

УДК 515.2

В.Л. МАРТИНОВ

Київський національний університет будівництва і архітектури

Г.А. ВІРЧЕНКО

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

### **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ВІКОН ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ КАМПУСІВ**

*Розроблено комп'ютеризований спосіб визначення раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій у стінах енергоефективних будівель кампусів з точки зору мінімального теплового балансу з оточуючим середовищем, при якому тепловий баланс вікон менший за тепловий баланс стіни. Даний спосіб визначення орієнтації можливо використовувати при проектуванні як енергоефективних, так і звичайних будівель, при новому будівництві, в тому числі на території кампусів.*

*Ключові слова: енергоефективні будівлі, раціональна орієнтація вікон, тепловий баланс вікна.*

В.Л. МАРТЫНОВ

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Г. А. ВИРЧЕНКО

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОКОННЫХ ПРОЕМОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ КАМПУСОВ**

*Разработан компьютеризированный способ определения рациональной ориентации оконных проемов с расположением светопрозрачных конструкций в стенах здания с точки зрения минимального теплового баланса с окружающей средой, при которой тепловой баланс окон меньше теплового баланса стен. Данный способ определения ориентации можно использовать при проектировании как энергоэффективных, так и обычных зданий, в том числе на территории кампусов.*

*Ключевые слова: энергоэффективные здания, рациональная ориентация окон, тепловой баланс окна.*

V. L. MARTYNOV

Kyiv National University of Construction and Architecture

G. A. VIRCHENKO

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

### **DETERMINATION OF THE RATIONAL ORIENTATION OF WINDOWS OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS OF CAMPUS**

*The task of reducing the energy costs of campus buildings is relevant for improving their energy efficiency. This is possible due to the optimization of geometric parameters of buildings, including at the expense of rational azimuth orientation of windows in enclosing structures. The orientation of translucent structures greatly affects the level of thermal balance of buildings. The rational arrangement of window openings on the facades of buildings contributes to increasing*

*the energy efficiency of buildings to 10 percent. The thermal balance of modern windows during a heating period with a certain orientation may be smaller compared to opaque wall structures. The designer needs to have a way to quickly determine the limits of the rational orientation of translucent structures when they are located in the enclosing structures of buildings.*

*A computerized way of determining the rational orientation of window openings with the location of translucent structures in the walls of the building is developed in terms of the minimum thermal balance with the environment, in which the thermal balance of the windows is less than the thermal balance of the walls. This method of determining the orientation can be used in designing both energy-efficient and ordinary buildings, including those within campus areas.*

*The proposed mathematical apparatus and developed techniques for automated architectural design of energy-efficient buildings are given in this article. This material is illustrated by concrete practical examples. The territory of Ukraine is divided into two temperature zones characterized by different air temperature during the year and the level of heat from solar radiation. For buildings located in two temperature zones of Ukraine, namely for the cities of Kyiv and Odesa, graphic models were constructed and the rational orientation of the windows was determined when they were located in the enclosing constructions of buildings of a certain constructive solution.*

*This approach requires its further theoretical development and wide implementation in the practice of architectural design.*

*Keywords: energy efficient buildings, rational orientation of windows, thermal balance of a window.*

### **Постановка проблеми**

При проектуванні будівель, розташованих на території кампусів, постає задача зменшення енергетичних витрат на опалення з метою підвищення їх енергоефективності. Це можливо за рахунок оптимізації геометричних параметрів будівель, у тому числі за рахунок раціональної азимутальної орієнтації вікон при їх розташуванні в огорожувальних конструкціях. Орієнтація світлопрозорих конструкцій значною мірою впливає на рівень теплового балансу конструкції (рівень надходження тепла від сонячної радіації та тепловтрати через огорожувальні конструкції) і тепловий баланс будівлі в цілому. Раціональне розташування віконних прорізів на фасадах будівель сприятиме підвищенню енергоефективності будівель до 10 відсотків. Будівельні норми [1] регламентують показник опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, але не враховують рівень надходження сонячної радіації при різній орієнтації світлопрозорої конструкції та вплив її на тепловий баланс. Тепловий баланс сучасних вікон протягом опалювального періоду при певній орієнтації може бути меншим у порівнянні з непрозорими конструкціями стін. Проектувальникові необхідно мати спосіб швидкого визначення меж раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій при їх розташуванні в огорожувальних конструкціях будівель.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Вирішенню питання підвищення енергоефективності будівель присвячено роботи [2–4], але в них визначалися оптимальні пропорції будівель з точки зору мінімізації тепловтрат через огорожувальні конструкції за одним параметром пропорцій. У роботах [5, 6] окремо оптимізувалася форма будівлі та окремо параметри утеплювача непрозорих конструкцій будівлі з точки зору мінімального теплового балансу огорожувальних конструкцій. У дослідженні [7] розглядалася багатопараметрична оптимізація енергоефективних будівель. У праці [8] оптимізувалася форма циліндричної будівлі та розподіл утеплювача для опалювального періоду. У публікації [9] запропоновано спосіб оптимізації багатогранної форми енергоекономічної будівлі та розподілу утеплювача по огорожувальних конструкціях.

