного повітря.

В роботі [2] методологія проектування енергоефективних будівель заснована на системному аналізі будівлі як єдиної енергетичної системи. Представлення будівлі як суми незалежних інноваційних рішень порушує принципи системності

і призводить до втрати енергетичної ефективності проекту. Проектування енергоефективної будівлі згідно з принципами системного аналізу включає в себе три етапи:

- побудову математичної моделі тепломасообмінних процесів в будівлі;
- вибір цільової функції, тобто граничних умов і формулювання оптимізаційної задачі залежно від цілі оптимізації;
- розв’язання поставленої оптимізаційної задачі.

Схема взаємодії елементів будинку, як енергетичної системи, наведена на рис. 2. Основний вплив на формування теплового режиму і відповідно енергетичного статусу будинку (енергетичних витрат на забезпечення необхідного теплового режиму) здійснює його теплоізоляційна оболонка. Від властивостей цієї енергетичної підсистеми залежить вибір параметрів підсистеми опалення.

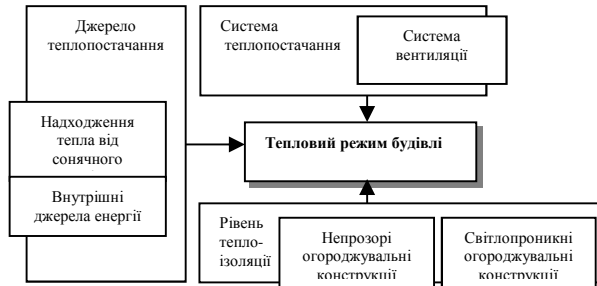


Рис. 2. Взаємодія основних підсистем будинку з точки зору енергоефективності

Поєднання вищенаведених рішень забезпечує мінімальне енергоспоживання будівлі, при цьому визначальними факторами підвищення енергоефективності будівлі є збільшення термічного опору його конструктивних елементів і скорочення кількості теплових мостів.

Архітектурні енергозаощаджувальні рішення повинні найкращим чином враховувати позитивний вплив зовнішнього клімату і мають максимально нейтралізувати його негативний вплив, зі урахуванням орієнтації і форми будівлі, яка пов’язана природним чином зі склінням, тепло-, сонцезахистом огорожувальних конструкцій [1; 2 – 5].

Відповідно до методології системного аналізу математичну модель теплового режиму будівлі як єдиної теплоенергетичної системи доцільно представити у вигляді трьох взаємопов’язаних моделей, більш зручних для вивчення (рис. 3).



Рис. 3. Модель теплового режиму будівлі

У випадку, коли реалізація оптимального рішення неможлива з тих чи інших причин, в [1; 2] запропоновано ввести показник h , що характеризує ступінь відмінності реалізованого рішення від оптимального і є показником теплоенергетичної ефективності проектного рішення. В інших випадках цей же показник може служити критерієм оцінки мистецтва проектувальника. За визначенням:

$$h = PE\Phi / Q_{np}, \quad (1)$$

де $PE\Phi$ – витрата енергії на створення мікроклімату в приміщеннях енергоефективної будівлі;

Q_{np} – витрата енергії на створення мікроклімату в приміщеннях будівлі, прийнятого до проектування.

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

$$h = p1 \cdot p2 \cdot p3,$$

де $p1$ – показник теплоенергетичної ефективності оптимального обліку впливу зовнішнього клімату на будівлю;

$p2$ – показник теплоенергетичної ефективності оптимального вибору тепло- і сонцезахисних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій;

$p3$ – показник теплоенергетичної ефективності оптимального вибору систем забезпечення мікроклімату.

Проектування зовнішніх огорожувальних конструкцій

1. Зовнішні огорожувальні конструкції діляться на світлонепроникні (стіни, покриття, переkritтя) і світлопрозорі (заповнення світлових отворів) з сонцезахисними пристроями.

2. Задача визначення оптимальних теплотехнічних показників світлонепроникних огорожувальних конструкцій формулюється в залежності від сукупності вимог, які до них висуваються.

Отже, показниками енергоефективності будинків є:

- питомі тепловитрати на опалення будинку за опалювальний період Q_E , кВт·год/м² [кВт·год/м³];

- загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку $K_{буд}$, Вт/(м²·К);

- зведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку $k_{\Sigma пр}$, Вт/(м²·К);

- умовний коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будинку $k_{інф}$, Вт/(м²·К), що враховує тепловтрати за рахунок інфільтрації та вентиляції;

- середня кратність повітрообміну за опалювальний період $n_{об}$, рік;

- коефіцієнт скління фасадів будинку $f_{ск}$;

- показник компактності будинку Λ_k буд, м.