### Мета дослідження

Для підвищення енергоефективності будівель запропонувати спосіб визначення раціональної орієнтації віконних прорізів для розташування в непрозорих огорожувальних конструкціях, при якій тепловий баланс вікон менший за тепловий баланс стін протягом опалювального періоду.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Для визначення раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій моделюється тепловий баланс  $\Delta Q$  (тепловтрати та теплонадходження від сонячної радіації) огорожувальних конструкцій з оточуючим середовищем за опалювальний період. Функція теплового балансу непрозорої конструкції грані згідно з [1, 7] розраховується наступним чином

$$\Delta Q_{cmi} = \left[ \frac{1}{R_{cmi}} \right] \cdot S_{cmi} \cdot \left( t_{ei} - \left( t_{zi} + \frac{r_i \cdot Q_{cpi}}{\alpha_{zcmi}} \right) \right) \cdot N_{oib}, \quad (1)$$

а функція теплового балансу світлопрозорої конструкції грані відповідно до [6, 9] визначається як

$$\Delta Q_{ei} = \left[ \frac{1}{R_{ei}} \right] \cdot S_{ei} \cdot D_{di} - Q_{cpi} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{oi} \cdot S_{ei}, \quad (2)$$

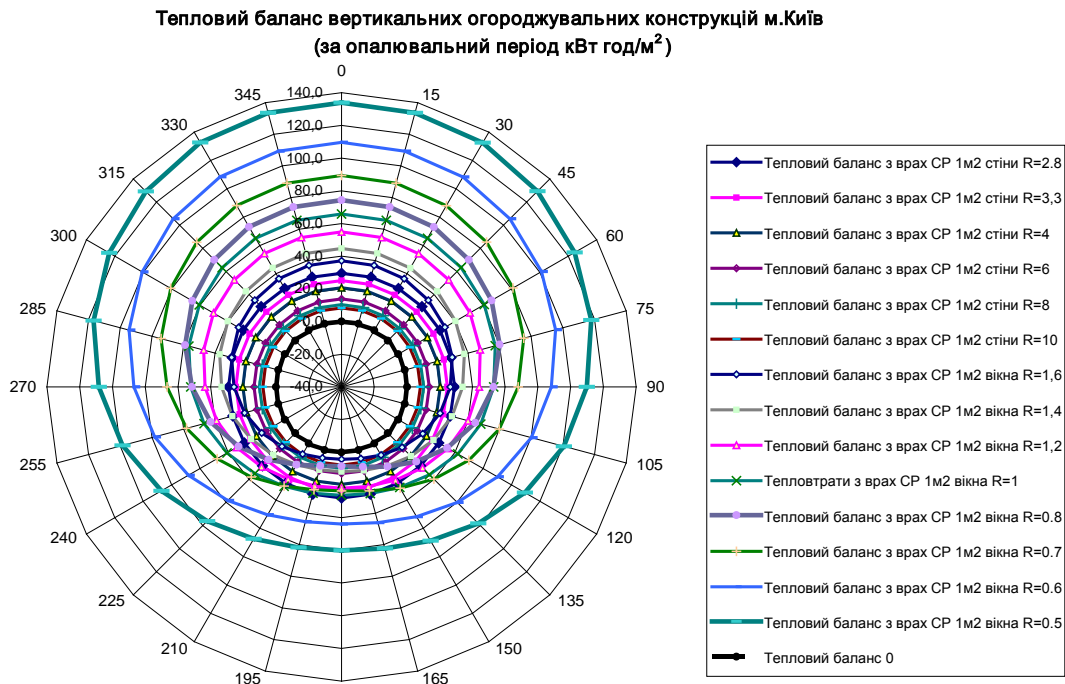
де  $t_{zi}$  – фактична температура зовнішнього повітря;  $t_{ei}$  – температура внутрішнього повітря;  $r_i$  – альbedo поверхні грані будівлі;  $Q_{cpi}$  – енергетична освітленість повітря короткохвильовою радіацією;  $\alpha_{zcmi}$  – коефіцієнт теплообміну між зовнішньою поверхнею огорожувальної конструкції та зовнішнім повітрям;  $R_{cmi}$  – опір теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій;  $N_{oib}$  – кількість днів опалювального періоду [1];  $R_{ei}$  – опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій [1];  $D_{di}$  – кількість градусо-днів опалювального періоду [1];  $S_{cmi}$  – площа непрозорої грані огорожувальних конструкцій;  $K_i$  – коефіцієнт дійсних умов хмарності, що впливають на надходження сонячної радіації [1];  $\zeta_i$  – коефіцієнт, що враховує затінення віконного прорізу непрозорими елементами [1];  $\varepsilon_{oi}$  – коефіцієнт відносного надходження сонячної радіації для світлопрозорих конструкцій [1].

Розроблено програму *SOLAR*, яка будує моделі залежності теплового балансу  $\Delta Q_{cmi}=f(A_\delta)$  та  $\Delta Q_{ei}=f(A_\delta)$  світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій (з різним опором теплопередачі) від азимутальної орієнтації конструкції  $A_\delta$  (рис.1). Якщо сумістити план будівлі з центром моделі, то можна визначати рівень теплового балансу кожної огорожувальної конструкції залежно від орієнтації (рис. 1, 2).

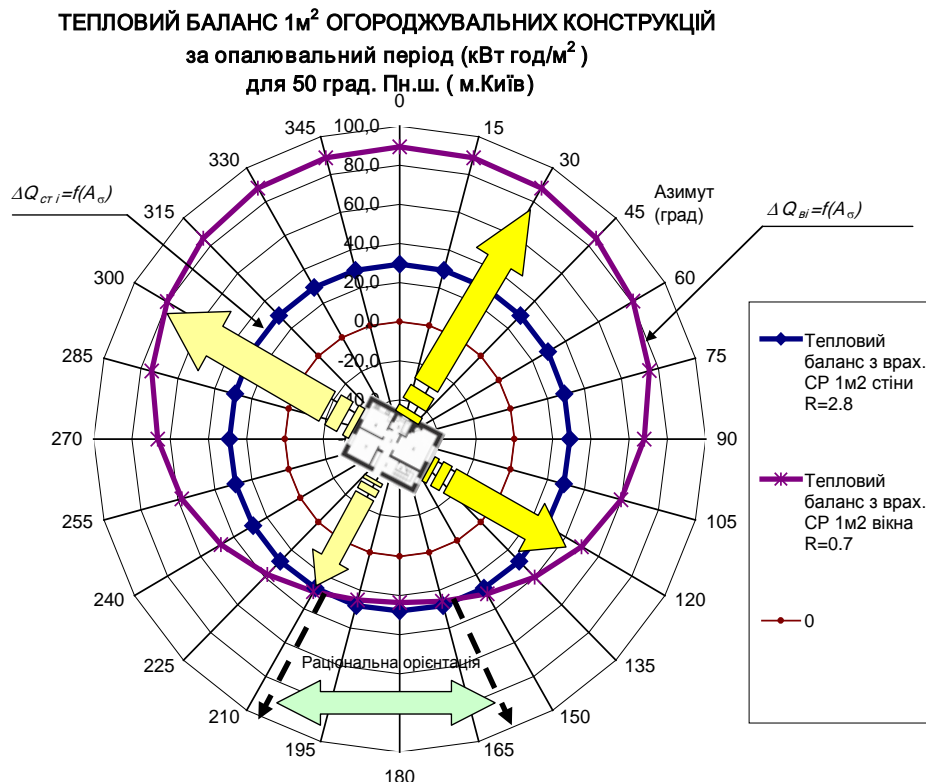
З моделі видно, що азимутальна орієнтація більш значною мірою впливає на тепловий баланс світлопрозорих конструкцій у порівнянні з непрозорими. Тепловий баланс (тепловтрати та теплонадходження від сонячної радіації) вікон з орієнтацією на південь та опором теплопередачі  $R_{ei} \geq 0,75 \text{ м}^2\text{К}^\circ/\text{Вт}$  менший, ніж тепловий баланс стін з нормативним опором [1].