В основу принципу альтернативного проектування теплоізоляційної оболонки прийнято забезпечення інтегральної енергетичної характеристики системи (будинку в цілому) – питомі максимально допустимі тепловтрати на опалення. Визначення цього показника здійснюється на підставі моделювання теплового режиму.

Завдання оптимізації рівня теплоізоляції за рахунок вибору раціональної орієнтації та розмірів будинку виконується завдяки максимальному використанню сонячної радіації в зимовий період та конструктивного захисту від сонячного опромінювання приміщень в літній період року, а також вибору такої геометрії, коли за інших однакових умов на одиницю корисної площі або об'єму витрачається мінімум теплової енергії на опалення та охолодження. Цільова функція, яку слід мінімізувати, являє витрати енергії й її пошук визначається [4; 6]:

$$\left. \begin{aligned} SE_Q \rightarrow \min, F = F_0 = \text{const}(V = V_0 = \text{const}) \\ SE_Q = \int_{z_1}^{z_2} S(Q_E)Q_E dz + \int_{z_3}^{z_4} S(Q_L)Q_L dz \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де $S(Q_E)$, $S(Q_L)$ – вартість одиниці тепла та холоду; $(z_1- z_2)$, $(z_3- z_4)$ – тривалість періодів опалення та охолодження будинку.

Проектування огорожувальних конструкцій за показниками теплової комфортності

Показники теплової комфортності або санітарно-гігієнічні теплові вимоги визначаються таким чином $\Delta t_{np} \leq \Delta t_{cz}$, (3)

де Δt_{np} , Δt_{cz} – фактичний (або розрахунковий) та допустимий за санітарно-гігієнічними вимогами температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і зведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$.

Основною методологічною особливістю умови (3) є забезпечення теплових комфортних параметрів приміщень, що є обов'язковою умовою енергоефективності будинку. В той же час слід враховувати, що тепловий комфорт не є точним технічним терміном і в жодному нормативному документі немає чіткого його визначення.

Основною перевагою регламентного підходу проектування теплоізоляційної оболонки за економічними тепловими показниками є чітка визначеність вимог до кожного елементу оболонки.

Основною енергетичною характеристикою будівлі є витрати теплоти на забезпечення необхідних за санітарно-гігієнічними вимогами теплових параметрів приміщень. Для порівняльного аналізу будівель, що експлуатуються в різних умовах, слід користуватися питомими показниками тепловитрат. Для цього введений параметр питомих

тепловтрат на опалення будинку, а фізичний зміст цього параметру полягає у визначенні кількості енергії (Дж), що витрачається на забезпечення оптимальних теплових умов мікроклімату приміщень та відноситься до 1m^2 опалювальної площі або 1m^3 опалювального об'єму за опалювальний період року, який характеризується кількістю градусодіб.

Значення цього показника визначається теплотехнічними показниками ізоляційної оболонки будинків, інтенсивністю фільтраційних процесів та параметрів вентиляційної підсистеми будинку, формою будинку або його компактністю, орієнтуванням фасаду відносно сторін світу. Від цих характеристик залежить властивість будівельного об'єкта споживати більшу чи меншу кількість енергії для забезпечення заданих теплових параметрів приміщень, тобто енергетична ефективність об'єкта. Нормативні характеристики питомих тепловтрат на опалення є результатом оптимізаційних розрахунків і не слід на сучасному етапі, як показано в роботі [1], досягати значення цього показника нижче за $40 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{m}^2$.

Вибір оптимальної орієнтації будівлі

Розглянемо можливість оптимізації теплоенергетичного впливу зовнішнього клімату на тепловий баланс будівлі шляхом зміни його форми та орієнтації, а також врахування кліматичних особливостей місцевості на прикладі Києва.

Вибір оптимальної орієнтації будівлі, що враховує одночасно напрямки пануючих вітрів і перешкоджає значним тепловтратам і небажаному впливу сонячної радіації, тобто скорочення теплонадходжень влітку і тепловтрат взимку (рис. 4).

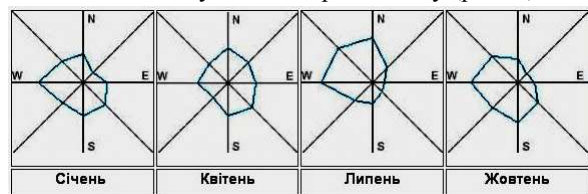


Рис. 4. Роза вітрів у Києві

З урахуванням проаналізованих даних зроблено висновок, що кращою є широтна орієнтація будівлі. Можна зазначити ряд переваг широтної орієнтації над меридіональною:

- у зимовий період найбільша кількість тепла від прямої сонячної радіації надходить на стіни будівель південної орієнтації [1];

- у літній період найбільша кількість тепла від розсіяної сонячної радіації надходить за добу на стіни східної і західної орієнтації [1].

Приміщення з вікнами, орієнтованими на південь мають сприятливу інсоляцію влітку, а взимку в них потрапляють низькі, глибоко проникаючі у приміщення сонячні промені [6];

З урахуванням переважання в опалювальний період вітрів західного і східного напрямку широтна орієнтація є оптимальною.

Клімат в Києві - помірно-континентальний. Ізотерма січня $-5,9^{\circ}\text{C}$ і липня $+22^{\circ}\text{C}$. Взимку панують південно-східні та східні вітри, влітку – північно-західні і західні. Швидкість вітру досягає 20-30 м/с [8], (табл. 1).

Таблиця 1

Середні метеорологічні показники в місті Києві, за даними NASA RETScreen

Температура воздуха	Относительная влажность	Дневная сумма солнечной радиации - кВт/м²/день	Атмосферное давление	Скорость ветра	Температура земли	Градусо-дни отопительного сезона	Градусо-дни с отрицательной температурой	
*°C	%	кВт/м²/день	кПа	м/с	*°C	*°C-д	*°C-д	
Янв	-3,8	84,9%	0,84	100,1	4,2	-5,9	676	0
Фев	-3,3	81,6%	1,55	100,0	4,4	-4,9	596	0
Мар	0,9	77,1%	2,59	100,0	4,3	0,5	530	0
Апр	8,7	69,7%	3,73	99,7	3,9	9,8	279	0
Май	14,6	66,4%	5,26	99,7	3,8	16,8	105	143
Июнь	17,8	70,1%	5,71	99,5	3,5	19,8	6	234
Июль	20,3	69,9%	5,46	99,6	3,2	22,0	0	319
Авг	18,9	70,8%	4,69	99,7	3,1	21,8	0	276
Сент	13,3	76,2%	3,23	99,8	3,5	15,8	141	99
Окт	7,5	80,8%	1,86	100,2	3,7	9,5	326	0
Ноя	1,3	87,0%	0,81	100,2	4,0	0,4	501	0
Дек	-3,2	86,3%	0,57	100,2	4,0	-5,1	657	0
Ежегодно	7,8	76,7%	3,03	99,9	3,8	6,4	3 617	1 071
Источник:	Грунтовой	Грунтовой	Грунтовой	NASA	Грунтовой	NASA	Грунтовой	Грунтовой

Форма, розмір і орієнтація будівлі повинні вибиратись таким чином, що б було забезпечено максимальне використання позитивного і нейтралізовано негативний вплив зовнішнього клімату на тепловий баланс будівлі.

Подамо в табличній формі (табл. 2) зведення розрахункових формул для визначення оптимальних розмірів будівель різної форми з точки зору мінімізації тепловтрат.

Позначення в таблиці такі:

$Q_a, Q_b, Q_c, Q_d, Q_{fl}, Q_{roof}, Q_{vert}$ – характерні теплові потоки, що проходять в плані відповідно з розмірами a, b, c, d ; через перекриття першого поверху, покриття і вертикальні огорожувальні конструкції, Вт/м²;

F_0 – загальна корисна площа будівлі, м²;

H – висота поверху будівлі, м;

a, b, c, d – розміри будинку в плані, м;

Z – кількість поверхів.

Таблиця 2

Розрахункові формули для визначення оптимальних розмірів будівель різної форми з точки зору мінімізації тепловтрат

Форма будівлі	Обмеження	Вплив сонячної радіації та вітрів	Оптимальні розміри будівлі		К-ть п., Z	Мінімальні питомі тепловитрати
			a	b		
	$F_0 - \text{const}$ $H - \text{const}$ $a=c$ $b=d$		$\sqrt[3]{\frac{HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})} * \frac{(q_b + q_c)^2}{(q_a + q_c)}}$	$\sqrt[3]{\frac{HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})} * \frac{(q_b + q_c)^2}{(q_b + q_d)}}$	$\frac{F_0}{ab}$	$3\sqrt[3]{\frac{H^2}{F_0} (q_{fl} + q_{roof})(q_a + q_c)(q_b + q_d)}$
	$F_0 - \text{const}$ $a - \text{const}$		$\sqrt[3]{\frac{q_{vert} HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})}}$	-	$\frac{F_0}{a^2}$	$3\sqrt[3]{\frac{H^2}{F_0} q_{vert}^2 (q_{fl} + q_{roof})}$
	$F_0 - \text{const}$ $a=b$		$\sqrt[3]{\frac{(\sqrt{2}q_c + q_a + q_b)2HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})}}$	$\sqrt{2}a$	$\frac{2F_0}{a^2}$	$3\sqrt[3]{\frac{H^2 (q_a + q_b + \sqrt{2}q_c)(q_{fl} + q_{roof})}{2F_0}}$