Якщо тепловий баланс світлопрозорих огорожувальних конструкцій не перевищує тепловий баланс непрозорих конструкцій  $\Delta Q_{ei} \leq \Delta Q_{cmi}$ , тоді перетин моделей визначає зону раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій в огорожувальних конструкціях

будівель (рис. 2). Розв'язання наведеної нижче системи рівнянь дозволяє аналітично визначити допустимі межі орієнтації вікон

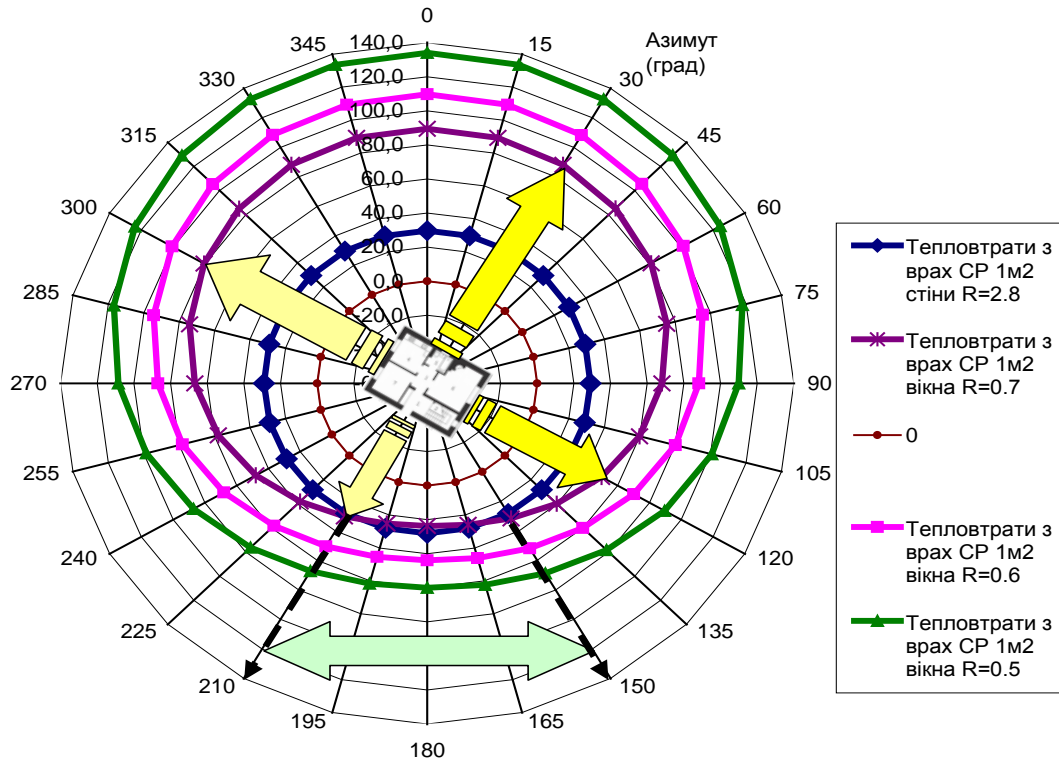


**Рис. 1. Моделі  $\Delta Q_{cti}=f(A_0)$  та  $\Delta Q_{vi}=f(A_0)$  теплового балансу світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій за опалювальний період за різного опору теплопередачі.**



**Рис. 2. Визначення раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій з використанням моделей  $\Delta Q_{cti}=f(A_0)$  та  $\Delta Q_{vi}=f(A_0)$  теплового балансу світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій.**

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС  $1\text{ м}^2$  ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
за опалювальний період (кВт год/ $\text{м}^2$ )  
для 50 град Пн.Ш. м.Київ



ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС  $1\text{ м}^2$  ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
за опалювальний період (кВт год/ $\text{м}^2$ )  
для 46 град Пн.Ш. м.Одеса