Показник ефективності проектного рішення розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{3\sqrt[3]{F_0^2 H^2 ABC}}{F_0 H \left[\frac{A}{b} + \frac{B}{a} \right] + abc}, \quad (4)$$

де $A = \sum_{i=1,3} [q_{Enc,i}(1-P_i) + q_{w,i}P_i]$,

$B = \sum_{i=2,4} [q_{Enc,i}(1-P_i) + q_{w,i}P_i]$,

$C = q_{Enc,5}(1-P_5) + q_{w,5}P_5 + q_{Enc,6}$,

$q_{w,i}$ – питомі теплові потоки через зовнішні огорожувальні конструкції, Вт/м², при цьому $i = 1, 2, 3, 4$ відносяться до стін, $i = 5$ до покриття, $i = 6$ – до перекриття; $q_{w,j}$ – питомі теплові потоки через заповнення світлових отворів, Вт/м²; P_i – коефіцієнт засклення зовнішнього огороження i -орієнтації; H – висота поверху, м.

У процесі вибору форми будинку важливим завданням архітектора є максимальне скорочення площі поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій з метою мінімізації тепловтрат в холодний час і теплонадходжень у теплу пору року.

Найбільш ефективною з точки зору мінімізації тепловтрат є кругла форма. Вона має найменший периметр, і, отже, будівлі круглої в плані форми будуть мати найменшу площу зовнішніх огорожувальних конструкцій. Також ця форма є сприятливою з точки зору впливу вітрових потоків. Питання оптимізації форми тіл зводиться, як правило, до визначення найбільш раціональної форми серед наперед заданого класу тіл.

Розв'язання ж оберненої задачі – пошуку форми будинків, що найкраще відповідають умовам енергозаощадження у функціональному просторі, у прикладній геометрії розглядалось О.В.Сергейчуком [4]. В цій роботі досліджені закономірності зміни оптимальної форми тіла залежно від характеристик радіаційного поля, що його оточує.

Висновки

В методах моделювання теплового режиму будинків на сьогодні переважає системний підхід, за якого будинок розглядається як єдина енергетична система, що складається із взаємозалежних елементів. При цьому основну увагу зосереджують на оптимізації складу теплоізоляційної оболонки і систем кліматизації будинків.

Але найважливіше місце у підвищенні енергоефективності будинків займає проблема оптимізації їх форми, оскільки вона є основою подальшої оптимізації. Методи оптимізації форми будівель зводяться, як правило, до визначення найбільш раціональної форми серед наперед

заданого класу тіл. Розробка оптимальної моделі вимагає комплексного аналізу і моделювання формоутворюючих факторів, які включають природно-кліматичні умови, нормативні вимоги, фізико-технічні процеси у конструкціях і середовищах, котрі ці конструкції розділяють, технологічні вимоги.

Розглянуті вище методи дозволяють значним чином підвищити енергоефективність будівлі на стадії проектування. Але на даний момент не існує комплексних засобів автоматизації проектування енергоефективних будівель, які б достатньою мірою моделювали процес теплопередачі огорожувальних конструкцій з урахуванням впливу зовнішнього клімату та автоматично розраховували оптимальне розташування будівлі та її геометричну форму.

З позицій системного підходу проведено аналіз методів підвищення енергоефективності будівель, які є суттєвими для використання в процесі розробки компонентів систем автоматизованого проектування об'єктів будівництва.

Список літератури

1. Табуничиков Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табуничиков, М.М.Бродач, Н.В.Шилкин – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
2. Табуничиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табуничиков, М.М. Бродач–М.: АВОК-ПРЕСС, 2002.– 194с.
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. Табуничиков Ю.А. Энергоэффективные здания: мировой и отечественный опыт – http://escosys.narod.ru/2005_9/art01.htm.
6. 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.
7. 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.
8. Рымаров А.Г. Прогнозирование параметров воздушного, теплового, газового и влажностного режимов помещений здания // Журнал Academia. Архитектура и строительство. – №5, 2009. – С. 362-364.
9. www.meteoprog.ua/ru/climate/Kyiv/.

Стаття надійшла до редколегії 24.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.О. Білошицький, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.