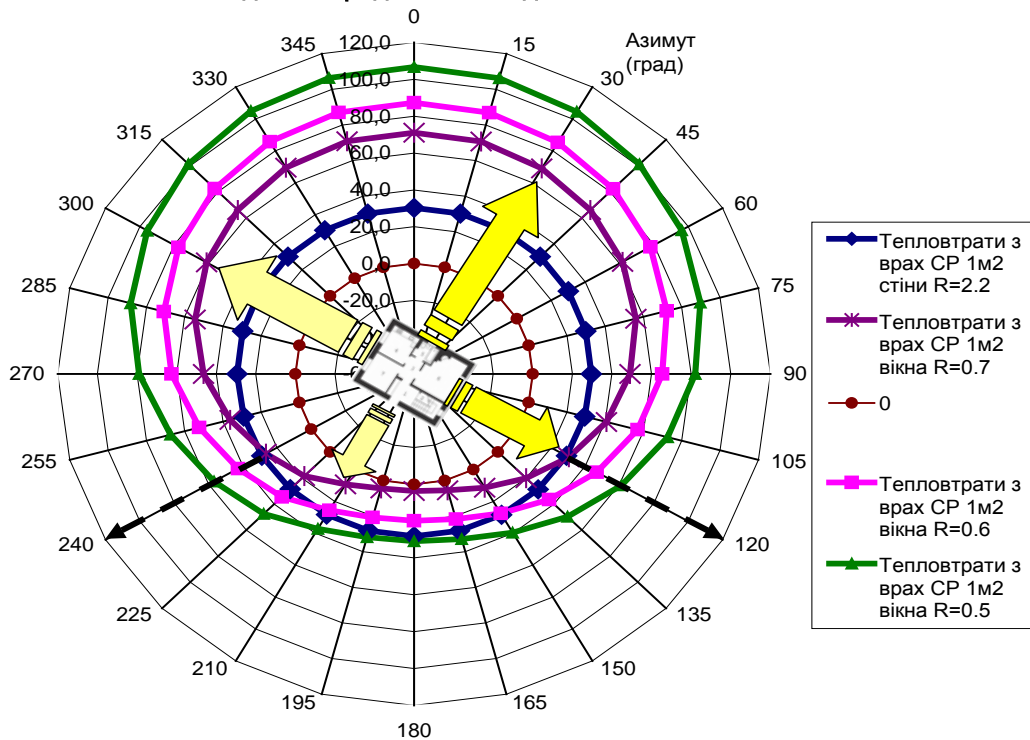


Рис. 3. Визначення раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій з використанням моделей теплового балансу вертикальних огороджувальних конструкцій для двох температурних зон України (міст Києва та Одеси).



$$\begin{cases} \Delta Q_d = f(A_\sigma); \\ \Delta Q_{cm} = f(A_\sigma) \end{cases} \quad (3)$$

Залежності (1)–(3) становлять математичну основу запропонованого комп'ютеризованого способу визначення раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій у стінах енергоефективних будівель кампусів з точки зору мінімального теплового балансу з оточуючим середовищем, при якому тепловий баланс вікон менший за тепловий баланс стіни.

Територія України поділена на дві температурні зони, що характеризуються різною температурою повітря протягом року та рівнем надходження тепла від сонячної радіації. Відповідно до [1] огорожувальні конструкції мають різний нормативний опір теплопередачі. Для будівель, розташованих у двох температурних зонах України, а саме для міст Києва та Одеси побудовано графічні моделі та визначено раціональну орієнтацію вікон при їх розташуванні в огорожувальних конструкціях будівель певного конструктивного вирішення. Ці дані показано на рис. 3.

Таким чином, нами описано математичний апарат і розроблені прийоми для автоматизованого архітектурного проектування енергоефективних будівель, які проілюстровано на конкретних практичних прикладах.

#### Висновки

У даній статті запропоновано комп'ютеризований спосіб визначення раціональної орієнтації віконних прорізів при розташуванні світлопрозорих конструкцій в огорожувальних непрозорих конструкціях енергоефективних будівель. Головною метою є підвищення енергоефективності з точки зору мінімального теплового балансу з оточуючим середовищем протягом опалювального періоду при забудові на території кампусів. При цьому описано належний математичний апарат, визначено раціональну орієнтацію вікон з опором теплопередачі  $R=0,75\text{m}^2\text{K}^0/\text{Вт}$  для будівель у двох температурних зонах України, при якій тепловий баланс вікон менший, ніж тепловий баланс стін з заданим опором теплопередачі. Для м. Києва (I температурна зона) орієнтація становить від 155 до 205 градусів, для м. Одеси (II температурна зона) – від 120 до 240 градусів.

Напрацьований підхід дозволяє шляхом швидкого визначення меж раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій при їх розташуванні в огорожувальних конструкціях будівель раціонально розміщувати віконні прорізи на фасадах будівель, зокрема кампусів, що сприяє підвищенню їх енергоефективності. Викладені матеріали потребують свого подальшого теоретичного розвитку та широкого впровадження у практику архітектурного проектування.

#### Список використаної літератури

1. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. – 35 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Маркус Т.А. Здания, климат и энергия / Т.А. Маркус, Э.Н. Морис. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 540 с.
3. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
4. Мартинов В.Л. Геометричне моделювання параметрів енергоактивних житлових будинків / В.Л. Мартинов // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції "Геометричне моделювання і комп'ютерні технології: теорія, практика, освіта". – Харків, 2009. – С. 153-158.

5. Сергейчук О.В. Оптимізація розподілу утеплювача по поверхні будівлі при заданому класі його ефективності / О.В. Сергейчук // Матеріали VI Міжнародної Кримської науково-практичної конференції "Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн". – Сімферополь, 2009. – С. 44–49.
6. Сергейчук О.В. Оптимізація форми енергоефективної будівлі, зовнішня оболонка якої n-параметрична поверхня / О.В. Сергейчук // Матеріали VII Міжнародної Кримської науково-практичної конференції "Геометричне моделювання та комп'ютерний дизайн". – Сімферополь, 2010. – С. 150-155.
7. Мартинов В.Л. Багатопараметрична оптимізація гранних енергоефективних будівель / В.Л. Мартинов // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції "Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта". – Ужгород, 2011. – С. 135-139.
8. Мартинов В.Л. Оптимізація циліндричної форми енергоефективних будівель та розподілу утеплювача / В.Л. Мартинов // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції "Актуальні проблеми геометричного моделювання". – Мелітополь, 2011. – С. 133-138.
9. Мартинов В.Л. Оптимізація багатогранної форми енергоекономічної будівлі та розподілу його утеплювача / В.Л. Мартинов // Технічна естетика і дизайн. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 143-147.

#### References

1. Teplova izolyatsiya budivel: DBN B.2.6-31:2016. Minbud Ukrainy (Derzhavni budivelni normy Ukrainy). Ukrarhbudininform. Kyiv. (2016)
2. Markus, T. A., Moris, E. N. Zdaniya, klimat i energiya. Gidrometeoizdat. Leningrad. (1985)
3. Tabunschikov Yu. A., Brodach M. M. Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy. AVOK-PRESS. Moscow. (2002)
4. Martynov, V. L. Heometrychne modeliuвання parametriv enerhoaktyvnykh zhytlovykh budynkiv. Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Heometrychne modeliuвання i kompiuterni tekhnolohii: teoriia, praktyka, osvita". Kharkiv. 153-158. (2009)
5. Serheichuk, O. V. Optymizatsiia rozpodilu uteplivacha po poverkhni budivli pry zadanomu klasi yoho efektyvnosti. Materialy VI Mizhnarodnoi Krymskoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання: enerhozberezhennia, ekolohiia, dyzain". Simferopol. 44–49. (2009)
6. Serheichuk, O. V. Optymizatsiia formy enerhoefektyvnoi budivli, zovnishnia obolonka yakoi n-parametrychna poverkhnia. Materialy VII Mizhnarodnoi Krymskoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Heometrychne modeliuвання ta kompiuternyi dyzain". Simferopol. 150-155. (2010)
7. Martynov, V. L. Bahatoparmetrychna optymizatsiia hrannykh enerhoefektyvnykh budivel. Materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Heometrychne modeliuвання, kompiuterni tekhnolohii ta dyzain: teoriia, praktyka, osvita". Uzhhorod. 135-139. (2011).
8. Martynov, V. L. Optymizatsiia tsylindrychnoi formy enerhoefektyvnykh budivel ta rozpodilu uteplivacha. Materialy XIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Aktualni problemy heometrychnoho modeliuвання". Melitopol. 133-138. (2011).
9. Martynov, V. L. Optymizatsiia bahatohranoi formy enerhoekonomichnoi budivli ta rozpodilu yoho uteplivacha. Tekhnichna estetyka i dyzain. **89**, 143-147. (2012)